



3 1761 04901216 4

HANDBOUND
AT THE



UNIVERSITY OF
TORONTO PRESS

934^s

1

58

HANDBUCH
DER
BOTANIK.

BEARBEITET UND HERAUSGEGEBEN

VON

DR. N. J. C. MÜLLER,

PROFESSOR DER BOTANIK AN DER KÖNIGL. FORSTAKADEMIE ZU HANN. MÜNDEM.



ERSTER BAND:
ALLGEMEINE BOTANIK.
ERSTER THEIL.

MIT 480 ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT.



HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1880.

HANDBUCH

DER

ALLGEMEINEN BOTANIK

VON

DR. N. J. C. MÜLLER,

PROFESSOR DER BOTANIK AN DER KÖNIGL. FORSTAKADEMIE ZU HANN. MÜNDEN.

ERSTER THEIL:

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE DER GEWÄCHSE.

MIT 480 ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT.

— * —

HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1880.

5946
30/11/89

Alle Rechte vorbehalten.

BK

641

M84

Th. 1

Cap. 2

402

25731890

SEINER EXCELLENZ,
DEM WIRKLICHEN GEHEIMEN RATH,
OBERLANDFORSTMEISTER UND CURATOR DER KÖNIGL.
PREUSSISCHEN FORSTAKADEMIEEN,

H E R R N

O. V O N H A G E N

IN EHRERBIETUNG GEWIDMET

VOM VERFASSER.

VORWORT.



Sollen die Hauptgesichtspunkte heutiger Forschung und die vorhandenen Resultate in einem Lehrgebäude vereinigt werden, so ist das erste Erforderniß, daß der Plan ein einheitlicher sei. Ob der Ausbau der einzelnen Abschnitte in gleicher Weise vollkommen von einem Botaniker behandelt werden kann, darf bei dem Reichthum der specialistischen Studien der heutigen Zeit billigerweise bezweifelt werden. Die Frage wird nur sein: ist es vortheilhafter, wenn Compilatorien, welche dem directen Lehrzweck der Hochschulen dienen sollen, durch mehrere Fachleute zu einem einheitlichen Bau zusammengetragen werden, als wenn sich ein Einzelner dieser Aufgabe unterzieht?

Ich habe mich für die letztere Weise entschieden und in dem vorliegenden Bande der Aufgabe, die Hauptzüge der Zellen-Physiologie und -Anatomie mit den Lebenserscheinungen zu vereinigen, gerecht zu werden gesucht.

Zu ganz besonderem und aufrichtigem Danke für die Unterstützung bei Ausarbeitung des Werkes bin ich ver-

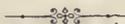
pflichtet Seiner Excellenz, dem Herrn Geheimen Rath und Curator der kgl. Forstakademieen VON HAGEN und den Directoren der kgl. Forstakademie in Münden, Herrn Geheimen Regierungsrath Dr. HEYER und dem für das forstliche höhere Unterrichtswesen leider zu frühe verstorbenen Oberforstmeister BERNHARDT.

Die Herren Fachgenossen haben mich in der freundlichsten Weise mit den oft schwer zu erlangenden Abhandlungen aus den Akademieberichten bedacht. Ich sage allen diesen Herren aufrichtigst Dank und insbesondere den Herren Professor Dr. DE BARY in Straßburg, Professor Dr. PRINGSHEIM in Berlin, Professor Dr. SCHWENDENER in Berlin, Professor Dr. VON NÄGELI in München, Professor Dr. BÖHM in Wien, Professor Dr. WIESNER in Wien, Professor Dr. GÖPPERT in Breslau, Professor Dr. A. DE CANDOLLE in Genf, Dr. THILENIUS in Wiesbaden, Sir RICHARD SCHOMBURGK, Dr. phil., Director des botanischen Gartens in Adelaide.

Münden, im November 1879.

Dr. N. J. C. Müller.

Inhaltsverzeichnis.



Erfter Theil:

Anatomie und Physiologie der Gewächse.



	Seite.
VORWORT	VII

Erste Abtheilung: Das Protoplasma.

§ 1. Das Leben als eine Bewegungserrscheinung aufgefaßt	3
Synthetische Versuche	5
§ 2. Die Continuität der organischen Bewegungsercheinung	10
A. Nackte Protoplasmanmassen	12
B. Thierische befehaltene Protoplasmanmassen	18
§ 3. Pflanzliche nackte Plasmamassen	21
A. Art der Strömung	22
B. Verhalten gegen die Gravitation und Centrifugalkraft	22
C. Das Capillitium	24
§ 4. Plasmamassen, welche in dem Zellhohlraum eingeschlossen sind	24
1. Lage des Protoplasmakörpers	24
2. Temperatur	27
3. Athmung	27
4. Physikalische Eigenschaft (chemische Constitution)	28
A. Verhalten zu Wasser	29
B. Streifen und Schichten	31
5. Lage abhängig vom Licht	31
6. Einfluß des elektrischen Stromes und der Entladung	33
7. Zur Theorie der Bewegung	35
Allgemeine Betrachtung der Strömung	43

Zweite Abtheilung: Zellbildung.

§ 5. Die Bedeutung der Zelle im mechanischen Sinne (Festigkeit, osmotische und chemische Spannung)	44
§ 6. Die Bedeutung der Zelle im morphotischen und genetischen Sinne	45
Wassergehalt	46
§ 7. Theorie der Zellbildung	47
Der Zellkern	48
§ 8. Sogenannte freie Zellbildung	51

	Seite.
§ 9. Zelltheilung	53
A. Die Spirogyra	54
B. Sporen der Cryptogamen	55
C. Pollen der Phanerogamen	58
D. Vorkeimzellbildung bei den Coniferen	60
§ 10. Theilung bei Oedogonium und den Diatomeen	60
§ 11. Theilungen in der Epidermis	62
§ 12. Theilungen an vegetativen Körpern	64
A. Scheitelzellen	64
B. Theilungen im vegetativen Gewebe (Cambium)	69

Dritte Abtheilung:

Wachsthumerscheinungen der Membran.

§ 13. Dickenwachsthum der Membran	71
A. Centrifugale Verschiebung des äußeren Contours	71
B. Centripetale Verschiebung des inneren Contours	72
I. Abrundung des Lumens in centripetaler Richtung	72
II. Ungleiche Wandverdickung	74
III. Zellstoffbalken und in centripetaler Richtung vorspringende Leisten	74
A. Zellstoffbalken der Caulerpa	75
B. Cystolithe (Steinkammern)	76
IV. Centripetale Verdickung, Schrauben und Ringe	78
V. Porenkanäle	79
A. Der einfache Porus	79
B. Der verzweigte Porus	79
C. Der Nadelholz-Tüpfel (behöfzte Poren)	80
D. Schraubenlinige Poren	81
E. Leiterförmige Gefäßquerwände	82
F. Siebporen	82
VI. Combination aus IV und V. Schraubenverdickung und Poren in derselben Membranfläche	83
VII. Intercellularsubstanz und fogenannte primäre Membran	84
§ 14. Schichtung und Streifung der Membran	84
§ 15. Physikalische Eigenschaften der Pflanzenmembran	88
A. Quellung jugendlicher Membranen	88
B. Unbegrenzte Quellung in ausgewachsenen Zellen	88
C. Begrenzte Quellung wachsender und ausgewachsener Membranen	89
D. Beobachtungen über die Volumänderung durch Quellung in verschiedenen Regionen des Baumes	94
E. Specifiche Anziehung der festen Theile zu verschiedenen Flüssigkeiten	94
F. Die Dichte	95
G. Unbegrenzte Quellung	96
1° Pathologische Erscheinungen	96
2° Normale Schleimbildung	97
H. Quellungsdrucke	97
§ 16. Theorie der Intusfussception und Apposition	100
A. Structur der Stärkekörner	101

	Seite.
B. Wachstum und Differenzirung des Stärkekornes	102
C. Argumente für die Intusception	113
D. Chemische Reactionen der Cellulose und deren Derivate	116
§ 17. Molecularstructure der Membran und der festen Niederschläge	121
A. Geschwindigkeit der Leitung des Schalles im Holze	122
B. Verhalten im polarisirten Lichte	122
1. Versuche mit dem Doppelpath	123
2. Isotropie und Anisotropie	126
3. Verhalten dünner Gypsplättchen	128
4. Verhalten gepresster Glasplatten	133
5. Verhalten von Glasringen und Glasröhrchen	134
6. Verhalten pflanzlicher Gewebedurchschnitte	140
7. Argumente für und gegen die Annahme krystallinischer Moleculc in der Membran	146
8. Künstliche Membranen aus Cellulosederivaten	150
9. Beziehungen zwischen den Quellungssaxen und dem Elasticitätsellipsoid	163
10. Allgemeine Folgerungen	165
§ 18. Bestimmungen der verschiedenen Lichtbrechung in Flüssigkeiten	168

Vierte Abtheilung: Flächenwachsthum der Membranen.

Streckung der Pflanzenorgane.

§ 19. Umgrenzung des Gegenstandes	170
§ 20. Räumliche Orientirung	171
§ 21. Methoden der Beobachtung	172
A. Allgemeine Beobachtungen	174
B. Verdrängung bestimmter Zellen durch das Heranwachsen anderer	176
C. Bestimmung der Wachsthumscurve durch Scalirung der Pflanzentheile (Partial- zuwachs)	176
D. Auxanometrische Beobachtungen	182
§ 22. Ergebnisse der Messungen nach den angegebenen Methoden	182
§ 23. Allgemeine Musterung der Disgregation der Gewebe	185

Fünfte Abtheilung: Folgen des Flächenwachsthums.

§ 24. Gewebefpannung	186
A. Umgrenzung des Gegenstandes	186
B. Vergleichung der Spannungscurve mit der Curve des partialen Zuwachses	188
C. Drucke, welche der Expansion das Gleichgewicht halten	189
D. Die Gewebefpannung, eine Folge der osmotischen Spannung des Wachstums und der Quellung	191
E. Turgor und Festigkeit	193
F. Periode der Spannungsintensität	194
§ 25. Intercellularräume	195
A. Specificches Gewicht der Gewebe	196
B. Entstehung der Intercellularräume	198
C. Bedeutung der intercellularen Räume	199
1. Bei den Wasserpflanzen	199
2. Bei den Landpflanzen	201

	Seite.
a) Entwicklung und Stellung der Spaltöffnung	201
b) Diffusion und Abforption der Gase in der Membran	205
c) Diffusion und Abforption im Laubblatt	210
d) Verdunstung am Blatte	214
e) Verdunstung der Blattflächen verschiedener Entwicklung	216
f) Verdunstung einer Blattfläche bezogen auf eine gleichgroße Wasserfläche	219
g) Verdunstung einer Membran bezogen auf gleiche Wasserfläche	220
h) Verdunstung gleicher Flächen der Innen- und Außenseite	221
i) Erguß von tropfbarem Wasser in die Intercellularen des Blattes	223
3. Bedeutung der Intercellularräume bei der Secretion	225
a) Erstes Auftreten der Secrete	225
b) Translocation der Secrete	225
c) Erguß in die Intercellularräume	226
d) Stellung der Secretionsorgane	226

Sechste Abtheilung:

Ursachen der Richtungs- und Lageänderung.

§ 26. Vererbliche Habituszüge durch Anpassung der Organe an bestimmte Lagen zur Lothlinie und den einfallenden Lichtstrahl	229
A. Gravitation	230
1. KNIGHT's Experiment	231
2. Die Wurzeln heben eine Last. Experimente mit Quecksilber und Modellirthon	234
3. Blattentwicklung an geneigten Zweigen. Gewicht verschieden geneigter Blätter	235
4. Krümmung der Abietineensprosse	239
5. Stellung der zygomorphen Blüten	240
6. Stellung der Trameteshüte an aufrechten und liegenden Baumstämmen	241
7. Beugung der Moosfrüchte	241
8. Prädisposition zum Geotropismus	242
9. Vorbestimmung der Gewebe, welche Adventivsprossen bilden (Polarität der Gewebe)	247
B. Formbedingender Einfluß des Lichtes	247
1. Folgen des Lichtmangels	248
2. Einseitiger Bestrahlung angepaßte Pflanzen	249
3. Negativer und positiver Heliotropismus	250
a) Stämme und Wurzeln	251
b) Blätter	251
4. Theorie der Bewegung. Versuche über die Lichtstärke, welche nöthig ist, die Pflanzen zu afficiren. Zur Theorie der Reizung	254
5. Versuche im Sonnenspectrum	261
6. Prädisposition und Anpassung	261
7. Polarisation	262
8. Bewegung der Schwärmsporen gegen das Licht	264
9. Wirkung einseitiger Bestrahlung	268
10. Wirkung des Lichts auf die Zelltheilung	269

§ 27.	Formverhältnisse, welche complexen Einwirkungen aus der Bestrahlung und gegenseitigen Lage der Organe entspringen	270
	1. Heliotropische und geotropische Pflanzentheile	270
	2. Lage der Hauptaxe zum Loth	272
	3. Strukturverhältnisse in horizontalen Rhizomen	280
§ 28.	Periodische Bewegungsercheinungen	280
	Allgemeine Betrachtung der Perioden	280
	A. Tag- und Nachtperioden	282
	B. Theorie der Bewegung	285
	1. Muskelapparate, Gelenke	285
	2. Einfluß des Reizes. Stoß. Elektrischer Schlag. Temperaturwechsel	287
	3. Gewöhnung an den Reiz	287
	4. Phototonus und Dunkelstarre	287
	C. Reizbewegung der Staubfäden	289
§ 29.	Schlingen und Ranken	291
	A. Drehung der Stämme um ihre Axe	291
	B. Rotirende und schraubenlinige Bewegungen	292
§ 30.	Nutation	297
§ 31.	Bewegung in Folge verschiedener Austrocknung der Gewebe	298
	A. Saftige Springfrüchte	299
	B. Trockene Springfrüchte	299
	C. Fruchtklappen der Leguminosen	299
	D. Zapfen der Abietineen	300
	E. Geraniumfrüchte (Moosfeten, Granne)	301
	F. Bewegung in elastischen Zellen begründet	301

Siebente Abtheilung: Grobe Anatomie.

§ 32.	Wachstum und Theilung unter dem Vegetationspunkt	302
	A. Geometrische Aufgabe	302
	a) Volumvermehrung der verschiedenen Zellen	302
	b) Längsstreckung gleich bei ungleicher Theilung	304
	c) Ungleiche Querausdehnung	304
	d) Ungleiches Dickenwachstum der Membranen	305
	B. Zellengenerationen	306
	a) Stammbaum der Gewebe	307
	b) Erlöschende Descendenten: Epidermis, Mark, Holz, Borke, Kork	307
	c) Dauernd thätige Descendenten: Cambiform, Gitterleitzelle, Cambium, leitendes Grundgewebe	308
	C. Vertheilung der Gefäßbündel	309
	D. Festigkeit der Gewebe	313
	E. Secundärer Zuwachs am Baume	328
	I. Vertheilung über Wurzel, Stamm, Zweig, Blatt	341
	1. Wurzeleinfügung	341
	2. Periodisch beblätterte Stämme	341
	3. Immergrüne Blätter	343
	4. Ruhende Knospen	343
	II. Stamm und Zweig (Faserverlauf)	343

	Seite.
§ 33. Grenzen der Reproduction	348
A. Folgen der Verwundung: Korkbildung	349
a) Lenticellen	349
b) Periderma	350
c) Borkenschuppen	351
d) Namenszüge in Blätter geritzt	352
e) Der Blattfiel durchschnitten	353
Zweignarben, Blattnarben	354
B. Callusbildungen	355
1. Rindenfenster	355
2. Ringelung der Rinde	359
3. Spiralringelung	361
4. Umfchlingung	363
5. Verwachsung und Trennung	363
6. Bruch	364
7. Oculiren, Pfropfen	366
8. Callus an Stecklingen	367
9. Trockenäfte	367
10. Callus aus den Schälftellen	368
11. Namenszüge in der Rinde	370
C. Deformirung von Pflanzentheilen durch Insecten	371
§ 34. Evolution des Baumes	374
A. Allgemeine Gesetze der Blatt- und Zweigstellung. Die Reihe $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{\infty}$	380
B. Discussion der Reihe $n + n^2 + n^3 +$	381

Achte Abtheilung: Theorie der Ernährung der Pflanzen.

§ 35. Allgemeine Orientirung	389
A. Die Medien	389
a) Ernährung der Amöben	390
Verdauung eigener und fremdartiger fester Körper	391
b) Algen des Süßwassers. Meeresalgen	392
c) Pilze. Flechten	393
B. Abriss der Entwicklungs- und Ernährungsercheinungen	394
a) Ernährung der Moosfeta und Frucht	394
b) Ernährung der beblätterten Pflanze der Gefäßcryptogamen	395
c) Ernährung der entstehenden Keimpflanze im Embryosack	395
d) Ernährung der Phanerogamenparasiten	396
§ 36. Ernährung der grünen Landpflanze	397
A. Die verbrennlichen Kohlenstoffverbindungen beschreiben einen Kreisproceß	398
B. Zwei eintretende Ströme: Gas- und Wasserstrom	398
C. Allgemeine Theorie der Gas- und Wasserströme in der Pflanze	399
D. Was ist ein absolutes Nährmittel?	401
1. Kohlenstoff. Stickstoff. Wasserstoff. Sauerstoff	402
2. Schwefel- und Phosphorverbindungen	405
3. Chlor. Fluor. Brom. Jod	406
4. Kalium. Natrium	406
5. Calcium. Magnesium	407
6. Mangan. Eisen. Zink	408

7. Kiefelfäure	409
8. Das Afchenkelett (Gesammtafche)	409
Afchenzuwachs vom jüngeren nach dem älteren Zustande	410
E. Ort der osmotischen Aufnahme	411
1. Wurzelauszweigungen	411
2. Wurzelhaare	412
3. Secretion einer Säure aus der Wurzel	412
F. Diffusionsversuche	412
1. Die Osmose	413
2. Natürliche Membranen	414
3. Künstliche Membranen	419
G. Fortleitung des Waffers (der Lösung, welche aus dem Boden aufgenommen wird)	422
1. Die Pflanzen wachsen waffergefüllt	422
a) Bestimmung des Waffergehaltes im Baume	422
b) Bestimmung des Stärkestromes in dem Holz des Baumes	425
2. Ueber die ganze Strombahn befinden sich waffergefüllte Gewebe vertheilt	426
3. Holzconvolute von Stamm und Wurzel	426
4. Filtrationserrscheinungen	427
I. Periode des Blutens	427
a) Größe des Druckes bei niederen Krautpflanzen	429
b) Der Druck bei wechselnder Temperatur, Thränen der Gräser und Aroideen	429
c) Größe des Druckes bei dem Waldbaum, der Rebe	430
d) Periode im Druck und der Ausflußgeschwindigkeit	430
e) Theorie der Erscheinung	430
II. Periode der Verdunstung	436
H. Theorie der Bewegung	441
I. Phänologische Beobachtungen	442
II. Physikalische Momente	446
1. Adhäsion der Flüssigkeit in den lebenden Zellen der verdunstenden Blätter und Zweige	446
2. Capillarität	446
3. JAMIN's Phänomen	448
4. Strömungsgeschwindigkeit	449
a) Geradlinige unverzweigte Strombahnen	449
b) In winkligen Zweigbahnen	452
5. Diffusion des Flüssigen zum Festen (Imbibition)	455
6. MAC NAB's und PFITZER's Versuche (COTTA's Tinctionsversuche)	458
7. Bewegung in den Nervenenden des Blattes	462
8. Einfluß der Verdunstung	463
9. Verdunstungsgröße verschiedener Bäume	465
§ 37. Affimilation	470
Literatur über die Wirkung des Lichtes auf die Pflanze	472
A. Ueberficht der Erscheinungen an der Erde	474
B. Die Endproducte der Affimilation und deren Verbrennungswärme	475
C. Die Arbeit der Pflanze gegenüber den äußeren Agentien	480
a) Die äußere Arbeit <i>Ae'</i>	486

	Seite.
b) Die innere Arbeit <i>A'</i>	487
D. Ort der Assimilation	490
1. Der Chlorophyllkörper	491
2. Differenzirung im Dunkeln	491
3. Ergrünen im Lichte	492
4. Amylumeinschlüsse	492
5. Eifen ein Constituent des Chlorophylles	494
6. Theilung und Lagenänderung	494
7. Auffällige Form der Chlorophyllzellen	495
8. Die Strahlengattung, welche das Pigment bildet	495
9. Zerstörung des Pigmentes in lebenden und toden Pflanzen	495
10. Der Chlorophyllkörper ein Organismus	496
11. Function der Laubblätter	497
12. Durchleuchtung des Pflanzenblattes	497
13. Abforption der chemischen Strahlen	498
14. Abforption der minder brechbaren Strahlen	499
15. Spectrum der Chlorophylllösung	502
16. Fluorescenz des Chlorophylles	507
17. Kohlenfäurezerlegung	509
a) Directer Nachweis für die Abforption des Lichtes bei der Assimilation	511
b) Diffusion der Gase im Sonnenlicht und Sonnenspectrum	512
c) Gasanalytische Methoden	513
d) Die Verbrennungswärme der Erndteproducte bezogen auf die eingestrahlte Wärme	517
e) Resultate	517
§ 38. Fortleitung der assimilirten Körper	526
A. Außere Kennzeichen für das Ziel des Stromes	527
B. Der Rindestrom	530
1. Erfolg der Ringelung und Fensterung	530
2. Versuche mit Stecklingen	532
C. Histologische und chemische Untersuchungsmethoden	535
I. Gruppe: Nährmittel	539
1. Kohlehydrate	539
a) Stärke (Amylum)	540
b) Inulin	543
c) Rohrzucker $C_{12}H_{22}O_{11}$	543
d) Traubenzucker, Glucose $C_6H_{12}O_6$	543
e) Gummiarten	544
2. Fette und fette Oele	545
3. Proteinkörper (Albumine)	546
II. Gruppe: Secrete	549
1. Harze, Gummiharze, Essenzen (Terbene, Camphene)	549
2. Aetherische Oele (Essenzen)	551
I. Sauerstofffreie (Camphene, Terbene)	551
II. Sauerstoffhaltige ätherische Oele	552
3. Kampfer	552
4. Schwefelhaltige ätherische Oele, Senföl	552

	Seite.
5. Wachs	553
6. Milchfäfte	553
7. Organifche Säuren (Salze der organifchen Säuren)	554
a) Oxalfäure $C_2H_2O_4$	554
b) Dreibafifche Säuren	556
c) Fettfäurereihe	556
d) Die aromatifchen Säuren (Benzoë-, Toluyl-, Cuminfäure)	557
8. Anorganifche Salze	557
9. Alkaloide	557
a) Sauerstofffreie Alkaloide (Aminbafen)	559
b) Sauerstoffhaltige nichtflüchtige Alkaloide	559
10. Glucofide	560
a) Stickstofffreie Glucofide	560
b) Stickstoffhaltige Glucofide	561
11. Pigmente	561
12. Gerbstoffe	566
§ 39. Zusammenftellung der äußeren Erfcheinungen	567
A. Alter der Bäume	567
B. Ift der Tod in dem Organismus der Bäume begründet?	569
C. Afymptotifche Bewegung in der Pflanzenwelt	570

Neunte Abtheilung: Einwirkung der Wärme.

§ 40. Strahlende Wärme	571
Methode der Beobachtung	571
Literatur	572
Literatur über den Radiometer	576
A. Grenzen der Temperatur	580
B. Geringere Biegsamkeit wie beim Thier	581
C. Schutz gegen die Strahlung, Haare	582
D. Durchstrahlung und Diffufion der Wärme	582
E. Befchattung und Größe des Laubblattes	583
§ 41. Temperatur als Bedingung des Lebens	584
A. Geringere Eigenwärme	585
B. Athmung	586
§ 42. Phosphorefcenz	590
§ 43. Keimung	590
§ 44. Protoplasmabewegung abhängig von der Temperatur	594
§ 45. Wachsthumfintenfität von der Temperatur abhängig	595
§ 46. Beftimmung der Wärmemenge	597
A. Das Ausfaat-Erndeintervall	601
B. Belaubung und Blattfall	601
C. Blüthe und Frucht	602
D. Wärmeconftante	605
§ 47. Allgemeine Züge der Florenggebiete, foweit fie von der Wärme abhängen	609
§ 48. Pathologifche Phänomene im Gefolge des Temperaturwechfels	619
A. Hohe Temperatur	619
B. Niedere Temperatur	620

	Seite.
1. Tod durch Frost über dem Gefrierpunkt des Wassers	620
2. Vereisung	620
a) Langsames und rasches Aufthauen	621
b) Frostriffe	621
c) In der Streckung befindliche Organe	622
§ 49. Elektrizität	623
A. Einwirkung der Elektrizität	623
B. Elektrische Ströme in der Pflanze	624

Zehnte Abtheilung: Rückläufige Zersetzungen, Erkrankung, Gährung, Fäulniss, Verwesung.

§ 50. Allgemeine Betrachtung	626
A. Wesen des Zerfalls	629
B. Einfluß der Gährungstheorie auf verwandte Disciplinen	630
C. Einfluß der Gährungstheorie auf die Krankheitsgeschichte	632
D. Einfluß der Gährungstheorie auf die Medicin	633
E. Ernährung der Hefepflanze	634
§ 51. Pflanzenkrankheiten	637
A. Orientirung	637
B. Bedingungen des Pilzlebens	640
C. Dauer des Infectionsherdes	643
D. Die Generation des Krankheitserregers	643
1. Entwicklungszeit unbestimmt	644
2. Anpassung an den Wirth	644
3. Generationswechsel	644



Anatomie und Physiologie der Gewächse.



Erste Abtheilung: Das Protoplasma.

§ 1. Das Leben als eine Bewegungserscheinung aufgefasst.

An der Pflanze kann man einen Theil der Lebenserscheinungen und der Gestaltung zurückführen auf die folgenden elementaren Prozesse:

1^o Aus dem flüssigen Zellenleib schlagen sich im Beginn plastische, später feste Membranen nieder, welche das flüssige Lebewesen in eine feste Form einhüllen. Ein einziger solcher Raum mag einstweilen eine Zelle, ein Complex vieler solcher mag ein Zellgewebe genannt werden.

2^o Das flüssige Lebewesen nimmt von außen durch Diffusion gelöste, feste und gasförmige Körper auf, vergrößert sein Volum und gliedert dasselbe in mehr und mehr von festen Membranen umhüllte Hohlräume, welche letztere selbst während dieses Vorganges an Masse zunehmen.

3^o Während dieser Vorgänge in 1^o und 2^o müssen sich chemische Prozesse im Innern des Lebewesens abspielen, durch welche die durch Diffusion eingeführten Körper (Rohnährkörper) umgewandelt werden in verbrennliche Nährkörper (Assimilationsproducte). Diese sind zum Theil gelöst, zum Theil häufen sie sich als Niederschläge an. Die Pflanze assimiliert und sie scheidet dabei gasförmigen Sauerstoff oder sauerstoffreiches Gas aus.

4^o Bei allen Vorgängen des Lebens herrscht der Proceß der Verbrennung. Ein Theil der verbrennlichen Substanz wird als Kohlensäure ausgeschieden. Die Pflanze athmet.

5^o Die feste Hülle der Zellen ist eine quellungsfähige Membran, welche stetigen Volumschwankungen unterliegt:

a) indem sie durch Einlagerung fester Theile wächst;

b) indem sie je nach dem Wassergehalt der umgebenden Medien quillt oder schrumpft;

c) indem sie quillt oder schrumpft in Folge chemischer Veränderung des Zellinhaltes.

Die Quellung ist eine ganz wesentliche und der organischen Masse allein zukommende Eigenschaft.

Gewisse Bewegungsvorgänge an Pflanzenzellen oder an complexen Geweben von Pflanzenzellen können schon aus den vorstehenden Molecular-

wirkungen erklärt, d. h. auf Folgen äußerer Einflüsse zurückgeführt werden. Möge m Fig. 1 die Dicke der gleichmäßigen elastischen Membran einer Kugelzelle sein, welche ebenso gleichmäßig mit tropfbarem Zellinhalte erfüllt ist, so ist die erste Bewegungsursache alsdann in dem Temperaturwechsel begründet. Die feste Hülle zieht sich gleichmäßig in der Richtung des Pfeiles α zusammen nach m' , wenn die Temperatur sinkt, sie dehnt sich gleichmäßig in Richtung des Pfeiles β aus, wenn die Temperatur wächst. Im ersteren Fall wächst der Druck, im letzteren sinkt derselbe.

Diese Schwankung muß auch unabhängig von der Temperatur eintreten, wenn in Folge chemischer Vorgänge die Concentration der Lösungen im Innern der Zelle sich verändert. Denken wir uns zunächst die Osmose ausgeschlossen, so tritt eine geringe Contraction der Membran ein, wenn die Concentration in der Lösung wächst, und umgekehrt erfolgt eine geringe Expansion (Pfeil β m nach m''), wenn dieselbe sinkt.

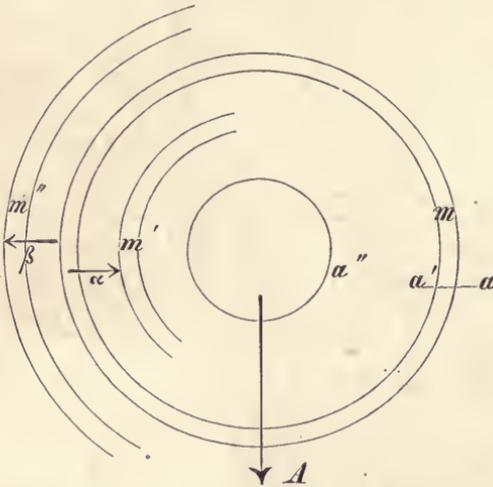


FIG. 1. Kreisfigur für den hydrostatischen Druck und die Spannung in der Zelle.

Druckschwankungen müssen endlich stetig und in allen Geweben herrschen, durch den Vorgang des Dickenwachstums an einer selbst dem Volum nach ausgewachsenen Zelle. In unserer Fig. 1 möge der äußere Contour in a deswegen constante Lage besitzen, weil das Gebilde nach außen ausgewachsen, oder weil es nach außen von den Nachbarn in demselben Gewebe eingeschränkt ist. Durch Wachstum möge aber der innere Contour der festen Membran allmählich nach a'' gelangen, so daß der Ring aa'' mit fester Membransubstanz ausgefüllt wird. Das Volum des Flüssigen wird immer kleiner; daher ist das Dickenwachstum an sich eine Ursache der Translocation in Richtung des Pfeiles A Fig. 1.

Einen kleinen Theil der organischen Bewegungsercheinungen vermag man somit auf mechanische Ursachen zurückzuführen, welche entweder in einfachen Bedingungsänderungen der Umgebung, oder in einfachen Änderungen des Organismus während des Lebens begründet sind.

Man kann selbst einen Theil der hier gedachten Vorgänge durch Experimente nachahmen. Könnte man die Bewegungsercheinungen an (vor dem Experiment) todtten Massen stetig machen, so daß der Verlust der

Bewegungsurfläche (Betriebskraft) von außen stetig wieder ersetzt würde, hätte man die in den nachfolgenden Versuchen vereinzelt Wandlungen in einem Individuum vereinigt, so wäre man dem Wesen organischer Bewegung um einen kleinen Schritt näher gerückt.

Synthetische Versuche.

Die Massen-Zu- und Abnahme, verbunden mit den Phänomenen der Ausdehnung und Verkleinerung des Zellenvolums, also Bewegungsercheinungen allgemeinsten Bedeutung, lassen sich leicht und lehrreich demonstrieren, indem man Seifenblasen mit verschiedenen Gasen anfüllt (mit Hilfe des Apparates Fig. 2). Eine mit atmosphärischer Luft angefüllte Seifenblase ist, in der atmosphärischen Luft schwebend, eine geraume Zeit stabil, in Volum und Masse unveränderlich. Eine mit Kohlenäure gefüllte Blase aber sinkt von dem Moment, wo sie das größte Volum erreicht hat, allmählich in sich zusammen, weil die Theilchen des Zellinhaltes in der Membran von Wasser leichter löslich sind, wie die Theile in dem Medium, welches die Zelle umspült. (Sauerstoff und Stickstoff.)

Füllt man endlich eine dritte Seifenblase mit Wasserstoff, so erhält man die umgekehrte Bewegung, die Blase wächst und platzt endlich, weil die Theilchen des umgebenden Mediums in der Membran löslicher sind, wie die Wasserstofftheilchen, welche das Zellenvolum ausfüllen¹⁾.

Stellen wir uns vor, daß in der Luftseifenblase gerade so viel Gas-theilchen aufgenommen wie abgegeben werden, so stellt die Wasserstoffblase eine Zelle dar, welche, indem sie sich ernährt, feste Theilchen aufnimmt oder besser gesagt, mehr derselben aufnimmt, wie sie abgibt. Die Kohlenäureblase aber stellt eine Zelle vor, welche den umgekehrten Proceß ausführt. In beiden Fällen ist der Proceß auf eine elementare Ursache zurückgeführt, auf die Diffusion chemisch verschiedener gasförmiger Flüssigkeiten,

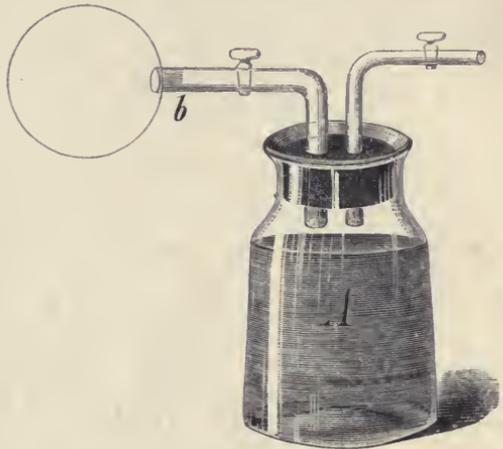


FIG. 2. Wenn man den Behälter A, Fig. 2, mit CO_2 füllt und in b eine Seifenblase mit diesem Gas füllt, dann den Hahn schließt, so kann man beobachten, wie die Gasblase allmählich zusammensinkt, bis sie verschwindet. Stellt man aber eine Wasserstoffblase her, so wächst diese, bis sie platzt.

¹⁾ Die Absorptionscoefficienten für Wasser und eine mittlere Temperatur sind für Wasserstoff kleiner, für Kohlenäure größer wie für atmosphärische Luft.

durch eine tropfbar flüssige, gespannte Membran. Der chemische Unterschied zwischen dem Inhalt der Zelle und dem umgebenden Medium ist die Ursache der Bewegung.

Die chemische Differenz zwischen dem Lebewesen und seinem Medium wird verbraucht in dem Maße, wie die Bewegung vor sich geht. In einem Falle unserer Versuche, in der Wasserstoffblase nämlich, sieht man, daß die Membran der Volumzunahme nicht folgen kann, weil sie selbst nicht ernährt wird, sie platzt in Folge davon. Könnte auch die gespannte Membran in dem gleichen Maße ernährt werden, wie das Volum der Zelle wächst, so wäre ein Gebilde geschaffen, welches die Vorgänge an der lebenden Pflanze in vollkommener Weise nachahmt. Es ist TRAUBE gelungen, solche Zellen herzustellen, indem er zwei solche lösliche Körper in Lösung zusammenbrachte, welche einen Niederschlag bilden. So verhalten sich z. B. die Lösungen von Leim und Gerbsäure, Eisenchlorid und Ferrocyankalium, Chlorcalcium und kohlensaurem Kali (s. für letztere die Versuche von FAMINTZIN weiter unten). Bringt man einen Tropfen Leim [β Leim]¹⁾ *t*, Fig. 3, an einem Glasstabe in die Lösung des Tannin, so überzieht sich derselbe mit einer durchscheinenden, elastischen Membran von Leimgerbsäure, welche verhindert, daß sich der von ihr umschlossene Inhalt der Zelle mit der Tanninlösung mischt. Die Zelle wächst und bildet gelegentlich Ausfüllungen, welche in gleicher Weise von der äußeren Nährlösung durch Membranen geschieden sind. Das Wachsen ist eine stetige Erscheinung, die in unserem Versuche auf die Anziehung der Leimlösung zu den Wassertheilchen der die Zelle umgebenden Nährlösung zurückgeführt werden muß. Die Membran ist so beschaffen, daß sie für beide Membranogene undurchlässig ist und für die ganze Dauer des Vorganges verbleibt. Möge *a a*, Fig. 4, die Ausdehnung der Zelle für einen gegebenen Zeitpunkt bedeuten, die Figuren Kreis und Kreuz mögen die Molecul der Gerbsäure-Leim-Membran darstellen, deren Interstitien so eng sind, daß weder Gerbsäure-Molecul in centrifugaler, noch Leimtheilchen in centripetaler Richtung die Membran passiren können, so werden die Molecul der Membran dadurch, daß Wassertheilchen mit dem Pfeile die molecularen Interstitien passiren, in radialer Richtung in die Schale *b b'* gelangen.

1) Der β Leim entsteht durch anhaltendes Kochen des gewöhnlichen Leims, er hat die Eigenschaft, zu geliren, verloren und läßt sich zu einer zerreiblichen Masse eindampfen.

SIEGFRIED REISSECK, Ueber künstliche Zellenbildung in gekochten Kartoffeln. 1851. Sitzungsber. d. K. Acad. Aprilheft 1851. — Prof. FAMINTZIN, Ueber amumylartige Gebilde des kohlensauren Kalkes (Verhandl. des naturhistor.-medicin. Vereins zu Heidelberg). — P. HARTING, Recherches de Morpholog. synthétique sur la production artificielle de quelques formations calcaires organiques. Amsterdam. van der Post. 1872.

Die Interfitionen erweitern sich so, daß foeben die beiden Membranogene die Lücken, welche selbst von unendlich kleiner Ausdehnung gedacht werden müssen, ausfüllen. Sobald sie dort zusammentreffen, schließen sie aber hinwiederum jene Lücken. Die Membran wächst daher stetig, so lange noch eine genügende Anzahl wasseranziehender Theilchen des inneren Membranogenes vorhanden ist. Sie wächst durch Einlagerung kleinster Theilchen zwischen



FIG. 3. Apparat zur Herstellung der TRAUBE'schen Zelle.

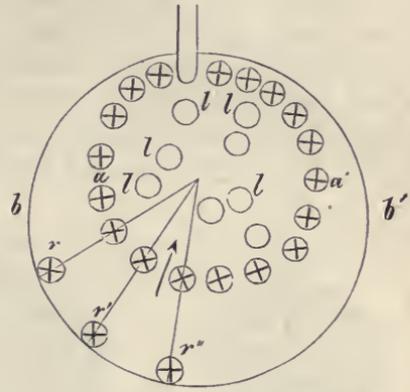


FIG. 4. Schema der TRAUBE'schen Zelle.

vorhandene kleinste Theilchen und dadurch, daß ein Vorrath chemischer und osmotischer Spannung verbraucht wird. Denn offenbar muß einmal Stillstand in diesem Wachsthumsvorgang eintreten, wenn nämlich die Moleculc im Innern *l* (siehe Fig. 3) verbraucht sind¹⁾.

Bezogen auf die Vorgänge in der Seifenblase, ist in der TRAUBE'schen Zelle das Wachstum in vollkommener Weise nachgeahmt, weil in ihr das Volum durch Stoffaufnahme wächst und weil die feste Hülle (Membran) durch einen chemischen Proceß eine Massenzunahme erfährt. Könnten beide Vorgänge in einem Experiment so realisirt werden, daß stetig in dem Maße,

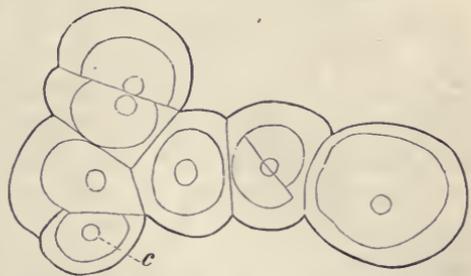


FIG. 5. Eine Kette von Kalk-Sphäroiden, welche aus einer Lösung von Chlorcalcium niedergefchlagen sind durch kohlenstoffsaures Kali. *c* die Kerne der Sphäroide. 600:1.

wie durch die Membranbildung der Zellinhalt einen Verlust erfährt, neuer Vorrath an plastischem Material eingeführt würde, so entspräche das Gebilde in mechanischem Sinne mindestens dem vegetativen Theil einer niederen

¹⁾ Dr. J. SACHS, Zur Gesch. der mechanischen Theorie des Wachsthumsvorganges der organischen Zellen. Bot. Ztg. 1878.

Pflanze. Drei im Pflanzenreich vorherrschend in die Augen springende Erscheinungen fehlten dann freilich noch: die feine Structur organischer Membranen, die Theilungsfähigkeit und die constante Form.

Die TRAUBE'sche Zelle läßt, wie schon aus der Diffusion des Wassers hervorgeht, solche Verbindungen diffundiren, deren Moleculargewicht kleiner ist, wie das der beiden Membranogene. So diffundiren Ammonsalze z. B. durch eine Niederschlagsmembran, welche aus Metallsalzen hergestellt wurde.

FAMINTZIN ist es vor einiger Zeit gelungen, anorgane Formen so aus Chlorcalcium und kohlenfaurem Kali zu fällen, daß das noch plastische Kalk-Sphäroid unter dem Auge des Beobachters wuchs, einen helleren, anders lichtbrechenden Kern differenzirte, der nach der Angabe FAMINTZIN's sich theilte, so daß mehrere Kerne zum Centrum neuer Sphäroide wurden. Er sah in wenigen Minuten Drillinge, Vierlinge und Ketten von Kalk-



FIG. 6. Niederschlagskörper von kohlenfaurem Kalk, durch vorsichtiges Zusammenbringen von Chlorcalcium und kohlenfaurem Kali entstanden (nach FAMINTZIN).

Sphäroiden entstehen (Fig. 5). Jedes Individuum schichtete sich in Schalen von verschiedenem Lichtbrechungsvermögen. Eine große Anzahl der Gebilde ähnelte den zusammengesetzten Stärkekörnern, wie sie in der Pflanze vorkommen, so sehr, daß selbst ein geübter Mikroskopiker sie nach dem bloßen Augenschein für Stärke halten mußte (Fig. 6).

Bei der Herstellung solcher Niederschlagskörper bringt man zwei Tröpfchen von kohlenfaurem Kali und Chlorcalcium an einem Deckglase an, legt dieses, nachdem man die Tropfen durch eine schmale Wasserbahn in Berührung gebracht hat, so auf einen hohlen Objectträger, daß die Tröpfchen, an dem Deckglas hängend, vor Verdunstung geschützt sind. An der Berührungsstelle der beiden Tropfen bildet sich eine TRAUBE'sche Membran. Im Chlorcalciumtropfen entstehen nach einiger Zeit jene allmählig anwachsenden Sphäroide (Fig. 6).

Gewisse feine Structurverhältnisse der Pflanzenmembran lassen sich synthetisch ermöglichen in Kieselsäure-Niederschlägen, welche bei der

Zerfetzung von Siliciumfluorwasserstoff entstehen. Man verfährt bei diesem Experiment so, daß man in einem Glasgefäß Sand, Flußspath und Schwefelsäure mischt und die entstehenden Dämpfe von Siliciumfluorwasserstoff in einem befeuchteten Baumwollpflock auffängt. Bei der Zerfetzung des Gases schlägt sich die Kieselsäure in Form der in Fig. 7 abgebildeten Schalen nieder. Dieselben besitzen die Gestalt verzweigter Cylinder oder Kugeln, deren Wand zum Theil mit außerordentlich regelmäßigen Areolen bedeckt ist. Andere Kieselschalen sind mit zierlichen Warzen bedeckt oder die Schale ist an regelmäßig umschriebenen Kreisstellen örtlich verdünnt (Beginn eines Porus). Von Interesse ist, daß an solchen Kieselschalen die sechsseitigen Felder der Diatomeenpanzer mit verschieden großem Durchmesser eines Feldes vorkommen. Ich habe solche Schalen hergestellt, bei welchen die Felder nur mit stärkeren Vergrößerungen aufgelöst werden konnten. Andere lassen die Felder schon bei 2- bis 300-facher Vergrößerung erkennen.

In sehr alten mikroskopischen Präparaten, welche mit Chlorcalciumlösung eingeschlossen waren, zerfetzt sich diese Lösung in der

Weise, daß, jedenfalls ganz langsam wachsende, Sphäroide von kohlenfaurem Kalk entstehen (Fig. 8), welche durchaus den Inulinsphäroiden ähnlich sind. Es sind Kugeln und abgeglättete sphärische Körper mit doppelter Schichtung und Streifung, welche in concentrische Schalen und radial gestellte Pyramiden differenzirt sind. Wie das Inulin sind sie doppeltbrechend.

Die gesetzmäßige Wiederholung der Pflanzenformen und der in ihnen vorgehenden Bewegungserfcheinungen ist an die Wandlung eines bestimmten Zellinhaltes gebunden — des Protoplasma. Dasselbe ist ein zähflüssiger Körper, welcher die Zelle mehr oder weniger vollständig ausfüllt. Die Bewegungen der Protoplasmanmassen, soweit sie dem Auge des Beobachters mit Hilfe des Mikroskopes direct zugänglich, sind sehr complicirt und werden in den hier nachfolgen-

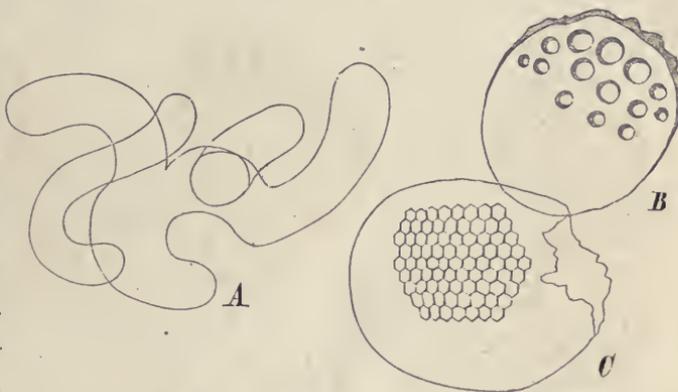


Fig. 7. Zellengebilde aus Kieselsäure: *A* verzweigte, abenteuerlich gestaltete Cylinderketten. *B* Blasen mit warzigen Verdickungen. *C* Blase mit sechsseitigen Feldern.

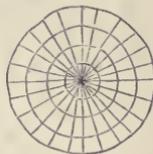


Fig. 8. Sphäroid aus kohlenfaurem Kalk, welches sich in der Chlorcalciumlösung eines mikroskopischen Präparates nach vielen Jahren gebildet hat.

den Abschnitten studirt. Von Generation zu Generation vermitteln kleine Protoplasmaaffären den Zusammenhang, die Continuität organischen Werdens.

§ 2. Die Continuität der organischen Bewegungserscheinung¹⁾.

Denkt man sich eine Kette von vielen tausend Generationen einer und derselben Pflanzenart in die Vergangenheit und eine unendliche Reihe derselben in die Zukunft, von dem Zeitpunkt gerechnet, in welchem diese Betrachtung angestellt wird, so ist die Kette lebender Wesen in dieser Reihe *continuirlich* dadurch, daß in mikroskopisch kleinen Tröpfchen von Protoplasma der Ei- oder Keimzellen die Evolution des Pflanzen- oder Thier-Individuums beginnt. Eine feste, innerhalb weniger Generationen constante oder wenig wandelbare Form ist das Ende der Entwicklung. Jenes Tröpfchen stammt von einer vorhergehenden Generation und das aus ihm gebildete Individuum häuft erst nach bestimmter Zeit alle die Formkeime in sich an, welche nöthig sind, um von Neuem eine Keimzelle in dem gleichen Sinne wie vorher keimfähig zu machen. Es ist zunächst die Anhäufung der potentiellen Energie, die Keimkraft während

¹⁾ H. v. MOHL, Bemerk. über den Bau der vegetativen Zelle. Bot. Ztg. 44. S. 273. — H. v. MOHL, Ueber die Saftbewegung im Inneren der Zellen. 73. 89. Ueber das Wachstum der Zellmembran. 337. 53. 69. 85. Bot. Ztg. 46. — GÖPPERT u. COHN, Ueber die Rotation des Zellinhaltes in *Nitella flexilis*. 665. 81. 97. 713. Bot. Ztg. 49. — SCHACHT, Die Pflanzenzelle, der innere Bau und das Leben der Gewächse. 1852. Berlin. C. W. F. Müller. — N. PRINGSHEIM, Ueber den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle. 1. Abthlg. Theorie der Pflanzenzelle. 1854. Berlin. A. Hirschwald. — TH. HARTIG, Ueber die Functionen des Zellkerns. S. 574. Ueber das Verfahren bei Behandlung des Zellkerns mit Farbstoffen. S. 877. Bot. Ztg. 54. — TH. HARTIG, Ueber das Verhalten des Zellkerns der Zellbrut-Entwicklung. 161. Bot. Ztg. 55. — H. v. MOHL, Der Primordialschlauch. Bot. Ztg. 55. — MAX SCHULTZE, Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen. Leipzig. W. Engelmann. 1863. — CIENKOWSKY, Das Plasmodium. Pr. Jahrb. Bd. III, S. 400. — Dr. LEOPOLD DIPPEL, Entstehung der wandständigen Protoplasmaströmchen in den Pflanzenzellen und deren Verhältniß zu den spiral- und netzförmigen Verdickungsschichten. Halle. H. W. Schmidt. 1867. — S. ROSANOFF, *De l'influence de l'attraction terrestre sur la direction du Plasmodie des Myxomicètes*. 1869—70. — HUGO DE VRIES, *Sur la perméabilité du protoplasma des betteraves rouges*. (Extrait des „Archives Néerlandaises“. T. II. 1871.) — Dr. W. VELTEN, Bewegung und Bau des Protoplasmas. 1872. — W. VELTEN, Ueber die Verbreitung der Protoplasmaabewegungen im Pflanzenreiche. 645. Bot. Ztg. 72. — HANSTEN, Vorläuf. Mittheil. über die Bewegungsercheinungen des Zellkerns in ihren Beziehungen zum Protoplasma. 22. 41. Bot. Ztg. 72. — C. F. W. KRUKENBERG, Ueber ein pepsisches Enzym im Plasmodium der Mixomyceten. Unterf. d. physiol. Instituts d. Univ. Heidelberg. II. 3.

der Evolution eines Individuums in der abzufchnürenden Eizelle der complicirtere Vorgang in mechanischem Sinn. Die Auslösung der potentiellen Energie in eine bestimmte Art der actuellen während der Entwicklung, und mag der entwickelte Keim noch so complicirt fein, ist als eine Vereinfachung der Aufgabe für jede Zelle anzusehen. Wir haben nun in jener Reihe von zahllosen, hintereinander belegenen Keimzellen, durch welche die gegebene organische Bewegungsercheinung continuirlich wurde, eine zweite Wandlung in's Auge zu fassen: von Keimzelle zu Keimzelle wächst die Größe der potentiellen Energie mit der Erhebung der Race und im Allgemeinen von den niederen nach den höheren Pflanzen die Zeitdauer, bis das Individuum mannbar wird, d. h. von Neuem eine mit allen Formkeimen verfehene Eizelle zu differenziren vermag. Dieses Heranwachsen der potentiellen Energie über die ganze Kette ist aber offenbar wie vorher bei der einmaligen Evolution des Individuums der complicirtere Proceß; derselbe ist gegenüber der einmaligen Entwicklung aus einer befruchteten Eizelle, nach der heute herrschenden Descendenzlehre von einem inneren Bildungstrieb abhängig, welcher mechanisch nicht begreiflich ist. Mechanisch betrachtet, ist daher die Evolution der morphotisch höheren aus den morphotisch niederen Racen ein einfacherer Proceß wie derjenige, durch welchen der Bildungstrieb in die frühere Eizelle angehäuft wurde.

Die Protoplasmamasse niederster und niederer Pflanzen wird daher in ihrem molecularen Gefüge viel complicirter gedacht werden müssen, wie diejenige in den vegetativen Zellen höherer Gewächse.

Stellen wir mit Bezugnahme auf die heutige Descendenzlehre den vorstehenden Gedankengang in einer Reihe von Sätzen zusammen.

In zwei Formstämmen (Racen), welche in die Vergangenheit convergiren, ist die organische Bewegung für ungeheure Zeiträume continuirlich dadurch, daß von Génération zu Génération in kleinen Protoplasmamassen die Keime zur Formentfaltung für die je nächste Génération angehäuft werden. Dieß ist der mechanisch complicirtere Vorgang.

In dem Maaß, wie für die einmalige Auslösung der Keimkraft während der Evolution eines Individuums aus der Eizelle die Form entsteht, verliert die Protoplasmamasse je eines der vielen Zellenabkömmlinge die Fähigkeit, den Gesamtcyclus der Eizelle auszuführen, bis nach der Vollendung der vegetativen Form und nach Aufwand von gewisser Zeit, bis zur Mannbarkeit, in bestimmt localisirten Zellen die Absonderung der Eizellen möglich wird. Diese Evolution der vegetativen Organe ist in mechanischem Sinne der einfachere Proceß.

In unferen zwei in die Vergangenheit convergenten Aesten muß der mechanische Vorgang der Anhäufung von potentieller (Keim-)Energie in dem Schnittpunkt der Zweige, dem Ort, wo zwei verschiedene Eizellen in

einem Form-Individuum Ursprung nahmen, complicirter sein wie in allen Eidescendenten der späteren Generationen. In dem älteren Eidescendenten muß daher der moleculare Vorgang der Anhäufung von Formkeimen im Allgemeinen complicirter sein wie in den jüngeren.

Unter diesem Gesichtspunkt erscheint uns die Evolution der jetzt angepaßten Rassen als eine stetig sich vereinfachende Aufgabe, je höher die Rasse sich erhebt, gegenüber dem Proceß der Anhäufung der Keimkraft, welcher in den Ahnen unserer heutigen Rassen sich vollzog, in welchen zwar die Demonstration der äußeren Form einfacher, die moleculare Anordnung dagegen complicirter war.

Wenn es an der Erde eine einzige zusammenhängende Protoplasma-masse gegeben hätte, in welcher die Keime der heutigen Formen gleichmäßig vertheilt waren (dieß wäre die alleräußerste Consequenz, zu welcher sich billigerweise unsere Phantasie versteigen darf), so müßte dieselbe selbst schon (nach unserer Vorstellungsweise) so complicirt sein, daß sie von dem Wissen eines Physikers und Chemikers aus nicht mehr beherrscht werden kann, gerade deswegen, weil aus ihr im nächsten Schritt der Erhebung und Gliederung in verschiedene Rassen Bewegungsänderungen auftreten, welche als innerer Trieb in der ursprünglichen Masse vorbestimmt waren. Dieser Trieb nach verschiedener Gestaltung ist nach unserer heutigen Erkenntniß nicht mechanisch zu erklären.

Die Discussion liegt jetzt an der äußersten Grenze des für den Zweck des vorliegenden Handbuches umstreckten Gebietes. Soviel wird Jedermann, der Neigung zum Nachdenken über Naturproceß in sich trägt, nachempfinden. Bei der Betrachtung zweier Keimlinge, der eine dem Apfel, der andere der Birne entsprossen, ist die geheimnißvolle Kraft, welche in denselben steckt, räthselhafter wie die Formentwicklung nach der Aussaat, welche aus dem einen einen Birn-, aus dem anderen einen Apfelbaum macht, auf gleichem Boden und bei gleichen äußeren Bedingungen. Die äußere feste Form der Pflanzen kann vielleicht als eine Anpassung aufgefaßt werden, gegenüber den bis jetzt wenig zugänglichen molecularen Vorgängen in den Keim-(Ei-)Zellen. Die niederste hüllenlose Protoplasma-masse aber im Gegensatz zu jener starren, festen Hülle der höheren Pflanze kann nicht in diesem Sinne begriffen werden. Ihre Bewegungen sind zu mannigfach. Ich betrachte das Protoplasma, indem ich, von den nackten thierischen nach den pflanzlichen fortschreitend, zu den Plasmakörpern gelange, welche feste pflanzliche Zellräume bewohnen.

A. Nackte Protoplasmanmassen.

In dem stagnirenden Wasser der Teiche, Flüsse, Sümpfe, aber auch in feuchter Erde, im Moos und Moor, leben die niedersten, nackten, hüllen-

lofen Protisten. Es sind flüssige Massen mit einer hyalinen Grundsubstanz, welche geformte dichtere und weniger dichte Körner von verschiedenem Durchmesser enthält. Ein solcher Plasmakörper verändert langsam und stetig seinen Umriss, indem er flüssige Ausläufer ausstreckt, andere einzieht. Er verändert stetig die Anordnung seiner sichtbaren Inhaltsteilchen, indem er hier wasserreiche, scharf umschriebene Blasen (Vacuolen) bildet, dort verschwinden läßt.

Die beiden Amöben (Fig. 9) gerathen offenbar einmal in eine und dieselbe äußere Form, so daß man sie alsdann für zwei der Art nach gleiche ansehen könnte, und nur die längere Beobachtung läßt in der Formenreihe, welche von jeder durchlaufen wird, in der Art und Weise, wie die Vacuolen entstehen und vergehen, einen Charakterunterschied erkennen. *A* führt kleine

Excursionen nach allen möglichen Richtungen, *B* führt stetig fortschreitende, wälzend strömende Bewegung aus. Bei der *Amoeba princeps* (Fig. 10) ist die Stromrichtung ganz constant. Die Spitze bildet dichotome Abzweigungen, welche entstehen und vergehen, während der ganze Körper fortschreitet.

Die Amöbe Fig. 11 bewegt sich außerordentlich mannigfach, sie durchläuft in 4 Minuten die Formenreihe *a* bis *f*, bald mit vielen Pseudopodien *a* bis *e*, bald abgerundet mit einem herrschenden spitzen Ausläufer; sie schmiegt sich der Luftblase *L* an und umwandert

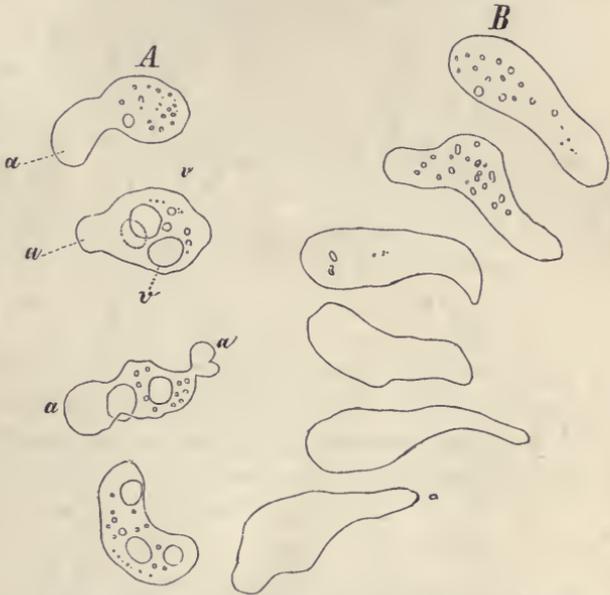


FIG. 9. Zwei Amöben, jede im Verlauf von 1–2 Minuten durch die Reihe *A* und *B* beobachtet. Aus dem Formencyclus ergibt sich, wiewohl gleiche Formen in beiden Reihen vorkommen, eine Charakterschiedenheit der zwei Massen. In *A* sind die körnerlosen Ausfüllungen der Grundsubstanz, bei *a* lehrreich. *v* Vacuole, welche verschwindet und wieder auftritt.

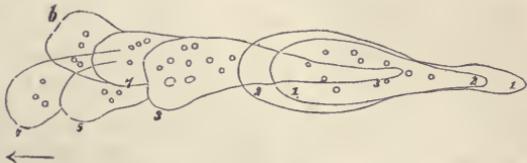


FIG. 10. *Amoeba princeps* Ehrenberg (nach der Natur gez.). Amöbe mit constanten Stromrichtung des Pfeiles. Die Lagen der Masse 1, 2, 3 zeigen, daß der Körper strömend vorrückt, so zwar, daß an dem vorderen Ende nach links und rechts blaßige Ausfüllungen getrieben, welche sofort wieder eingezogen werden, wie eine derselben in der Hauptstromrichtung dominirt. (In EHRENBURG'S Atlas beschrieben.)

dieselbe, bildet zahlreiche kleine Vacuolen

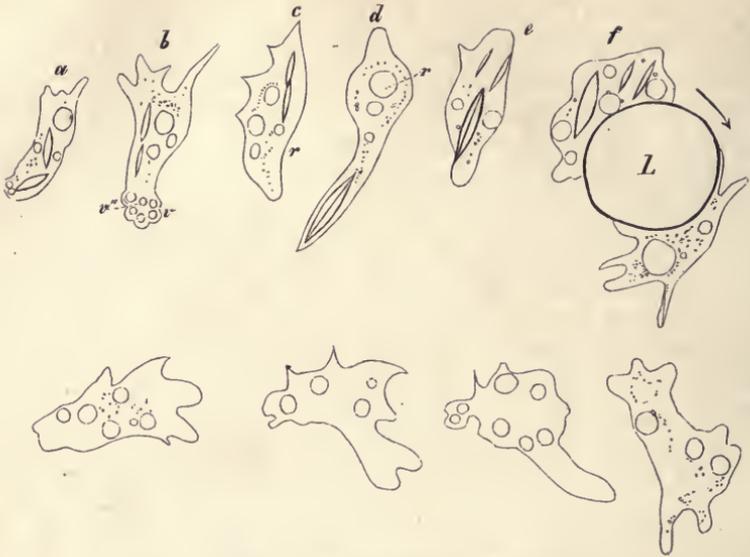


FIG. 11. Süßwasser-Amöben in aufeinanderfolgenden Zuständen.

v'' v in b , welche demnächst wieder verschwinden.

Bei einer anderen wasserbewohnenden Amöbe, Fig. 12, tritt die Sonderung der glashellen Grundsubstanz von der Körnermasse dann besonders

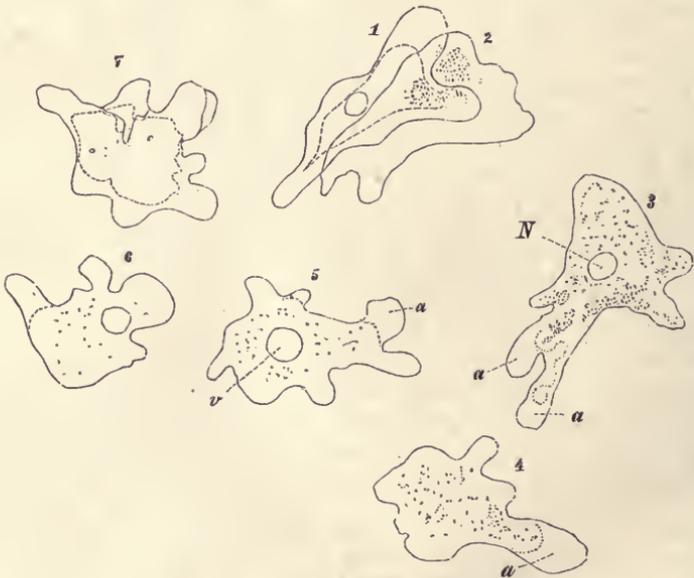


FIG. 12. Amöbe, durch die Reihe 1 bis 7 verfolgt. v Vacuole.

scharf hervor, wenn sich die erstere am Rande in blasige Ausstülpungen mannigfach verschiebt.

Unter den erdebewohnenden Amöben gibt es pigmentführende; die *Amphizonella violacea* z. B. enthält ein violettes Pigment neben einem diffus verbreiteten gelben. Die trägen Bewegungen dieser Amöbe bestehen in der Bildung flossenartiger Ausstülpungen der hyalinen Grundsubstanz *a b*, Fig. 13. Comprimirt man die Masse, so zerreißt die zähflüssigere Hülle *a b* und der körnerreiche, dünnflüssigere Inhalt tritt aus. Gleichwohl darf jene Hülle *a b*, Fig. 13, nicht als fest angesehen werden. Sie stellt jedenfalls einen zähflüssigen, plastischen und gering elastischen Aggregatzustand dar.

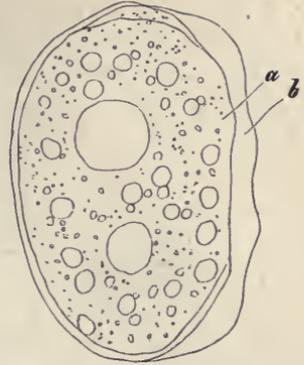


FIG. 13. *Amphizonella violacea*. Erdbewohnende Amöbe zwischen Moos und Flechten. *a b* Contouränderung innerhalb 10 Minuten. (Schafsberg bei Limburg, THILENIUS.)

Im Allgemeinen verlaufen die Formände-



FIG. 14. *Amceba terricola* (GRAEFF a. a. O.) in drei Stadien, welche innerhalb 10–15 Minuten an einem und demselben Individuum beobachtet wurden. Temperatur 20° C. *t* eine eingeschlossene *Trinema acinus* (befaltete Monothalamien). *V* Vacuole.

rungen der erdbewohnenden Amöben langsamer wie diejenigen der wasserbewohnenden, wie die Vergleichung der beiden Aufnahmen Fig. 14 und Fig. 15 zeigt. In Fig. 14 werden 10 bis 15 Minuten, in Fig. 15 aber nur wenige Sekunden gebraucht, um auffällige Gestaltänderungen hervorzu- bringen. Fast alle wasserbewohnende Amöben schließen gelegentlich fremde Körper, niedere Algen aus den Familien der Palmellaceen, Desmidiën, Diatomeen u. a. m. ein. Sie zerstören das Leben in diesen und assimiliren

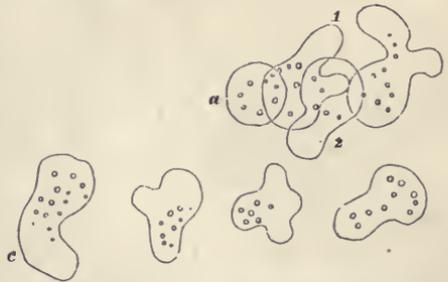


FIG. 15. Amöbe in ihrer Formveränderung durch die Reihe *a b c d* dargestellt. Die Aufzeichnung der Umriffe der hyalinen Grundsubstanz konnte kaum der Bewegung folgen, von Secunde zu Secunde veränderte sich der Umriss. In *a* ist die Amöbe eine Kugel, in *1* zweiarmig. In *2* fließt sie wieder nach der entgegengesetzten Seite u. f. f. 1: 450.

1) Ueber einige in der Erde lebende Amöben. R. GRAEFF in M. SCHULTZE'S Archiv für mikr. Anat. 1866. S. 299.

einen Theil des flüssigen Inhaltes der aufgenommenen Zellenpflanzen¹⁾. Die Reste werden während der Bewegung wieder ausgestoßen. Bei jener *Amœba princeps*, Fig. 10, mit rasch strömender Bewegung erfolgt die Aufnahme an dem vorderen, die Abgabe der Reste an dem hinteren Ende, bezogen auf die fortschreitende Richtung.

Die *Vampyrella vorax*, Fig. 16²⁾, ist eine sphärische Plasmamasse mit haarfeinen Pseudopodien *A*, sie schließt die kleineren Diatomeen vollständig ein, *B*, ohne diese Gestalt zu verändern. Größere Synedren, wie die in Fig. *C*, gegenüber welchen ihre Masse sehr klein ist, überzieht sie. Nach der vorliegenden Beobachtung rückt sie in 1, 2, 6 Minuten in der dargestellten Weise über den Körper der Synedra, so daß nach vollständiger Umschließung der Parasit als dünner Ueberzug über jene Synedra kaum noch erkannt werden kann.

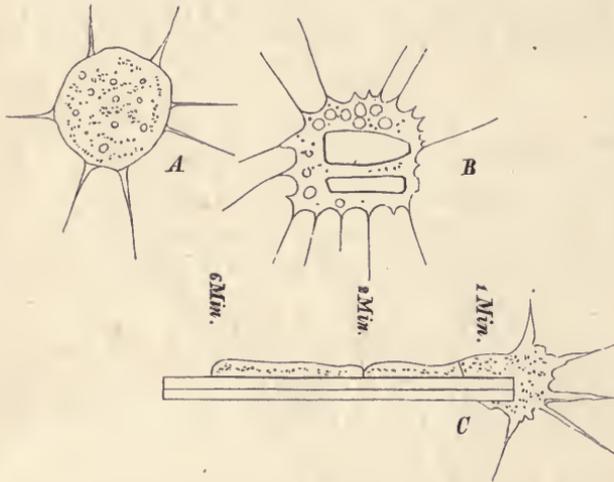


FIG. 16. *Vampyrella vorax*, nach der Natur gezeichnet.

Am complicirtesten von allen thierischen Protisten ist die *Actinosphæra Eichhornii*, Fig. 17. Sie stellt eine vollständig flüssige, in zellige Hohlräume gegliederte Kugel dar, von welcher lange Stäbeausstrahlen. Die periphere Schale der Kugel besteht aus hyaliner Grundmasse, welche um polyedrische Vacuolen ein geschlossenes Zellennetz bildet. Das Centrum der Kugel Fig. 17 (rechte Hälfte) enthält ein ebenfolches Zellennetz mit körnigen Platten und Kernen. In großen Vacuolen befinden sich die gefangenen niederen Algen aus den Familien der Diatomeen, Desmidiaceen, Volvocineen u. s. f.³⁾.

Die Strahlen selbst entspringen dem inneren Theil der Kugel und durchsetzen die hyaline Hülle, sie sind differenzirt in einen massiven Axenstab *a* und einen hyalinen Mantel in Fig. 17 *B*, in welchem die Körner *k k'* sich gleitend bewegen.

¹⁾ Hier handelt es sich jedenfalls um einen Verdauungsproceß.

²⁾ CZIENKOWSKY, Ueber einige Rhizopoden und verwandte Organismen. SCHULTZE'S Archiv für mikr. Anat. XII.

³⁾ Pastor EICHORN, «Der Stern». 1776. — WALLICH. — HECKEL. — SCHULTZE'S Archiv. XXXI. Band.

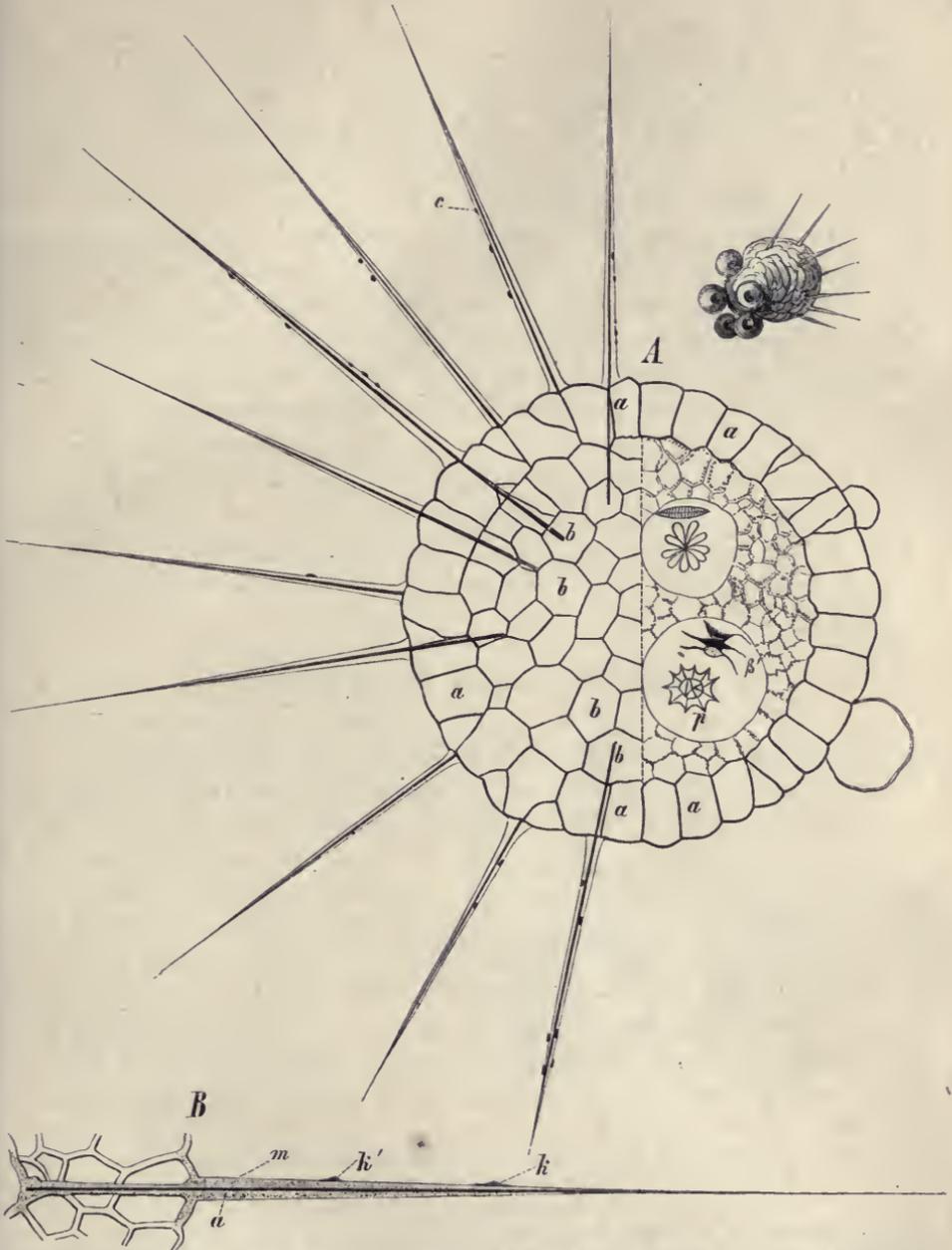


FIG. 17 A. Actinosphera Eichhornii. Links von der punktirt. Linie ist d. Zone der Grenzzellen i. optischen Durchschnitt *a a* ..., und in der Kugelfläche sind dieselben Zellen in ihrer Flächenansicht dargestellt *b b* ... Rechts von der punktirt. Linie aber ist ein opt. Durchschnitt durch d. ganze Kugel dargestellt. Man unterscheidet nach der Vertheilung der hyalinen, homogenen u. körnigen Masse 4 verschiedene Räume: die Grenzzone *a a* ..., die körnigen kleineren i. Innern, ganz m. körnigem Plasma erfüllte Gruppen *αα'*, zum vierten 2 große Blasen hyalin und homogen. Die eine enthält ein Pediastrum *β* und eine Scenedesmusgruppe *β'*, die andere eine Diatomee und eine Volvocinee (um Raum zu sparen, wurden die Strahlen rechts weggelassen). FIG. 17 B. Eine kleine Parthie der Kugel und ein Protoplasmastrahl mit größeren *k* und kleineren Körnern, welche in einer hyalinen Hüllschicht *m* eingebettet, um eine dichtere Axe *a* fortfließt.

Die randständigen Vacuolen *a a* treiben oft blasige Anschwellungen, welche über die Peripherie der Kugel weit hervorragen. Schneidet man eine Actinosphäre mit einem kleinen Messerchen in zwei Hälften, so gruppieren sich die flüssigen Theile nach einiger Zeit doch wieder so, daß zwei Individuen entstehen, indem die Randschicht an jeder der Durchschnitflächen von Neuem gebildet wird.

Mit Bezugnahme auf die Abhandlung S. 15 geht aus der Schilderung der Bewegungsformen der nackten Protoplasamassen hervor, daß schon in der flüssigen Protoplasamasse stete Charakterzüge in der Bewegung zum Ausdruck kommen, welche auf eine hochgradige Differenz in der molecularen Anordnung schließen lassen. Die Bewegung selbst ist so complicirt, daß die Formänderungen in der Evolution der höheren Pflanzen für je eine Race in mechanischem Sinne einfacher erscheinen. Denn es ist der stete Wechsel der Form und die stete Tag und Nacht und immer durch unendliche Zeiträume anhaltende Umlagerung der kleinsten Theilchen, welche hier in's Auge springt. Diese Bewegung läßt einen einigermaßen stabilen Zustand der Form nicht zu, wie er in der Zellenpflanze erreicht ist.

B. Thierische beschaltete Protoplasamassen.

Wir betrachten zwei der lehrreichsten Protoplasmakörper: *Cochliopodium pellucidum* und *Zyphoderia margaritacea* (SCHLUMBERGER).

Die erstere stellt eine flache, tellerförmige Scheibe, Fig. 18, 19, im

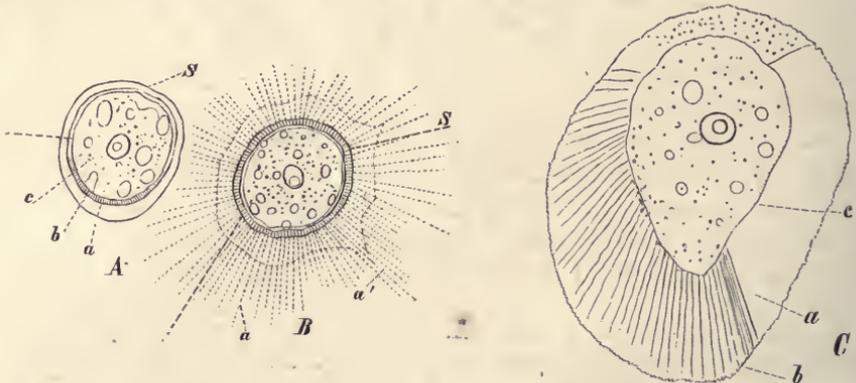


FIG. 18. *Cochliopodium pellucidum*. THILENUS (Bassins in der Umgebung von Wiesbaden). Eine Amöbe in drei Zuständen, welche im Zeitraum von 15–20 Minuten im Mikroskop beobachtet wurden. A. *a* hyaline Schicht, *b* dichtere Körnerschicht im optischen Durchschnitt, *c* Körnermasse der inneren Kugel. B. *a a'* außerordentlich feine (körnig punkirt erscheinende) Strahlen. C. In *a* die Strahlen und die hyaline Schicht vereinigt bis auf eine äußerst feine Zähnelung bei *b*.

Durchschnitt dar, *m m* die starre, feste Hülle, *P P'* die bewegliche Plasmamasse. In der Richtung des Pfeiles, Fig. 19, betrachtet, erscheint die aus der Schale ausfließende Masse, wie die Figuren 18 A, B, C zeigen, als

eine kreisförmige Figur, an deren Rande außerordentlich feine Körnerfrömmchen sich ausbreiten. Im Verlauf von 10—15 Minuten verändert sich der Contour, so daß er bald ganz nach dem Rande der Schale eingezogen, bald in jene sehr feinen Strahlen aufgelöst wird, bald als breite, gezahnte und gestreifte Flosse hervorragt.

Nach der Auffassung von THILENIUS¹⁾ ist *S*, Fig. 18 *B*, jene gestreifte Schale, eine feste, wenn schon sehr zarte Hülle, durch deren Oeffnung die Protoplasmafäden ausfließen. Der Organismus ist in einer Ebene, welche senkrecht zu den Figuren 18 steht, eine Mütze *m m*, mit der Oeffnung, aus welcher die Protoplasmamasse *P P'* ausfließt. Die Figuren 18 sind daher Ansichten von Fig. 19, welche in Richtung des Pfeiles gewonnen wurden.

Die Bewegung der Plasmamasse ist eine träge fließende, dabei aber treten jene Aenderungen in der Lage der festen Theilchen zu den flüssigen außerordentlich rasch auf, wie dies aus der Veränderung der Streifung in der Masse und der Zähnelung an ihrem Rande kenntlich wird.

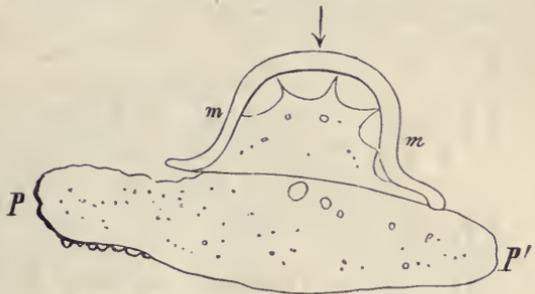


FIG. 19.

Bei der *Cyphoderia* [*Lagynis*]²⁾, einer beschalteten Rhizopode des süßen Wassers, ist das Studium der Bewegung von noch größerem Interesse. Im gegebenen Momente füllt die Plasmamasse die Schale vollständig aus, Fig. 20 *a*. Soeben beginnt das Ausfließen aus der Mündung *M*. Bald breiten sich lange, vielverzweigte, oft äußerst zarte hyaline Fangarme von Protoplasma aus, in dem Maße, wie die Flasche entleert wird. Bei dem allmäligen Zurückziehen der Masse von der Wand bleiben einzelne Stellen dort haften $\alpha \alpha$, bis endlich der größte Theil des Organismus aus der Mündung getreten ist. Bei diesem Ausfließen differenzirt sich die Körnerschicht *k* von der hyalinen Grundsubstanz *c*, Fig. 20, so daß zwei Menisken den hinteren Theil des Rhizopoden abgrenzen. Der von dem Rhizo-

1) Vortrag im naturwissenschaftlichen Verein in Wiesbaden. Nov. 1876. — SCHULTZE, Archiv für Mikroskopie. HERTWIG & LESSER. Supplem. zum X. Band.

2) *Cyphoderia margaritacea*. SCHLUMBERGER, 1845. Ann. d. sc. nat. III. S. 3. d. — 1852. PERTY (Bern), Zur Kenntniß der kleinsten Lebensformen. — 1854. MAX SCHULTZE, Organismus der Polythalamien. — 1858. FRESSENIUS, Abhandl. d. Senkenberg. Gefellsch. Frankfurt. — 1857. STEIN, Sitz.-Ber. der Böhm. Acad. — 1864. CARTER, Ann. of natur. history: «on freshwater rhizopodes of England and India». — 1864. WALLICH, Ann. of natur. history. — 1874. HERTWIG & LESSER, SCHULTZE'S Archiv. X. Band. Supplem. — 1875. E. E. SCHULZE, in Arch. für Anatomie. — Fundort: Genf, Simplon, Bonn, Wiesbaden, nach THILENIUS in allen Teichen.

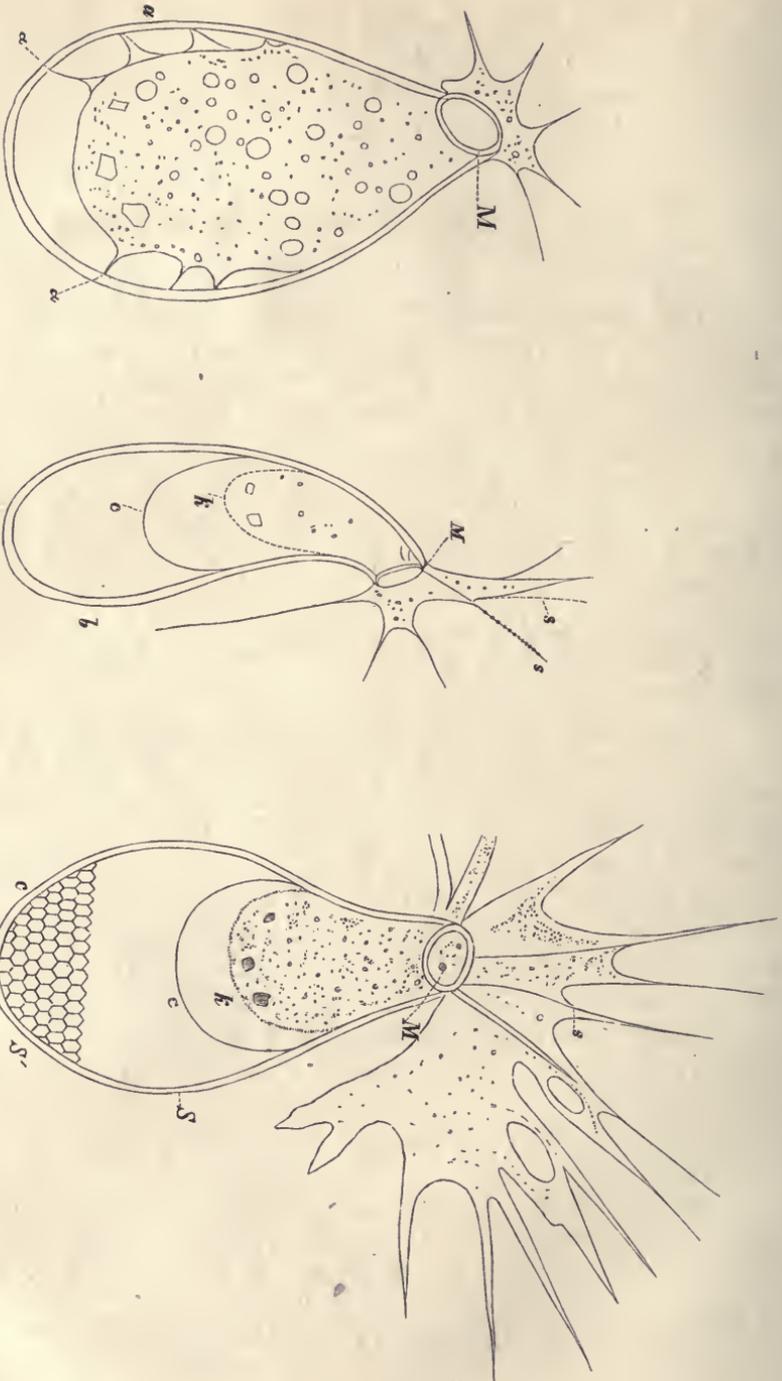


FIG. 20. Formreihe der Plasmamatte einer befruchteten Amöbe (*Lagymis*). In *a* ist dieselbe, in die Fläche zurückgezogen, im Begriff, dieselbe zu verfallen: eine Reihe von an der Wand haftenden Plasmafäden *a*. *b* die Fläche von der Seite (*a* um 90° gedreht). *c* hyaline, *k* Körnerlicht, *ss* die aus der Mündung *M* austretenden Plasmatröme. *S* die Schale, bei *S'* ein kleines Flächenelement, welches die Felder zeigt.

poden verlassene Theil der Schale in *ab* ist gleichwohl mit Flüssigkeit angefüllt. Es muß daher bei der Lagenänderung, wie sie von *a* nach *c* graphisch dargestellt ist, ein der Plasmamasse entgegengerichteter Wasserstrom nach dem Bauch der Flasche herrschen.

§ 3. Pflanzliche nackte Plasmamassen.

Mit Ausnahme der in der festen Form niedrigst gegliederten Mixomyceten und der Geschlechtszellen und Schwärmsporen der niederen Pflanzen ist das Protoplasma in allen Pflanzen in Hohlräumen eingeschlossen, deren Wände von ihm selbst aufgebaut wurden. Die Bewegung der nackten Plasmamassen ist eine strömende, eine gleitende oder Flimmerbewegung.

Bei der ersten entfaltet sich aus der hyalinen flüssigen Grundsubstanz ein im Allgemeinen dendritisches Stromnetz, in welchem die Körnchen strömend fortfließen.

Bei der zweiten

werden ganze Parthien der zähflüssigen Masse in einer vorgeschriebenen Bahn gleitend bewegt. Bei der dritten bewegt sich eine scharf umschriebene Plasmamasse von bestimmter Form dadurch, daß wimperartige Plasmaausstülpungen durch ihre Schwingungen den Gesamtkörper im Wasser fort-schieben.

Die Sporen der Mixomyceten¹⁾ entlassen zur Zeit der Keimung in feuchter, warmer Unterlage den Schwärmer, Fig. 21 I, welcher, mit einer Cilie versehen, eine rotirende Bewegung im Wasser ausführt. Nach ein-

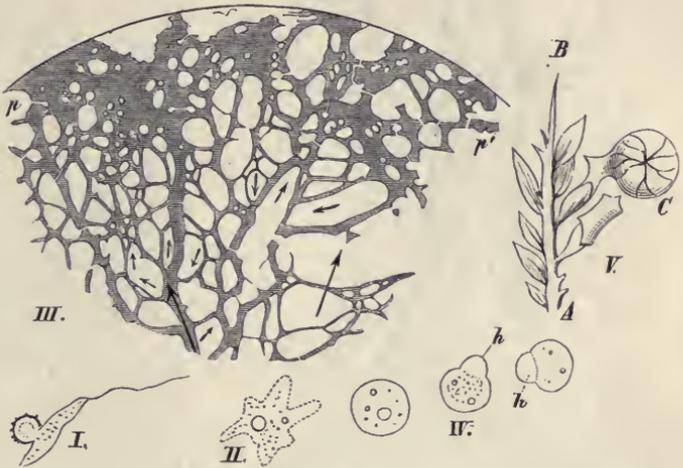


FIG. 21. I. Der Schwärmer von *Aethalium septicum*. II. Die Amöbe von *Aethalium*. III. Das Plasmodium von *Aethalium*. IV. Die Amöboiden-Bewegungen eines Plasmotropens der *Spongilla* innerhalb 5 Minuten. V. Das Capillitium eines Mixomyceten auf einem Moospflänzchen.

¹⁾ Systematik der Mixomyceten, f. FÜCKEL, *Symbolae mycologicae* aus d. Jahrb. d. naff. Ver. f. Naturk. Jahrg. 23 u. 24. WIEGAND in PRINGSHEIM'S Jahrb. Bd. III. S. 1.

ger Zeit wird diese langsamer, die Cilie wird eingezogen und die Masse geht in den Amöbenzustand über (Fig. 21 II. Vergl. Figurenerklärung IV).

Die Bewegungen dieser sind identisch, wenn schon träger wie die der oben beschriebenen thierischen Protisten. Die Amöben verschmelzen zuweilen durch Zusammenfließen, sie ernähren sich selbständig. Die Masse wächst und wird zum Plasmodium, Fig. 21 III, ein Stromsystem, in welchem die complicirtere Bewegungsform herrscht. Die Plasmodien führen weite Wanderungen aus, indem die hyaline Grundsubstanz gegen die Schwere und in der Richtung dieser fortfließt. Die Figur 21 III stellt ein

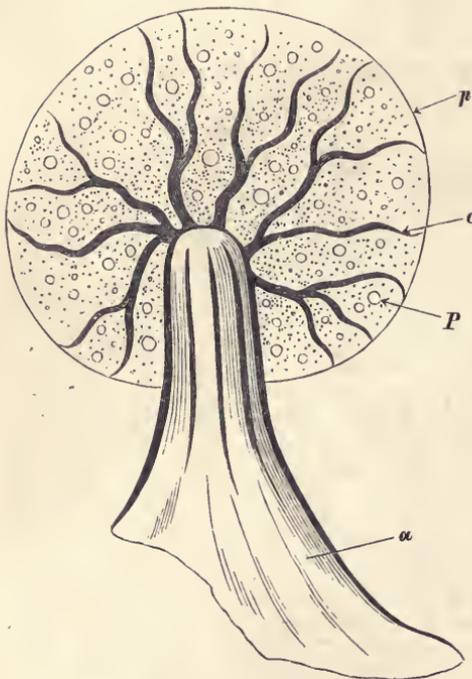


FIG. 21 A. Capillitium eines Mixomyceten. *a* Structurlose Lamelle. *p* Peridie. *c* Haarfäden. *P* Protoplasma.

solches System auf einer ebenen Glasplatte dar. In jedem der Stromarme herrscht Bewegung. Nach allen möglichen Richtungen communiciren die Hauptarme durch kleinere, ein Netzwerk darstellende Seitenströmchen. Im Allgemeinen besteht in dem vorliegenden System eine in der Richtung des großen Pfeiles vorherrschende Translocation, so daß in einer peripheren Gegend des Systems die Masse sich anhäufen muß. In wenigen Minuten aber kann der Strom, sowie in jedem Zweiglein umschlagen, derart, daß ganz neue Bahnen eingeschlagen werden und das ganze System in jedem Theil seine Configuration verändert.

A. Art der Strömung.

Bei dem Auftreten einer neuen Strombahn wird stets die hyaline

Strombahn wird stets die hyaline Grundsubstanz vorgefchoben, und sie fließt wie ein Strom von Wasser in einem Flußbett. In solchen Strängen gleiten die Körner, sich drängend, zusammenstoßend und sich gegenseitig ausweichend. In einem Strange können selbst zwei gegenfinnige Ströme verlaufen, so daß die Körnchen des einen mit denjenigen des andern mitunter in strudelnde Bewegung gerathen.

B. Verhalten gegen die Gravitation und Centrifugalkraft.

Wenn die Plasmodien auf Glasplatten in strömender Bewegung sind, so beobachtet man, daß die Geschwindigkeit abhängig ist von der Lage

der Platte zum Loth. Bei geneigter und lothrechter Stellung der Platte bewegen sich die dentritischen Aeste rascher nach oben wie nach den horizontalen und abwärts gehenden Richtungen. Dieß ist sehr wahrscheinlich eine Folge des Auftriebes in der Hauptschicht oder in der an der Platte haftenden dünnen Wasserschicht. ROSANOFF untersuchte die Einwirkung der Centrifugalkraft. Er ließ Plasmodien von *Aethalium septicum*, welche sich auf einer Glasplatte gefammelt hatten, in horizontaler Stellung der Platten rotiren. Der Erfolg war eine Ausbreitung der Masse auf einen größeren Kreis, so zwar, daß dieselbe sich nicht dentritisch verzweigte.

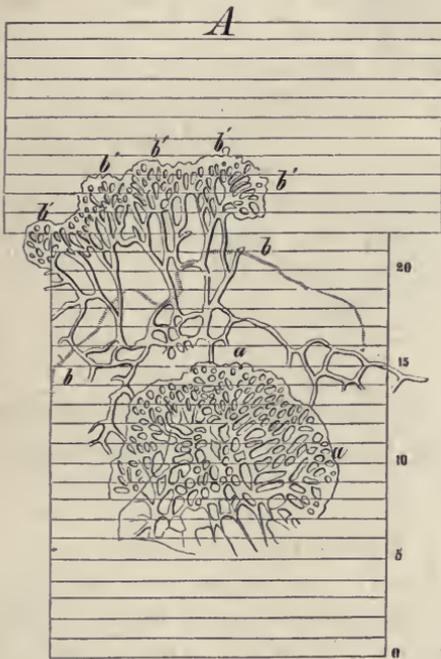


FIG. 22 A'B. A ein Plasmodium auf einer unter 45° geneigten Platte rückt gegenständig zur Schwere von *aaa* nach *bbb* und *b'b'b'* vor. Natürliche Größe. B Plasmodium auf horizontaler Platte nach ROSANOFF. Natürl. Größe.

FIG. 23. Aufeinanderfolgende Formen eines Plasmodiums, welches auf einer rotirenden Glasplatte cultivirt war. *a* Anfangslage, Drehungsgeschwindigkeit 5–8 Umdrehungen in der Secunde (nach ROSANOFF).

Ohne Zweifel bewirkt der Auftrieb im Wasser in dem einen Fall, die Centrifugalkraft im andern eine Beschleunigung der Theilchen.

Das Heben und Senken der Plasmamaffen in dem feuchten Substrat der Gerberlohe muß jedenfalls eine Folge des Auftriebes der Gesamtmasse sein. Es läßt sich denken, daß dieselbe, ungeachtet der selbständigen Bewegung der kleinsten Theilchen, im Gefammten durch ein specifisches Gewicht, welches größer wie Wasser, in Richtung der Schwere beschleunigt wird, durch ein kleineres specifisches Gewicht in den capillaren Wafferräumen der Unterlage einen Auftrieb erfährt. Ein Wechsel in der

¹⁾ *Extr. d. mém. de la Soc. impériale d. sc. nat. de Cherbourg. V. XIV. — S. ROSANOFF, Influence de l'attraction terrestre sur la direction des plasmodia.*

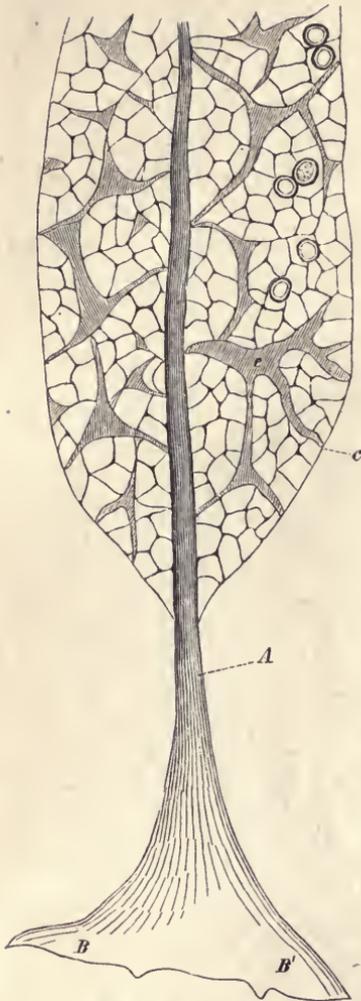


FIG. 23 A. Capillitium von *Stemonites fusa*. Der Körper entspringt in *B B'* der structurlosen erhärteten Plasmamasse, ist in der Achse *A* in einen massiven Zellstoffstab und außerordentlich feine, hier und da (in *e*) verbreiterte Haarfiladen differenziert, welche in eine feine Hülle verlaufen.

Dichte der Gesamtmasse aber dürfte in Folge des Stoffwechsels sehr möglich fein. Experimentell läßt sich die Sache aber bis jetzt nicht entscheiden.

C. Das Capillitium.

Der Cyclus der Mixomycetenentwicklung, welcher bisher geschildert, schließt ab mit der Bildung des Sporenkörpers. Die Masse des Plasmodiums fließt zusammen und bildet wenige mm große flüssige Warzen, in welchen sich geschichtete Zellstoffäden und zahlreiche dentritische Haarfiladen differenzieren. In unserer Figur 23 *A* ist *A* der Hauptstamm, *c* das Haargeflecht (Capillitium). Die Protoplasmanasse zerfällt in zahllose kugelige Sporen, welche von einer festen Membran eingehüllt sind.

§ 4. Plasmamassen, welche in dem Zellhohlraum eingeschlossen sind¹⁾.

1. Lage des Protoplasmakörpers.

Das Protoplasma füllt die Zelle der Pflanze lückenlos aus und adhärirt an der festen Wand, so daß eine Differenzirung in wasserreichere Orte nicht kenntlich ist, so in allen jungen, eben entstehenden Zellen der vegetativen Gewebe höherer Pflanzen. Mit dem Heranwachsen der Zelle aber vertheilt sich die Masse in mannigfacher Weise. Die Configuration der Plasmastränge ist dann

abhängig von der Gestalt der wasserreichen Orte (Vacuolen) und der anderweiten flüssigen und festen Zellinhalte. In den Wurzelhaaren von *Hydrocharis*, den Stamm- und Blatthaaren der *Tradescantia*, *Ecballium*, *Urtica*, wiegen die wassererfüllten Räume vor. In vielen Süßwasseralgen ist das

¹⁾ CARL NÄGELI, Die Bewegung im Pflanzenreiche. 1860. Leipzig. Engelmann.

Protoplasma in geometrisch scharf umschriebene Schraubenbänder vertheilt. In allen solchen herrscht Bewegung von größerer oder kleinerer Strömungsgeschwindigkeit.

Bei den Spirogyren und Draparnaldien ist die Bewegung eine außerordentlich langsame. Die Zähnchen α , Fig. 24 C, werden innerhalb einiger Minuten ausgefandt und wiederum eingezogen. Der Vorgang wird an einem Ocularmikrometer wahrgenommen.

Das Studium der strömenden Bewegung in Pflanzenzellen ergibt die folgenden Hauptzüge:

- 1^o Die Strombahn ist constant. Nitella, Chara, Vallisneria, Hydrocharis.
- 2^o Die Strombahn unterliegt stetem Wechsel, Tradescantia (Staubfadenhaare¹⁾, Ecballium, Urtica (Stammhaare). Mixomyceten.

- 3^o Die Strombahn ist constant. Ein centraler Hauptstrom, welcher durch die große Vacuole der Zelle fließt und sich in einen oder mehrere wandständige Ströme auflöst. Endospermzelle von Ceratophyllum.

Eine allgemeine Beziehung zwischen der Vertheilung der wandständigen Plasmaströmchen und dem späteren Dickenwachstum der Wand fand DIPPEL für

den Holzkörper der höheren Pflanzen. Er zeigt, daß die Verdickung vorzugsweise in dem Stromnetz am stärksten ist²⁾.

Bei den Nitellen und Charen (vorzügliches Studienobject ist die Keimpflanze der Charen) strömt die ganze Masse in der merkwürdigen Weise, daß ein Strom auf der einen Seite der cylindrischen Zelle parallel der Cylinderaxe oder wenig zu ihr geneigt fortschreitet und in sich selbst zurückläuft. Die räumliche Vorstellung dieses Gegenstandes ist nicht so ein-

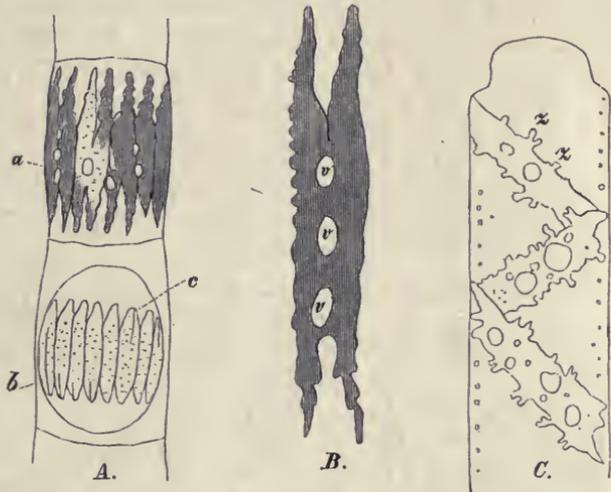


FIG. 24. A zwei Gliederzellen der Draparnaldia, a vor b nach der Behandlung mit verdünntem Glycerin, c die contrahirte Hautschicht, Wandbeleg. B zwei Bänder chlorophyllführenden Plasma's, aus A stark vergrößert, v v Vacuolen oder ungefärbte Partien des Wandbelegs. C Theil einer Zelle der Spirogyra. Ein Schraubenband des chlorophyllführenden Plasma mit beweglichen, sehr kleinen Vorsprüngen.

1) ROBERT BROWN, 1828, hat die Bewegung entdeckt.

2) DIPPEL, Wandständige Protoplasmaströmchen.

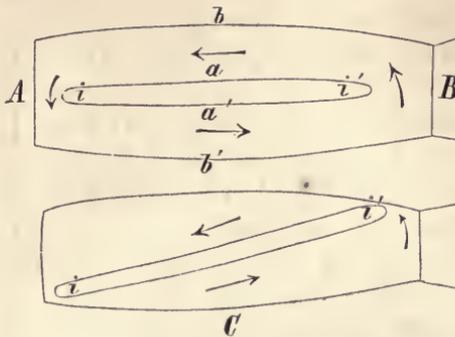


FIG. 25. Schema der Protoplasmafrömmung in den Charenzellen.

fach, daß eine graphische Darstellung umgangen werden kann.

Möge zunächst *AB*, Fig. 25, eine cylindrische Zelle des Vorkeims der Chara fein, so strömt die ganze Masse zwischen *a* und *b* resp. *a'* und *b'* mit den Pfeilen, indem die kleineren Körnchen rascher, die großen und die schweren Amylumkörper langfamer fortgeschoben werden. *i i'* ist dann eine neutrale Zone. In ihr herrscht

keine Strömung oder es hebt sich die Bewegung auf, weil sie oben nach links, unten nach rechts gehen müßte. An den Enden des Cylinders, an den Querwänden kehrt der Strom um. Denkt man sich nun denselben tordirt, so wird die Indifferenzzone *i i'* zur Cylinderaxe geneigt, so wie die Fig. 25 *C* zeigt, im Uebrigen bleiben die Verhältnisse ungeändert. Die circulirende Bewegung beschreibe eine Schraubenlinie mit zwei in den Querwänden belegenen Umkehren, und die Indifferenzzone folgt derselben Schraubenlinie.

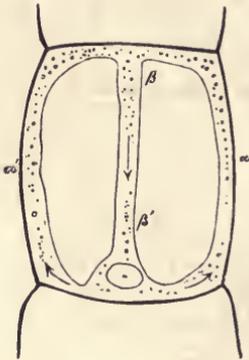


FIG. 26. Schema der Protoplasmafrömmung in der Endospermzelle von Ceratophyllum.

In den wenigen großen Endospermzellen von Ceratophyllum, Fig. 26, folgt die Masse den Pfeilen, in $\alpha \alpha'$ aber ist der Strom wandläufig. In $\beta \beta'$ geht er durch den wassergefüllten Zellenhohlraum.

Die veränderlichen Strombahnen werden an den Stamm- und Blatthaaren der Eballien am besten studirt. Durch die cylindrischen Zellen derselben zieht sich nach allen möglichen Richtungen von dem jedenfalls continuirlichen Wandbeleg ein Netzwerk hyaliner Fäden, in welchen die Körnchen strömen, während die Fäden fortfließen, bald hie, bald da anschwellend, zu fortgleitenden und wieder zergehenden Spindeln. In der Figurenreihe, Fig. 27, wurde ein Eck des optischen Durchchnittes eingestellt und die Configuration derselben Ströme im Zeitraum von 30—40 Minuten festgehalten. Die Pfeile bedeuten die Stromrichtung. Man erkennt, daß in dem gegebenen Ort ein steter Wechsel der Strombahnen, aber auch der örtlichen Ansammlung flüssiger Masse herrscht. Die Vacuolendurchschnitte verändern sich. Da nun der Wandbeleg *abc* eine continuirliche Schicht bildet, da in ihm sich örtlich die Masse häuft oder vermindert, so müssen die durch den Hohlraum gehenden Strömchen stete Verschiebungen, sowohl in Richtung der

X-, der Y- wie der Z-Axe machen, während sie gleichwohl als Ströme erhalten bleiben. Die XY-Ebene ist diejenige unserer Aufnahmen. Ich will fagen: das Stromsystem 1 verändert in den nächsten Minuten nach 2 hin seine Configuration, weil es in der festen Zellhülle *ab* um die Axe Y oder um X oder Z rotirt. Niemals habe ich bei niedriger Temperatur ein Abreißen eines der Strömchen bemerkt. Die Vacuolendurchschnitte *v v' v''* von 4 nach 5 und 6 werden verändert dadurch, daß die sie umgrenzenden Ströme sich nähern, bis *v v' v''* im Zustand 6 der Fig. 27 verschwinden, so daß die sie trennenden Ströme ineinanderfließen.

2. Temperatur.

Die Strömungsgeschwindigkeit ist abhängig von der Temperatur, sie wird sehr klein in der Nähe des Nullpunkts der 100theiligen Scala. Das Protoplasma erträgt nicht über 55° C. für längere Zeit ($1/2$ Stunde). Innerhalb der niedersten und der höchsten Temperatur beschleunigt sich die Bewegung bei allmählicher Steigerung der Temperatur bis zu einem bestimmten Grade. In Hinsicht der Empfindlichkeit gegen Temperaturschwankungen verhalten sich selbstredend verschiedene Pflanzen verschieden. Auch die Plasmodien der Mixomyceten selbst zeigen hierin daselbe. So ist dasjenige von *Aethalium septicum* gegen Temperaturschwankungen empfindlicher wie dasjenige von *Stemonites fusca*.

Plötzliche Schwankungen der Temperatur selbst innerhalb der Grenzen, in welchen noch Strömung möglich ist, stiften die Bewegung vorübergehend.

3. Athmung.

Für eine jede Bewegung, welche, wie die Strömung des Protoplasma, stetig durch unendlich große Zeiträume vor sich geht, muß

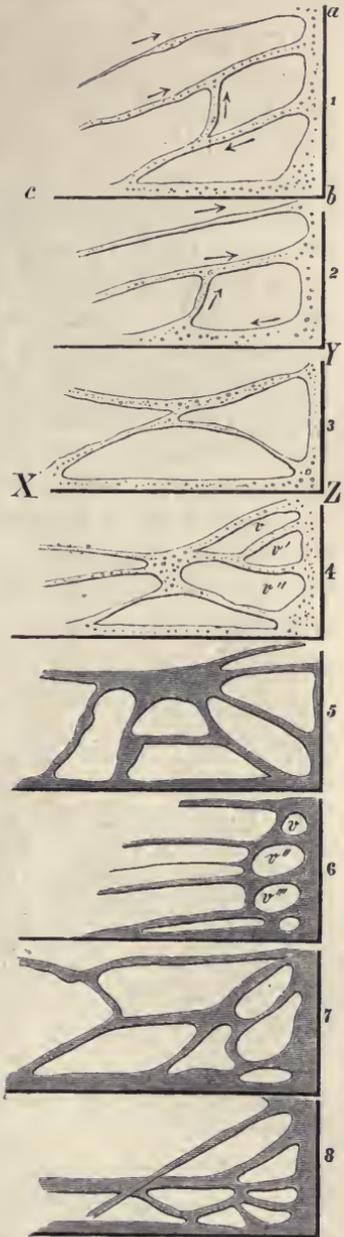


FIG. 27. Veränderungen in einem Stromsystem von Protoplasma im Haare von *Ecballium* im Zeitraum von 30—40 Minuten bei einer Temperatur von 18° C. und einer mittleren Einstellung der Zelle, welche um weniger wie $1/4$ Schraubenumgang schwankt. *ab c* der optische Durchschnitt zweier Zellwände, *a b* Quer-, *bc* Längswand. Man beobachtet niemals, daß ein noch so dünner Faden abreißt.

die Ursache eben so stetig fein. Die Temperatur der Umgebung, sowie die molecularen Vorgänge der Ernährung: Zufuhr von Wasser und festen Baustoffen, welche im Wasser gelöst sind, sind zwar stetige Bedingungen, nicht aber Ursachen der vorliegenden Bewegung. Als eine stete Ursache muß die Verbrennung angesehen werden, welche fortwährend einen Theil der Kohlehydrate des Protoplasma in Kohlensäure und Wasser verwandelt. Dieser Vorgang der Athmung vollzieht sich in jedem Orte, in jedem kleinen Raumelement. Mit jedem Molecul verbrennlichen Kohlenstoffes, welches von Secunde zu Secunde aus dem System verschwindet und als Gas in Form von Kohlensäure ausgehaucht oder im Wasser gelöst wird, vollzieht sich eine locale Störung des vorherrschenden Zustandes in der molecularen Anordnung, welche die Bewegung der sichtbaren Theilchen zur Folge haben muß. Die sichtbare Strömung wird fistirt in fauerstoffreicher Luft und im Vacuum. Gleichwohl kommt es niemals im lebenden Protoplasma zur Auscheidung von Gasbläschen. Auch in der lebenden Pflanzenzelle fehlt die Anhäufung der Gase in Blasen, das Auftreten von Gasblasen ist ein Symptom des Todes¹⁾.

4. Physikalische Eigenschaft (Chemische Constitution).

Die bisher geschilderten Bewegungen: die Vermittlung alles Lebens während unendlicher Zeiträume durch verschwindend kleine Protoplasma-massen, die sichtbare Erscheinung der Strömung und die Vorgänge des Wachstums, welche eine verwickelte Kette von chemischen und mechanischen Umlagerungen in dem Protoplasma einschließen, zwingen zu der Vorstellung, daß hier von einer für längere Zeit stabilen Constitution in mechanischem oder chemischem Sinne nicht die Rede sein kann. Steter Wechsel in den sichtbaren Theilen und in den Moleculen ist eben das Leben. Chemische Analysen können hier nur grobe Verhältnisse jener Beziehungen aufklären. Zustandsänderungen physikalischer Bedingungen, wie sie uns bis jetzt zu Gebote stehen, werden ebenfalls uns dem Wesen der Bewegung nur wenig nähern.

In dem Protoplasma der lebenden, wachsenden Zelle müssen vorkommen und können zum Theil nachgewiesen werden:

- 1^o Kohlehydrate: Zucker, Amylum, Inulin.
- 2^o Oele, Fette, ätherische Oele.
- 3^o Säuren der Fettäurereihe: Ameisen-, Propion-, Essigsäure.
- 4^o Oxal-, Trauben-, Wein-, Citronensäure und deren Salze.

¹⁾ In dem Holzkörper der perennirenden Pflanzen finden sich Gasblasen, von der Zellflüssigkeit umschlossen, auch in solchen Zellen, in welchen noch Translocation für Amylum herrscht; dort aber ist das Leben des Protoplasmakörpers, welcher die Holzzelle bildete, erloschen.

5° Eiweiß und andere Proteinkörper.

6° Harze: Gummiharz, wechselnde Gemenge von Harz, Schleim, Cautchouc.

7° Organische Salze.

8° Anorganische Salze.

Das specifische Gewicht der Protoplasmamasse schwankt. Es kann größer oder kleiner wie dasjenige des Wassers sein, je nach dem Verhältniß, in welchem specifisch leichtere Flüssigkeiten in ihm vorkommen.

Die Gesamtmasse muß vorübergehend in kürzester Zeit in einen und denselben festen Körper verwandelt werden (die Cellulose), so daß der wägbare Theil des Rückstandes, verschwindend klein, nur die Rolle eines Fermentes spielt, welches von neuem gelöste Masse nach derselben Richtung hin umsetzt.

A. Verhalten zu Wasser.

Das Protoplasma der an das Salzwasser adaptirten Gewächse, namentlich der Algen, besitzt ein höheres osmotisches Aequivalent. Süßes Wasser wird nicht ertragen. Ja bei einigen Florideen knattern die Pflänzchen, wenn sie soeben in Süßwasser gelegt werden. Die Membranen werden durch übergroße Wasseraufnahme gespannt und schließlich zerfrenkt. Umgekehrt erträgt das Protoplasma der an das Süßwasser adaptirten nicht den Salzgehalt des Meeres.

Die Vacuole ist ein wasserreicherer Ort im Innern der Grundsubstanz, bei der Bewegung der Amöben, Fig. 9 $v v'$, steten Veränderungen unterworfen. Die Vacuole wächst innerhalb weniger Sekunden, indem die in ihr gelösten Körper Wasser anziehen. Sie verschwindet, wenn die osmotische Spannung der angrenzenden Masse zunimmt. Der wassererfüllte Raum überwiegt und die Plasmamasse wird zum Wandbeleg. Bei isodiametrischen Zellen entsteht so eine einzige, den größten Theil der Zelle ausfüllende Vacuole, bei gestreckten befinden sich zahlreiche, welche in mannigfacher Weise grupirt sind.

In manchen Zellen, so bei Closterium und in den Schwärmzellen von Chlamidomonas, befinden sich pulsirende Vacuolen, $v v'$ Fig. 28; wächst v , so sinkt v' , erreicht ein Minimum, wächst wieder, während v sich verkleinert. Die Configuration des Vacuolensystems ist abhängig von derjenigen des Stromsystems in den Haaren der Tradescantia, von Ecballium (m. f. Fig. 27) und vielen anderen.

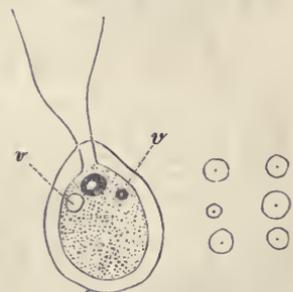


FIG. 28. Vacuolenrhythmus von Chlamidomonas. Die linke Vacuole v erreicht soeben das Maximum ihrer Ausdehnung, die rechte ist dem Verschwinden nahe.

Das osmotische Aequivalent¹⁾ muß somit in jedem kleinen Raumtheil einer gegebenen Protoplasmamasse schwanken, so wie es von Zelle zu Zelle an einer gegebenen Pflanze veränderlich ist.

Künstliche Zufuhr von reinem Wasser zu lebendem, aber vacuolenarmem Protoplasma bewirkt instantan das Auftreten von Vacuolen, namentlich dann, wenn die Zellwand durch einen Nadelftich geöffnet ist, so daß die Volumvermehrung den Druck der Membran nicht zurückzuschieben hat.

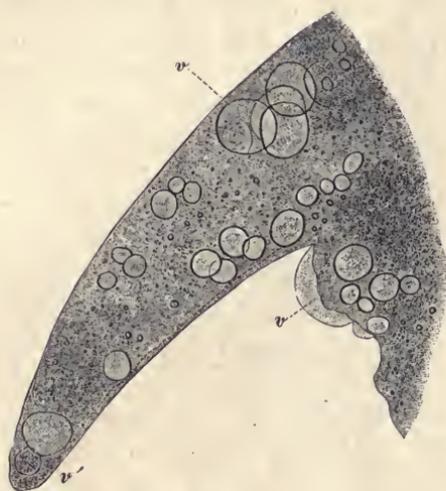


FIG. 29. Closterium Lunula. Nach dem Öffnen der Membran quillt die Protoplasmamasse mit wolkigen Vacuolen auf, *v v'* die vor der Verletzung im Ende der Zelle vorhandene Vacuole mit den kleinen Kristallkörperchen. Die ganze ausfließende Masse wird durch Vacuolen schaumig.

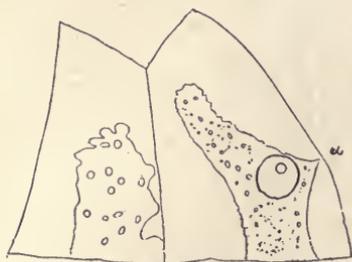


FIG. 30. Allium Cepa. Protoplasmamasse, geschrumpft in den Parenchymzellen der Niederblätter. *α* Zellkern.

Bänder sind nicht in ihrer gegenseitigen Lage durch die Compression ge-

Fig. 29. Ohne dies verläuft die Erscheinung träger. Vacuolenreiche Plasmamassen der Mixomyceten, der Spirogyren, der Haarzellen werden nicht in diesem Sinne verändert.

Verdünnte Zucker-, Glycerin-, Salzlösungen verkleinern die Vacuolen der Pflanzenzelle durch Wasserentziehung. Der Wandbeleg zieht sich zurück mit oder ohne Zerstörung der feineren Strukturverhältnisse, Fig. 30, 31. Hier und da haftet die Masse in einzelnen Punkten, dauernd in *α α'*. Wiederaufnahme von Wasser stellt den Anfangszustand wieder her. Concentrierte Lösungen bringen den Inhalt dauernd zum Schrumpfen und tödten das Plasma.

Eine Scala von gradweise concentrirten Lösungen eines und desselben Salzes von bekanntem osmotischem Verhalten ist geeignet, das osmotische Aequivalent einer gegebenen Pflanzenzelle näherungsweise aus dem Schrumpfen des Wandbelegs zu bestimmen²⁾.

Die Figur 31 zeigt außer jener Contraction ein weiteres Verhalten der geformten Plasmafäden gegenüber äußeren Eingriffen. Die chlorophyllführenden dichteren Bänder sind nicht in ihrer gegenseitigen Lage durch die Compression ge-

¹⁾ Das osmotische Aequivalent ist die Wassermenge, welche durch eine gegebene Haut oder in unserem Falle durch eine Hautschicht von Protoplasma im Austausch gegen die Gewichtseinheit eines gelösten Körpers diffundirt.

²⁾ N. J. C. MÜLLER, PRINGSHEIM's Jahrb. Bd. VIII. S. 80.

fört. Sie setzen in $\alpha \alpha'$ der Compression einen größeren Widerstand entgegen. Ein Pilzparasit ist in die Zelle eingedrungen. Der Verlauf feines Myceliums ist nicht regellos, sondern es folgen die Myzelfäden den Schraubenlinien der Chlorophyllbänder $c c$, Fig. 31.

Die Protoplasmamasse schrumpft, weil sie für Wasser nach der Richtung der wasserentziehenden Lösung durchlässiger ist, wie für die Theile der Lösung, welche in entgegengesetzter Richtung den Wandbeleg durchdringen müssen, um den Volumverlust zu decken. Nennen wir v das Volum der Zelle, v' das Volum der nicht contrahirten Plasmamasse, v'' dasjenige der zugefügten Lösung, so hat sich die Summe $v + v' + v''$ nicht geändert, nachdem die Contraction erfolgt, v aber und v' sind kleiner, v'' größer geworden, und es sind nun drei optisch differente Räume entstanden, es ist der Raum $v v' v''$, Fig. 31, hinzugekommen, welcher eine verdünntere Lösung, wie die ursprünglich zugeetzte enthält.

B. Streifen und Schichten.

Bei einigen Protoplasmakörpern differenziert sich die Masse in ähnliche Streifen und Schichten von verschiedenem Lichtbrechungsvermögen, wie die später zu behandelnde Zellmembran. Die Chlorophyllkörper von *Funaria* und einigen Meeresalgen, f. Fig. 32, sind kreuzweise zerklüftet in wasserreichere und wasserärmere Schalen, die als StreifenSYSTEME den Plasmakörper durchsetzen.

5. Lage abhängig vom Licht.

Die Chlorophyllkörper führen in dem Wandbeleg der höheren Pflanzenzelle, so in den Blattzellen der Moose, den Prothallien der Farren u. a. m. langsame Wanderungen aus, deren Richtung von der Befahrung abhängig ist.

In einer Zelle, welche in den Flächen $abcd$ von anderen Zellen begrenzt, in

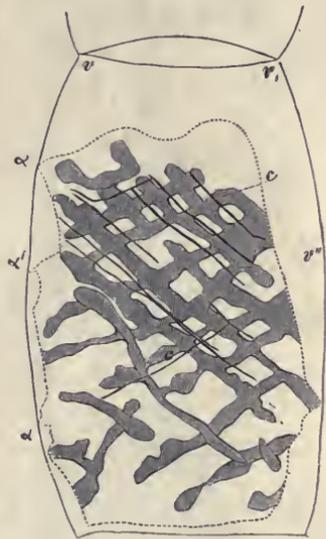


FIG. 31. *Spirogyra maxima*. Das Plasma des Wandbelegs in verdünnter Zuckerlösung contrahirt. $\alpha \alpha'$ Haftstellen an der Wand, $c c$ ein Pilzmycelium.

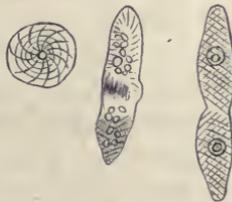


FIG. 32. *Bryopsis plumosa*. Chlorophyllkörper mit Areolen verschiedenen Wassergehaltes (nach ROSANOFF).

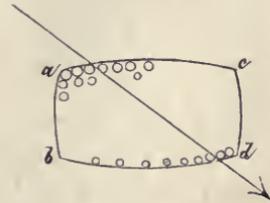


FIG. 33. Lage der Chlorophyllkörper zu dem Lichtstrahl in einer Prothalliumzelle der Farren, es ist die Apoptrophe.

1) ROSANOFF, f. Hofm., *Phyf. d. Zelle*. S. 369.

der Fläche *ac* aber frei ist, häuft sich die Chlorophyllmasse entweder in die Fläche *ab*, die Epistrophe (f. FRANK a. a. O. S. 291), oder es breitet sich an der freien Fläche *ac* aus, Fig. 33, die Apostrophe, nach FRANK. Im jugendlichen Zustand der Zelle herrscht im Allgemeinen eine indifferente Vertheilung, sodann stellt sich die Epistrophe, im Alter die Apostrophe her. Aus diesen Anordnungen darf man mit FRANK auf gewisse Zustandsänderungen im Innern des Plasmakörpers schließen, welche vom Alter der Zelle abhängig sind. BÖHM zeigte nun zuerst, daß die Chlorophyllkörper sich zu Gruppen zusammenziehen, wenn das Blatt bestrahlt wird. • Nach FAMINTZIN sammeln sich dieselben auf den freien Flächen bei der Bestrahlung, sie ziehen sich nach den Verwachsungsflächen im Dunkeln.

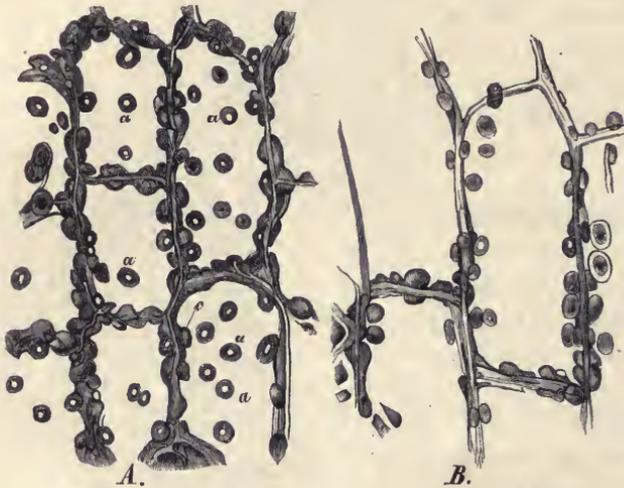


FIG. 34. *Funaria hygrometrica*. Chlorophyllkörner in den Zellen des Blattes. Bei *a* ist ein Korn so eingestellt, daß sein Brennpunkt auf die photographische Platte fiel. Die randständigen Körner wie *c* aber sind mit parallelen Strahlen auf der Platte zum Ausdruck gekommen.

daß die Zellenfläche *B* auf den optischen Durchschnitt der zur Linie verkürzten Wände eingestellt war. Die Lichtstrahlen, welche bei der Herstellung des Negativs durch das Object nach der Jodsilberplatte in der Richtung von dem Bild nach dem Beschauer gingen, wurden in der hinteren, dem Beschauer abgewandten Fläche von dem Chlorophyllkorn convergent gemacht und entwarfen ein ganz kleines, deutliches Sonnenbildchen auf die empfindliche Platte in *aa'* u. f. f.

Die Chlorophyllkörner haben das Vermögen, sich selbständig zu bewegen, wenn schon diese Bewegung kleiner ist, wie die Ortsveränderung im constanten Strom der Gesamtmasse des Protoplasma¹⁾. Außerdem aber werden sie in den Strombahnen der farblosen Protoplasmastränge fortbewegt, so bei *Vallisneria*.

¹⁾ VELTEN, *Activ. ad Passiv.* Oesterr. bot. Ztschr. 1876, Nr. 3.

Die Lage der Chlorophyllkörper in verschiedenen Zuständen der Blätter ist in Fig. 34 demonstriert. In *A* sind alle randständig, in *B* ist ein Theil flächenständig, ein anderer und der größere Theil wie in *A*.

Bei diesem Object, welches der Xylograph mit der größten Treue von dem Photogramm auf den Holzstock übertrug, wolle man beachten,

6. Einfluss des elektrischen Stromes und der Entladung¹⁾.

Schwache Inductionsschläge bewirken in dem Stromsystem des Protoplasma im Beginne eine Beschleunigung der Strömung, nach längerer Dauer eine Contraction des Wandbeleges, und zulezt zerklüftet sich derselbe in mehrere gefchlossene Blafen, in welchen die Strömung noch in dem Sinne fort herrscht, welcher aus der Richtung des Gefammtstromes gefordert wird. Fig. 35 veranschaulicht diese Umwandlung. Sie gilt für die Wurzelhaare der *Hydrocharis morfus ranae*.

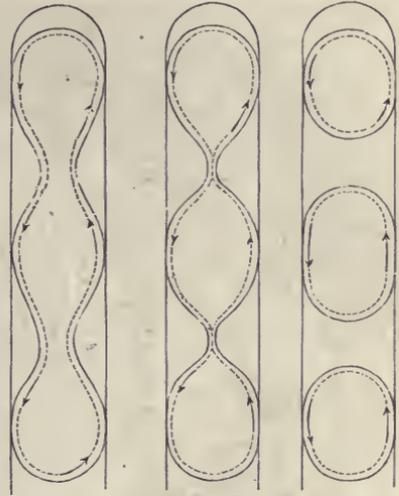


FIG. 35. *Hydrocharis morfus ranae*. Andauernde Inductionsschläge zerklüften den Wandbeleg in dieser Weise, so daß zulezt mehrere Sphäroide entstehen, in welchen die Strömung im Sinne der Pfeile fort-dauert.

Nach den Publicationen VELTEN's bedient man sich, um die hier einschlä-gigen Phänomene zu studiren, am besten der durch Fig. 36 veranschaulichten Vor-richtung.

Sowohl der constante Strom, wie die Inductionsströme und die Reibungs-électricité der HOLTZ'schen Maschine be-wirken eine Beschleunigung der Strömung oder mindestens eine Lagenänderung der geformten Protoplasmakörper.

Auch in der molecularen An-ordnung der fei-neren und feinsten Strömchen tritt durch die Induc-tionsschläge oder den constanten

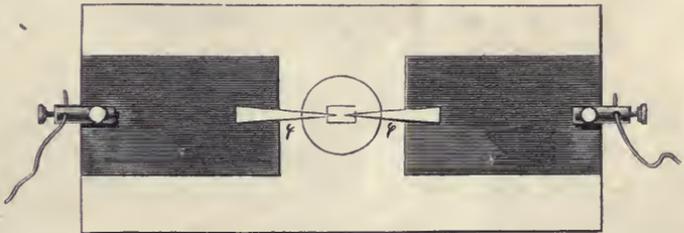


FIG. 36. Elektrischer Objectträger. φ φ die Elektroden, welche mit dem Object in Be-rührung stehen, ss zwei Stanniolplatten mit je einer Klemmschraube für die Leitungsdrähte (nach VELTEN).

Strom eine Aen-derung auf. Es werden Vacuolen gebildet. Die Stränge werden wasserreicher (Bildung von In-fuccationskanälen. VELTEN²⁾), Einwirkung

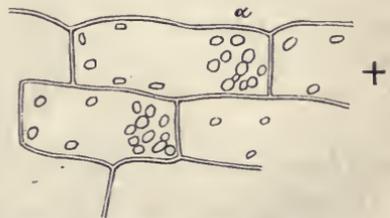


FIG. 37. *Elodea canadensis*. In den Zellen des Blat-tes haben sich die festen Körper (Stärke) im Sinne des negativen Stromes an einer Querwand angehäuft bei α.

¹⁾ Vorrichtungen für Electricität. DIPPEL, Mikroskop. — NÄGELI & SCHWENDENER, Das Mikroskop. 457.

²⁾ VELTEN, Einwirkung strömender Elek-tricität u. f. f. Sitzgsber. d. Acad. d. Wissensch. Wien. Aprilheft 1876.

strömender Electricität a. a. O.). Dauernde Reizung bringt die Protoplasma-
masse in den zähflüssigen Zustand. Feste Partikel, welche vorher nicht in
Bewegung sind, werden durch den elektrischen Strom in ähnliche Rotation
verfetzt, wie sie sonst in den normalen Verhältnissen beobachtet wird.

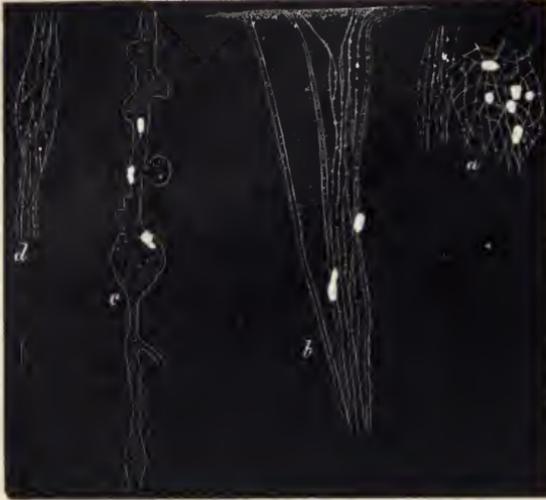


FIG. 38. Cucurbita Pepo, Protoplasma der Haarzellen. *a* engmaschiges Stromnetz. *b* dicker Stromfaden neben einem feineren. *c* Vacuolenbildung nach elektrischer Reizung. *d* Anschwellung der Infucationskanälchen durch die elektrische Reizung.

Das Fortführen kleiner Körper, welche, in einer Flüssigkeit vertheilt, suspendirt sind, durch den elektrischen Strom ist bekannt¹⁾. Alle jene elektrischen Ströme, welche künstlich auf die Pflanzenzelle angewendet werden, sind außerordentlich intensiv, bezogen auf den

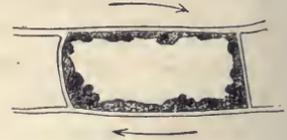


FIG. 39. Epidermiszelle von Valisneria. Die Strömung geht mit den Pfeilen.

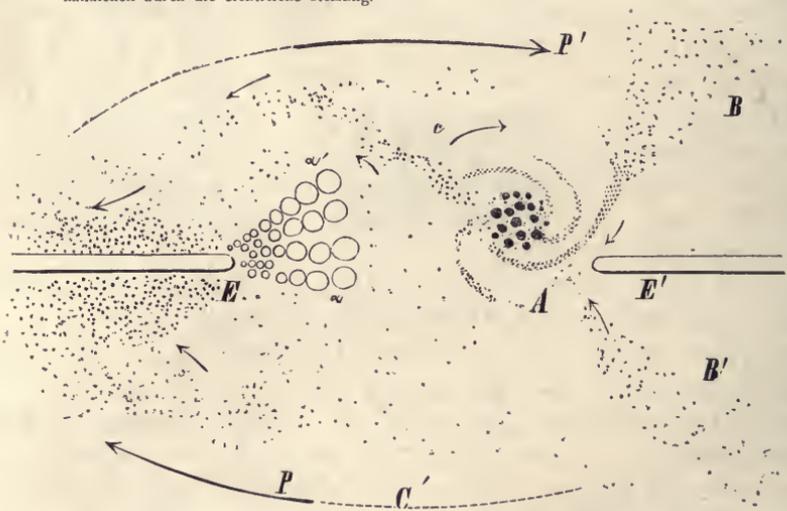


FIG. 40. Carminpartikel in Gummilösung bei 80 \times Vergrößerung unter dem Mikroskop, während ein Inductionsstrom von der Elektrode *E* nach *E'* überspringt. *α α'* Wasserstoffbläschen von mikroskopischer Ausdehnung. *A* ein Strudel von Carmintheilchen in rascher Rotation. *B B'* Carminstrom nach der Elektrode *E'*. *C* zwei große Carminströme nach der Elektrode *E*. Der Carmin bewegt sich mit dem Pfeile *P*, das Wasser mit dem Pfeile *P'*.

¹⁾ Aber wahrscheinlich nur eine Folge der Diffusionsströmung, welche in der Nähe der Elektroden anderweit erregt wird.

elektrischen Strom, welcher etwa in der Zelle selbst herrscht und Ursache der Protoplasmaströmung sein könnte. Die Experimente über diesen Gegenstand haben daher die Theorie der Protoplasmaabewegung wenig gefördert. Alle Einwirkung der constanten Ströme bewirkt in einem gegebenen Zellen-complexe:

- 1^o eine elektrische Diffusion,
- 2^o eine Ortsbewegung nicht gelöster kleiner Partikel,
- 3^o eine Veränderung der chemischen Constitution, welche mit so großer Intensität herrscht, wie sie im normalen Leben der Pflanze niemals vorkommen kann.

Strömende Bewegung kleiner Carmintheile, welche in Gummilösung suspendirt sind, wird erhalten, wenn schwache Inductionsschläge von ganz dünnen Platinelektroden EE' , Fig. 40, durch die Flüssigkeit gefandt werden. An der einen Elektrode strömen mikroskopisch kleine Wasserstoffbläschen ab, $\alpha \alpha'$, an der anderen, EE' , gerathen die Theilchen durch die Entladung in wirbelnde Bewegung und insgesammt entsteht eine Strömung, welche die Carminpartikel mit den Pfeilen fortführt. Eine auffällige Ablagerung derselben findet an der Elektrode E statt.

Schwächt man den Strom allmählig, bis die Wasserzeretzung selbst mit dem Mikroskop an den Elektroden nicht mehr wahrnehmbar wird, so hört auch die Strömung, sowie die Strudelbewegung der Partikel auf. Von Interesse ist die Thatfache, daß in geschlossenen Pflanzenzellen, selbst wenn man dieselben Electroden bei gleicher Stromstärke mit der Membran in Berührung bringt, eine Gasentbindung im Innern der Zelle nicht stattfindet.

7. Zur Theorie der Bewegung.

Aus den Schilderungen unter S. 13 ff. geht zur Genüge hervor, daß mindestens, ganz entsprechend dem Reichthum in den höheren festen Pflanzenformen, die Bewegungsarten flüssiger Protoplasamassen außerordentlich mannichfaltig sind. Was will oder wollte man nun erklären? Was kann in der ganzen Reihe von hier einschlägigen Erscheinungen überhaupt erklärt werden? Die wesentliche Voraussetzung, welche für die Erklärung der Bewegungsercheinung gemacht wurde, ist folgende:

1^o Die moleculare Anordnung im flüssigen lebenden Protoplasma muß wesentlich verschieden sein von der einer todten Flüssigkeit. Das Protoplasma ist dem entsprechend den hydrostatischen Gesetzen nicht in der Weise unterworfen wie Wasser.

Dies aber ist offenbar selbst eine Folgerung aus der Wahrnehmung aller der Lebenserscheinungen, die mikroskopisch studirt waren, nämlich:

a) Das lebende Protoplasma verbrennt stetig und an der ganzen Oberfläche einen Theil seiner Kohlenstoffverbindungen, es erhält dadurch

einen kleinen Zuwachs an Eigenwärme, welcher wie in einer Maschine in Bewegung der einzelnen Maschinentheile umgesetzt werden kann.

b) Es ändert durch die Verbrennung stetig den Zustand der Lösung oder der Mischung.

c) Aus dem Verschwinden, Wiederauftreten, Verschwinden und der damit verbundenen Ortsveränderung der Vacuolen geht hervor, daß es stetig feine osmotische Capacität in kleinen Orten verändern kann. (Veränderung der Imbibition nach HOFMEISTER.) Ob diese letzteren Vorgänge

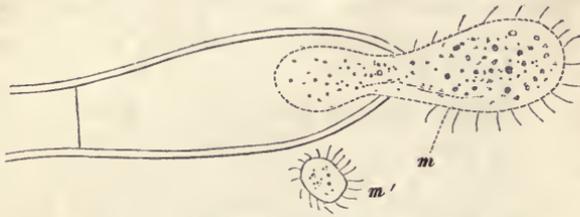


FIG. 41. Austretende Zoospore der Vaucherien.

nicht Folgen der molecularen Verschiebung sind, wie sie die Athmung notwendigerweise bewirken muß, kann nicht untersucht werden.

d) Die lebende Plasmamasse unterliegt stetem Wechsel ihrer Mischung dadurch, daß sie die umgebende Zellhaut wachsen macht.

Nennen wir diese unter *a b c d* genannten Momente die Urfachen der sichtbaren Bewegung, so können wir als äußere Bedingung derselben nennen:

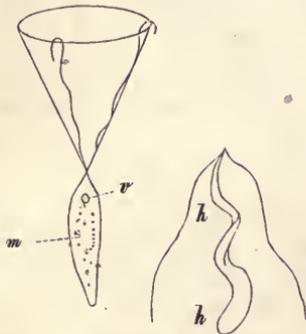


FIG. 42. Euglena viridis. Moos-Spermatozoid.

die Temperatur der Umgebung und die Gegenwart von Wasser oder allgemein einer nicht schädlichen, sehr verdünnten Lösung. Erhöhung der Temperatur beschleunigt die Bewegung, weil die Reibungswiderstände wie bei allen capillaren Strömungen kleiner werden. Bei einem bestimmten niederen, wie bei einem bestimmten höchsten Temperaturgrad tritt vorübergehende, oder wenn bei dem höheren der Tod erfolgt, dauernde Starre ein.

In ähnlichem Sinne verhalten sich Wasser-Zufuhr und -Verlust als Bedingungen, welche beschleunigend oder verzögernd wirken können.

Die sichtbare Bewegung ist, wenn wir noch die Schwärmsporen und Spermatozoïden in die Betrachtung hereinziehen, so außerordentlich complicirt, daß unmöglich auf Grund der bisher gewonnenen Kenntnisse eine Theorie in mechanischem Sinne gegründet werden kann.

Die Schwärmspore der Vaucherien bewegt sich, nachdem sie frei geworden, Fig. 41, durch die flimmernde Bewegung ihrer Protoplasmacilien in flachen Schrauben und Zickzacklinien. Die Euglena, Fig. 42, bewegt sich, indem ihre beiden Cilien die Bahn eines Kegels beschreiben, dessen

Axe die Verlängerung der spindelförmigen Masse darstellt. Das Spermatozoid der Moose bewegt sich durch ähnliche rotirende Peitschung durch zwei Cilien, welche sich um die korkzieherförmige Plasmamasse *b*, Fig. 42, drehen. Daß die Locomotion auf der Bewegung der Cilien beruht, so daß die große Masse *m* nur fortgerudert wird, zeigte HOFMEISTER aus Beobachtungen an der *Vaucheria*. Wird die Schwärmspore durch Zerreißen in zwei ungleiche Theile *m* und *m'*, Fig. 41, zerlegt, wie dieß durch Zufall entstehen kann, so besitzt die kleinere Kugel für dieselbe Masseneinheit häufig eine größere Anzahl von randständigen Cilien, wie die große. Ihre Bewegung ist alsdann sichtlich größer, wie die des großen Bruchstückes.

Die Bewegungen eines sichtbaren Körperchens in der Körnersubstanz

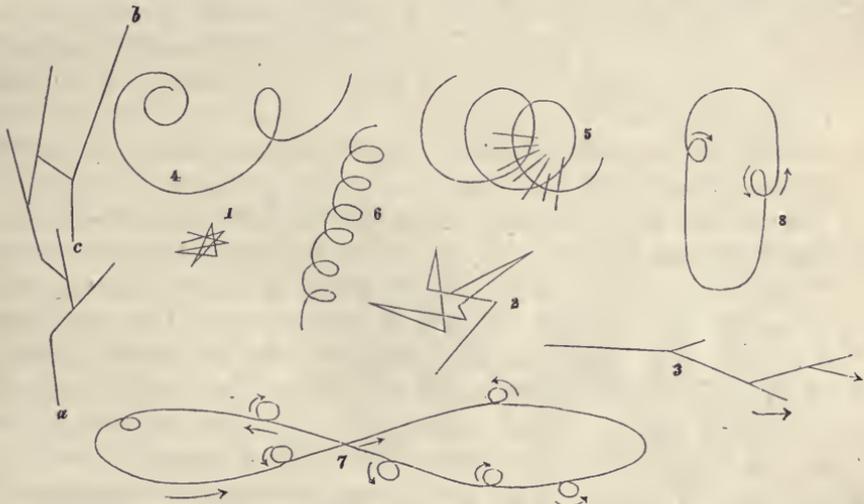


FIG. 43. 1 Molecularbewegung. 2 Amöbe. 3 *Amöba princeps*. 4 Schwärmspore. 5 Spermatozoid der Moose. 6 befehlte Monothalamie. 7 Strömung in der Charenzelle. 8 Endospermzelle von *Ceratophyllum*.

oder eines gegebenen Punktes in der Cilie der schwärmenden Plasmamassen sind entweder undulatorische, wie die sogenannte Molecularbewegung BROWN'S, Fig. 43, 1, sie sind vor- und rückschreitende, wie in den Amöben, Fig. 2, oder sie sind vor-, rück- und wiederum vorschreitend, wie bei der *Amöba princeps*, wo trotz solcher Schwankungen die constante Richtung des Pfeiles (der Figur 3) eingehalten wird. Ein Theilchen kann eine geschlossene Bahn wie 8, so in *Ceratophyllum*-Endospermzellen, oder wie in den Stammzellen der Charen 7 beschreiben. Es kann dabei rotiren oder eine beliebige Anzahl von Kreisbewegungen (Pfeile 7 und 8) beschreiben. Es kann in größeren Klumpen fortgleiten und wieder aus diesen frei werden. Die Bahn kann vor- und rüchläufig, seitenläufig und wieder vorläufig sein, wie bei den *Mixomyceten* Fig. 45, so daß *a* die Anfangs-, *c* oder *b* die

Endlagen fein mögen. Endlich kann es schwingen in einem Stab wie eine elastische Saite, so in den Cilien der Schwärmer.

In Verband mit der Masse der schwärmenden Spore kann das Theilchen die Bahn 4, 5, 6 beschreiben, welche nicht in der einzigen Ebene der Zeichnung zu liegen brauchen. Wie sollen alle diese Bewegungen unter eine gemeinsame mechanische Ursache gebracht werden können?

Zwei Theorien wurden bis jetzt aufgestellt über die strömende Bewegung der Plasmodien und Plasmafäden im Innern der Haarzellen.

Die Thierphysiologen stellen sich die hyaline Grundsubstanz als eine contractile, muskelähnliche Masse vor, durch deren Zusammenziehung und Ausdehnung die Körnersubstanz, sowie die anderweit suspendirten Partikel fortrücken¹⁾. Ausdrücklich wird dort gegen das Fließen Verwahrung eingelegt. Nach dieser Auffassung wird die Ursache der Veränderlichkeit der Contractilität, welche gefordert ist durch die Erscheinung in der Figur 43 und den folgenden, gar nicht aufgefucht. Die Theorie ist nicht eine mechanische.

HOFMEISTER²⁾ nähert sich dieser Aufgabe schon viel mehr. Er will das Fließen erklären. Nach der Auffassung der Pflanzenphysiologen, welche dem Gegenstande größeren Ernst zugewandt, handelt es sich bei allem pflanzlichen Protoplasma jedenfalls um einen zähflüssigen Körper, welcher gleichwohl in stabileren Formen, wie Spermatozoöiden und Schwärmersporen sind, scharf umschrieben oder aber in stets veränderlichen, capillaren Stromnetzen vertheilt sein kann. Die Veränderung der Form führt HOFMEISTER auf den Wechsel der Imbibition mit Wasser zurück. So wie die sichtbare Vacuolenbildung stetem Wechsel unterliegt, so daß, gesetzmäßig localisirt, Wasser hier ausgeschieden, dort inbibirt, wiederum vertheilt wird, wie bei den pulsirenden Vacuolen, so soll ein ähnlicher Wechsel auch in den kleinsten Theilchen herrschen. Indem diese Anschauung auf eine Kette von Moleculen übertragen wird, Fig. 44, erhält man eine Annäherung der festen Theile, wenn die Wasserhüllen in gegebener Richtung von Molecul zu Molecul kleiner werden, wie dieß die Fig. 44 erläutern mag. In der Kette *I* möge *a* der feste Substanzkern, *b* die Wasserhülle bedeuten; sind alle gleich, so herrscht Ruhe, wächst aber in dem Molecul *1* die Imbibition, so nähert sich das Molecul *3* dem Molecul *2* u. f. f.

In der Richtung des Pfeiles wandern die Wassertheilchen wie die Substanzkerne. Offenbar ist es auch möglich, die Wasserhülle in dem einen, die Substanzkerne in dem anderen Sinne wandern zu lassen. In einer un-

¹⁾ M. SCHULTZE, Das Protoplasma. W. Engelmann. Leipzig. 1863. S. 53.

²⁾ Handbuch der physiolog. Botanik. Physiologie der Pflanzenzelle. S. 64. Leipzig. W. Engelmann.

endlichen Kette von Moleculen dieser Beschaffenheit wird wohl durch diesen Vorgang eine oscillatorische Bewegung der Theilchen möglich, nicht aber die stete Strömung erklärt. Die sichtbare Strömung wird sicherlich unter einfacheren Hypothesen erklärt werden können, so daß solche über die moleculare Anordnung zunächst überflüssig sind, um die strömende Bewegung zu verstehen.

a) Bei den freien Protoplasmamassen der Mixomyceten beobachtet man stets, daß die Strömung der Körnchen in der Grundsubstanz von dem Ziel rückwärts um sich greift.

Dies ist aber eine nothwendige Folge des Vorrückens der Grundsubstanz. Wenn *a*, Fig. 45, eine kleine, scharf begrenzte Parthie eines solchen Plasmodiums ist und *b* die erste Phase der zu beobachtenden Bewegung, *c* die zweite, so wird zunächst die Masse *a a'* fortgeschoben und es werden die sichtbaren Körnchen

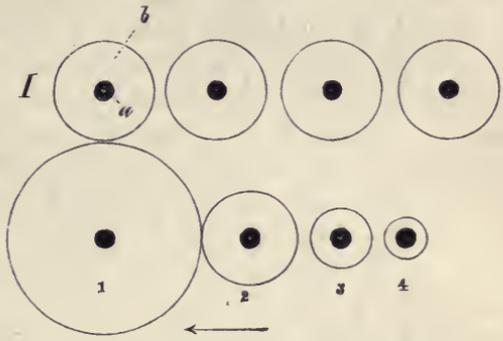


FIG. 44. Schema des Fortrückens der festen Substanzkerne durch Aenderung der Wasserhüllen.

nothwendigerweise in der Reihenfolge *o*, *1*, *2* u. f. f. in *c* strömen, sich in *d* zu einem Reservoir anfammeln, bis in *d* möglicherweise genau dieselbe Configuration aller einzelnen Theile hergestellt ist, wie in *a*. Der Körper hat sich aber um eine gegebene Strecke fortbewegt. Diese Veränderung in der Lage ist

stetem Wechsel unterworfen, und wenn dem unbefangenen Urtheilenden gefagt wird, die so wahrgenommene Bewegung vollziehe sich an einer zähen Flüssigkeit, so wird er sagen müssen: in dem Gebilde *a*, Fig. 45, herrscht ein Druck auf die periphere zähere Wandtschaft, dieser treibt in *a'*



FIG. 45. Schema der Protoplasmabewegung.

eine Ausstülpung, in welcher die festeren Körnchen fließen. Später kann vielleicht einmal in *a* oder in *f* oder in *g* eine solche dehnbare Stelle sich bilden. Die rasche Verschiebung *a* bis *g* läßt gleichwohl keinen anderen Aggregatzustand zu, wie den flüssigen.

Die dendritische Strombahn mit fast allen Einzelheiten der Configuration, wie sie in den früheren Figuren zum Ausdruck kam, wird eingehalten, wenn man einen zähflüssigen Harzlack, in welchem feine Bleiweiß-

partikel suspendirt sind, in Glycerin fließen läßt, Fig. 46. Dort finden sich alsdann Glycerin-Vacuolen $v v'$, es finden sich spindelförmige Anhäufungen, durch welche zartere Ströme eingezogen werden, bei $\alpha \alpha'$ und dichotome Endströme $\beta \beta'$ u. s. f. Freilich herrscht hier keine dauernde Bewegung, so lange aber Strömung herrscht, geht sie genau so vor sich, wie in dem Netzwerk der Plasmodien. Keineswegs soll damit die in Frage stehende Theorie begründet werden, vielleicht gibt es aber einen Fingerzeig für die naturgemäße Behandlung der Sache. Wir erhalten zunächst:

Das nackte Protoplasma der Mixomyceten verhält sich wie eine zähflüssige Masse, sie vertheilt sich in capillare Strom-

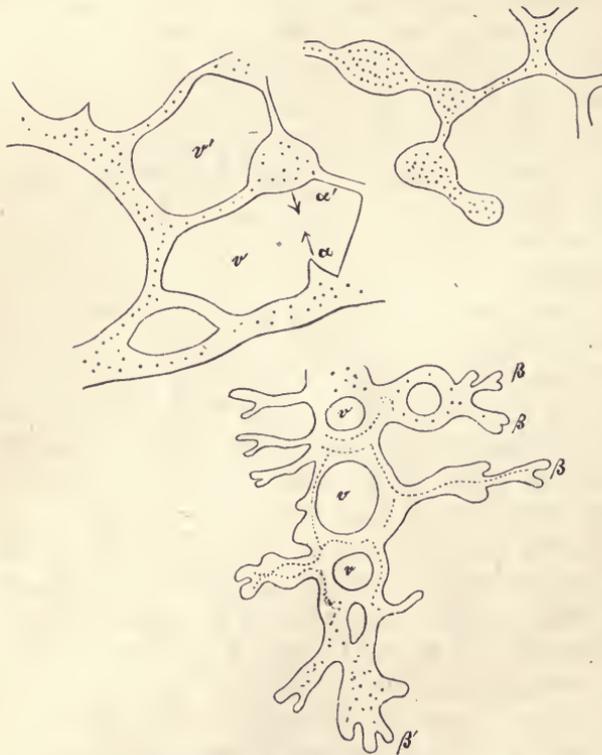


FIG. 46. Figuren von ausgeflossener Terpentinmasse in Glycerin. v die Glycerinflächen. Die Körnchen sind suspendirtes Bleiweiß.

bahnen, in welchen steter Wechsel des Druckes und des Widerstandes in der Wandschicht der Grundsubstanz herrscht. Das Nachfluthen der Partikel ist eine nothwendige Folge dieses Verhaltens.

Professor v. BOHNSDORF (Helsingfors) demonfirte auf der Versammlung deutscher Naturforscher u. Aerzte in Stuttgart 1834 einen künstlichen Proteus, dessen Bewegungen angeblich mit denjenigen der Amöba difluens übereinstimmen sollen.

Nach der Angabe EHRENBERG's, welcher das Experiment unter

b) Bei den in Zellen eingeschlossenen Stromnetzen ist die Strömung

nur in vacuolenreichem Plasma auffällig sichtbar. Bezüglich der Intensität dieser Strömung ist zu beachten, daß die Section der betreffenden Pflanzentheile und das Eintauchen der mikroskopischen Abschnitte in Wasser jedenfalls schon störend wirken, bezogen auf die Verhältnisse, welche an dem unverletzten Pflanzentheile herrschen. Der Gesamteinhalt steht unter erheblichem Druck der Wand, wie aus dem Verhalten ausfließender Protoplasmamassen erhellt. In jedem einzelnen Stromfaden herrscht ein peripherer Druck auf die Inhaltsmasse, wie in jedem capillaren Flüssigkeitsfaden anderer Natur. Die Wand ist gleichmäßig benetzt, d. h. alle Stromfäden, welche quer durch den Zellhohlraum gehen, stehen in Communication mit einer gleichmäßig der Zellwand anliegenden dünneren oder dickeren Flüssigkeitslamelle.

Der capillare Faden *a*, Fig. 47, möge durch den Hohlraum der Zelle gehen, *m* deren Wand, *nn* die Krümmungen des Wandbelegs, welche nach dem capillaren Faden continuirlich übergehen, *v v'* die Vacuolen darstellen. In dem System muß so lange Bewegung herrschen, wie ein Unterschied in der Dicke der Wandficht herrscht. Dieser Unterschied muß zum Theil durch Strömung in der Wandficht und solche in dem capillaren Faden ausgeglichen werden. Dies gilt für jede zähe Flüssigkeit und es mag *v v* Luft oder eine andere mit ersterer nicht mischbare Flüssigkeit fein. Solche Strömung herrscht

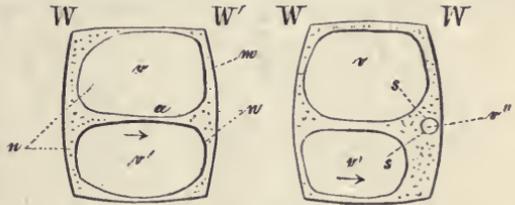


FIG. 47. Schema der Vacuolenbildung im Protoplasma.

in allen Wasserlamellen, wie sie im großbläsigen Bierschaum vorliegen, wenn durch den Austausch verschiedener Gase die Hohlräume ihren Druck mindern. Dort ändern sich die mit Luft erfüllten Hohlräume, welche unseren Vacuolen *v v'*, Fig. 47, entsprechen. Werden sie kleiner, so muß die Lamelle von Flüssigkeit dicker werden. Es fließen in solch großen Blasen Flüssigkeitsspindeln und feine Partikel dahin, dorthin, je nachdem zwei Vacuolen zusammenfließen oder eine gegebene Vacuole sich vergrößert.

In unserem System, Fig. 47, sind zwei Vacuolen oder, besser gesagt, der Raum *v v'* ist ein einziger Hohlraum mit verdünnterer Lösung, wie der Wandbeleg, durch welchen ein Strang dichter Flüssigkeit sich von der Wand *W* nach *W'* hinzieht. Damit dauernde sichtbare Strömung herrsche, muß dauernd eine Störung des osmotischen Gleichgewichtes zwischen dem Stromsystem und den Vacuolen hergestellt werden oder es muß dauernd Verbrennung herrschen. Sollen neue Strombahnen durch die Räume *v v'* möglich werden, so muß in einem gegebenen Orte *v''* eine neue Vacuole entstehen, welche wachsend nach *v v'* durchbricht bis auf zwei capillare Stränge *s s*.

In dem complicirten System, Fig. 27, S. 27, kann nach der dort

angewandten Beobachtungsmethode das Auftreten der Vacuolen v v' v'' in der Phase δ nur begriffen werden, wenn man annimmt, daß sie erst aus der dichteren Grundsubstanz entstanden sind, dann mußte Ausgleich durch Strömung erfolgen, oder daß sie durch Annäherung der Fäden v v' in der Phase ϵ entstanden sind. Dieß muß eintreten, wenn die Einmündungspunkte der angrenzenden Stränge in der Hautschicht sich nähern. Fragt man, wie das Stromsystem Fig. 27 überhaupt zu Stande kommt, so findet man nur diese Erklärung: zahlreiche kleine Vacuolen, also Räume, welche allseitig von der dichteren Grundsubstanz umgeben waren, durchbrachen diese Lamellen, so daß zahlreiche capillare Stromfäden entstanden, die ein continuirliches Netzwerk darstellen. Wir erhalten somit:

2° In einer Protoplasmanasse müssen Strömungen in capillaren Lamellen oder in capillaren Fäden herrschen, wenn neue Vacuolen entstehen oder früher gebildete vergehen, oder wenn mehrere Vacuolen sich vereinigen, so daß eine Lamelle der Grundsubstanz zu einem capillaren Faden wird. In einem solchen System wird Temperaturwechsel die capillare Spannung verändern, also eine Druckschwankung bedeuten, welche nothwendigerweise eine Aenderung

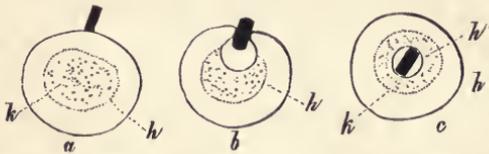


FIG. 48. Vorgang der Aufnahme einer Diatomee in eine Amöbe.

der Stromgeschwindigkeit zur Folge hat.

c) Die Vacuolenbildung ist sehr wahrscheinlich ein Quellungs- oder Lösungsproceß, eine Art Verdauung vorher ungelöster Partikel. Die Amöben, Fig. 9—15, die *Vampyrella vorax*, Fig. 16, die *Actinosphæra Eichhornii*, Fig. 17, u. a. m. nehmen kleine festschalige Diatomeen und niedere Zellenpflanzen auf, schließen sie in hyaline, vacuolenähnliche Räume ein, behalten sie eine Zeitlang und stoßen die Reste der Schalen und Zellenskelette während ihrer Wanderung wieder aus. Das Protoplasma in solchen Auswurfsmassen hat sich seiner Farbe und Lagerung der Theilchen nach sichtlich verändert.

Bei einigen verläuft die Aufnahme so langsam, daß man diesem Proceß Schritt für Schritt folgen kann, Fig. 48. Hier wird ein Theil der hyalinen Randzone mit dem festen Körper der Diatomee durch die Schicht b nach der Körnerzone k eingefüllt. In c besteht alsdann das Gebilde aus drei concentrischen Räumen h' k h .

Aehnliche Lösungs- und Verdauungsproceße müssen sich in der Pflanze stetig vollziehen für die Niederschlagskörper der Stärke des Fettes und Oeles der geformten, in Wasser unlöslichen Proteine und anderer Körper mehr.

Bei der Entwicklung der Pflanzenzelle von dem jüngsten nach dem ausgewachsenen Zustande werden im Allgemeinen solche Proceße stetig

eine Rolle spielen und es wird die Plasmamasse in der Regel aus dem vacuolenlosen in diesen Vacuolenzustand allmählig übergehen. Dieses gilt jedenfalls für alle die vegetativen Zellen, welche vorzugsweise zum Studium der Protoplasmabewegung herangezogen wurden, als da sind die vegetativen Zellen der *Vallisneria*, *Hydrocharis*, *Tradescantia*, *Ecballium*, die Cambiumzellen der Bäume u. a. m. Wir erhalten somit:

3^o Die Vacuolenbildung in heranwachsenden Zellen kommt allgemein vor, ist wahrscheinlich eine Folge von Lösungsvorgängen, und es wird eine Vacuole ein mit klarer Flüssigkeit erfüllter Raum von größerem wie geringem specifischem Gewicht, bezogen auf seine Umgebung, sein können.

Allgemeine Betrachtung der Strömung.

Je größer die Bewegung der einzelnen Theile in einem complicirten Stromsystem ist, um so größer muß der Stoffumsatz sein. Je größer die Fläche wird und damit die Anzahl der Auszweigungen in jenen dendritischen Systemen Fig. 21, 22, um so mehr wächst die Geschwindigkeit der sichtbaren Theilchen. Das Stromsystem, Fig. 21, in welchem die Pfeile der Einzelströmungen nach allen möglichen Richtungen weisen, kann mit geringem Massenzuwachs sich auf fußweite Strecken ausbreiten und doch nur wenige Centimeter lückenloser Flüssigkeit darstellen, wenn alle Stromarme eingezogen sind. Die Masse strebt gleichwohl nicht, nach allen Richtungen und über alle Grenzen hinaus, sich zu verbreiten, sie strebt nach einem dendritischen System, in welchem $p p'$ eine periphere Zone, ähnlich der Baumkrone, darstellt. Das Verrücken solcher Systeme ist nach ROSANOFF eine periodische Bewegung, d. h. die Grenzzone rückt vor, sinkt wieder zurück, rückt wieder vor u. f. f., so daß die Schritte vorwärts stetig die Rückschritte überwiegen, f. Fig. 22 A. Je feiner die Vertheilung, um so mehr herrscht die Strömung. Dieselbe muß sich aber in sich selbst begrenzen, weil die Stromfäden nicht unendlich dünn werden können und weil die Masse eine begrenzte ist. Es muß also immer wieder irgendwo in unserem System Anhäufung erfolgen, welche gleichbedeutend ist mit einer Verringerung der Oberfläche. Wie das Gebilde sich auch verhalten mag, stets werden nur solche Schwankungen zwischen Volum und Oberfläche vorkommen, wie die Fig. 45 zeigt, wo a die kleinste, c die größte, e wieder die kleinste Oberfläche für daselbe Volum der strömenden Masse bedeutet. Diese Schwankungen sind Folge von Druckschwankungen, welche deswegen unabhängig von dem hydrostatischen Druck des Zellinhaltes, weil die Stromfäden capillare, ja mikroskopisch kleine sind.

Da mit der Oberfläche bei allen wachsenden flüssigen, wie später erhärtenden festen Stromsystemen der Einfluß äußerer Agentien: Temperatur, Strahlung, Oxydation für die Einheit der in dem System umgesetzten

Masse wächst, muß die lebendige Kraft der sichtbaren Bewegung wachsen. Dieß wird erreicht, indem die Einheit der Masse in immer neue Bahnen gelenkt wird, welche alle von den umgebenden Medien vortheilhaftest beeinflusst sind. Versetzen wir uns in Gedanken in den Wachsthumsvorgang einer höheren Pflanze, so wächst nach ihrer Ausfaat stetig ihre Oberfläche, die feste Masse wird von Jahr zu Jahr auf größeren Flächen vertheilt. So entsteht der reichgliederige Baum, welcher mit der Fig. 21 zu vergleichen ist. Auch der Zuwachs der festen Masse ist ein stetiger, wenn man absieht von dem periodischen Hinfall der Blätter und schlecht situirten Aeste. Jene Vertheilung aber der Masse auf die möglichst große Oberfläche ist nicht unbegrenzt, d. h. es kommt für jede Pflanze eine Zeit, wo für gegebene Oberfläche die Masse einmal ein absolutes Minimum erreicht hat. Von nun aber wächst dieselbe für die gegebene gleiche Oberfläche. Dieß entspringt aus dem Bedürfniß, das System fest zu machen. Dieser zweiten Anforderung kann aber nur genügt werden dadurch, daß an dem Orte, wo Strömung erfolgen soll, eine feste Röhrenleitung durch den Verbrauch der strömenden Masse angelegt wird.

Zweite Abtheilung: Zellbildung¹⁾.

§ 5. Die Bedeutung der Zelle im mechanischen Sinne.

Festigkeit, osmotische und chemische Spannung.

Die dauernde feste Form der höheren Pflanzen beginnt mit der Ausscheidung von dichteren Wänden in jenen bisher betrachteten Protoplasmamassen. Lamellen oder Fäden stellen in dem System eine capillare Spannung her, ähnlich wie sie in dem Seifen- oder Bierchaum herrschen oder wie in der Actinosphæra, Fig. 17 A; dort sind alle Theile flüssig, gleichwohl herrscht eine gewisse Festigkeit gegenüber dem umgebenden Medium Luft und Wasser. Die Lamellen werden allmähig oder plötzlich fest zu

¹⁾ VON MOHL, Verm. Schriften. — NÄGELI, SCHLEIDEN, SCHACHT, HOFMEISTER, PRINGSHEIM, STRASSBURGER. — H. SCHACHT, Beitrag zur Entwicklungsgechichte der Frucht und Spore von *Anthoceros lævis*. Bot. Ztg. 50. 457. 73. 8. — J. TSCHISTJAKOFF, Beiträge zur Theorie der Pflanzenzelle. PR. Jahrb. Bd. X. S. 7. — J. TSCHISTJAKOFF, Beiträge zur Physiologie der Pflanzenzelle. 1. 17. 33. 81. 97. 329. — Bot. Ztg. 75. — E. RUSSOW, Einige Bemerkungen zu den Beitr. zur Phyfiol. der Pflanzenzelle des Herrn J. TSCHISTJAKOFF. 329. 345. — Bot. Ztg. 75. — Ueber Zellbildung und Zelltheilung. Von Dr. ED. STRASSBURG. Jena 1875. Hermann Dabis.

wirklichen Häuten (Zellmembranen), widerstehen einem begrenzten Zug oder Druck. Die flüssige Protoplasmamasse befindet sich jetzt in einer selbstgeschaffenen Hülle, *Caulerpa*, *Vaucheria* sind einzellige Pflanzen dieser Art¹⁾. Die Bildung fester, elastischer Häute befestigt das ganze System und stellt zwischen den Medien Luft und Wasser außerhalb und dem flüssigen Protoplasma innerhalb jener Hülle chemische und osmotische Spannung her. Der Ausgleich ist jetzt langsamer, wie wenn die zwei verschiedenen Medien ohne Membran an einander grenzen. Lösliche Körper, welche in dem Protoplasma entstehen, können jetzt gespeichert, zurückgehalten werden. Die Diffusion nach außen ist verlangsamte. Dieselben Prozesse werden auch im Innern verzögert, wenn die Pflanze vielzellig wird, d. h. zahlreiche Hohlräume in dem genannten Sinne herstellt. Die räumliche Entfernung solcher Hohlräume macht jetzt einen Widerstand möglich, welcher im einzelligen System nicht herrschen kann.

§ 6. Die Bedeutung der Zelle im morphotischen und genetischen Sinne.

Nach dem, was man jetzt von Organismen weiß, wird man sagen müssen: das Wachsen und die Formentfaltung sind als Bewegungsercheinungen des flüssigen Protoplasmakörpers anzusehen. Soll die Form dauernd sein, so muß sie erstarren, gleichwohl bestimmt belegene Ausflußstellen, die Knospen z. B. besitzen, Orte, wo von Neuem fest werdende Hüllen herausfließen (beziehungsweise wachsen). Dieser Vorgang ist, wie aus dem Früheren erhellt, um so gefahrloser äußeren Störungen gegenüber, je kleiner diese Ausflußstellen sind, daher im Allgemeinen die Bedeutung kleiner Zellenhohlräume. Die Formänderung setzt aber selbst wiederum im Innern der Plasmamasse eine Vertheilung der Keimkraft voraus. An einer Ausflußstelle mag ein Blatt, an einer zweiten ein Zweig, ein Haar an einer dritten entstehen, so sind alle diese Entwicklungen um so leichter möglich, je mehr jene specifischen Keimkräfte vertheilt werden an verschiedene kleinste Zellenhohlräume. Die Möglichkeit hoher gestaltlicher Differenzirung wächst mit der Gliederung der Protoplasmamasse in differente Zellenräume.

Genau unter denselben Gesichtspunkt fällt aber die Betrachtung der Generation. Alle Pflanzen befanden sich einmal im Zustande einer einzigen Zelle oder sie waren einmal in einer sphärischen Plasmamasse individualisirt.

Die Abchnürung solcher kleinen Massen in großer Anzahl erscheint

¹⁾ Einzellige Pflanzen: *Vaucheria*. *Bryopsis*. *Vallonia*.

absolut nothwendig für die Erhaltung und Vermehrung der Organismen an der Erde. Mechanisch kann sie eben so wenig wie der Vorgang geschlechtlicher Uebertragung von Keimorganen irgend wie weiter begriffen werden.

In kleinen Räumen, Keim- oder Eizellen, muß die Anlage für alle aus ihnen durch Wachstum später differenzirte Organe angehäuft und es müssen die Zellen von ihren Ahnen getrennt sein, soll die Continuität der organischen Bewegung durch ungemessen große Zeiträume verstanden werden. Solche Zellen wachsen, d. h. sie nehmen zu an Masse und Volumen, sie theilen sich und bilden neue Zellen, weil sie wachsen. Sie formen nach bestimmten Gesetzen ihrer Evolution große Massen, welche von außen in das System hereingezogen werden, und stellen in der gegebenen Generation einen Massenumtrieb her, welcher riesenhaft ist gegenüber der Bewegung, welche die Keimkraft in die Ahnenzelle legte.

Die junge Pflanzzelle enthält alle Formkeime und macht die ganze Evolution der Generation durch, so die Eizellen, die Sporen u. f. f. Oder die junge Zelle ist eine Protoplasmanasse, in welcher nur ein Theil der Formkeime enthalten:

- 1^o Meristeme der Vegetationspunkte.
- 2^o Cambium des Holzkörpers.
- 3^o Scheitelzelle der Blätter bei den Moosen, Farrenkräutern u. f. f.

Wassergehalt.

In allen wachsenden Pflanzentheilen ist die plastische Masse während des Vorgangs der Zellenvermehrung in hohem Grade quellungsfähig. Der Wassergehalt in saftigen Pflanzen ist ein außerordentlich großer, nichtsdestoweniger wird durch die feine Vertheilung in mikroskopisch capillaren Hohlräumen eine gewisse Festigkeit hergestellt. Das Gewebe der Agaricineen mit nur 4 bis 13 Procent fester Masse kann gleichwohl dem Zug und Druck großen Widerstand entgegensetzen.

Durchschnittswassergehalt in 100 Gewichtstheilen.

Kartoffel	}	Knolle	76
		Kraut	85
Zuckerrübe	}	Wurzel	88
		Blätter	90
Tabak . .	}	Blätter	87
		Stengel	85
Linde . .	}	Wurzel	64
		Blätter	55
Eiche . .	»	57

Tanne . . . Holz	37
Eiche . . . »	35
Weide . . . »	60
Schwämme Hutgewebe	87—96.

§ 7. Theorie der Zellbildung.

Alle pflanzliche Formbildung beruht auf zwei Vorgängen:

1^o Vorhandene Zellen wachsen und theilen sich, die Zahl der Zellen wird vermehrt.

2^o Alle Zellen streben von dem kleinsten Volum, welches sie unmittelbar nach der Theilung einnehmen, nach einem absolut größten, d. h. sie wachsen und sind endlich ausgewachsen.

Die Heerde dauernder Vermehrung sind die Orte, wo die Vorgänge unter 1^o sich abspielen. An solchen muß derselbe Vorgang Jahrhunderte, Jahrtausende herrschen, soll die Bedingung erfüllt sein, welche oben, S. 10, für die Continuität der Organisation an der Erde gestellt wurde. Diese Orte sind zum Studium der Zellbildung gewählt worden in den Vegetationspunkten der Knospe, in den Geschlechtsapparaten aller Pflanzen, dem vegetativen Gewebe der niederen Algen, den Propagationsapparaten der Pflanze — kurz da, wo man wachsen sah, hat man entwicklungsgeschichtlich die Zerklüftung der vorhandenen Hohlräume studirt. Eine besondere Rolle spielten die Geschlechtsapparate der höheren Pflanze: die Pollenbehälter und die Ovula der Phanerogamen.

Bei allen Beobachtungen über Zelltheilung solcher Pflanzentheile, welche durch das Messer oder die Nadel zergliedert werden, macht sich ein Fehler in der Beobachtung geltend, welcher bei ähnlichen Forschungen an wasserbewohnenden niederen Algen und Pilzen ausgeschlossen ist. Es ist der Einfluß des Wassers selbst. Welches die wirklich in der Pflanze herrschende Anordnung ist, kann daher aus den Präparaten nach der ersten Methode nicht erschlossen werden. Auch der Einfluß von Wasser auf Zellen, die soeben in der Vermehrung begriffen sind, stört das Gefüge, da immer alsbald Phänomene der Quellung und der Vacuolenbildung eintreten, die in der Pflanze nicht vorkommen brauchen, weil die Flüssigkeiten, welche die jungen Zellen begrenzen, concentrirter sind wie Wasser. Etwas Aehnliches gilt für pflanzliche Gebilde, welche in Alcohol lagen. Auch hier werden Niederflags- und Gerinnungsercheinungen im Protoplasma bewirkt, die im lebenden Pflanzenkörper nicht vorkommen brauchen.

Der Zellkern.

Im Innern der Protoplasmamasse schwebend, Fig. 49 A, bei Pfilothum, oder an der Wand dem protoplasmatischen Belege eingebettet, oder auch in einem Netzwerk hyaliner Protoplasmafäden befindet sich eine klare sphärische Ausscheidung von eiweißreichem Protoplasma, der Zellkern (nucleus). In dem Zellkern befinden sich noch dichtere Körperchen, die nu-

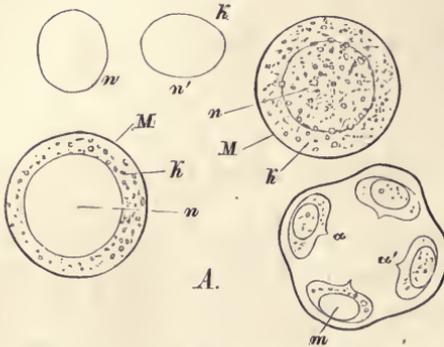


FIG. 49 A. Pfilothum triquetrum. Zwei Zellen vor, eine nach der Theilung. *M* Membran. *n* nucleus. *n n'* zwei aus den Zellen angetretene nuclei.

cleoli. Selbst Stärkekörnchen können vorübergehend und dauernd dort niedergeschlagen werden.

Der Zellkern fehlt den Pilzen und vielen Algen. In der Genese spielt er daher nicht überall eine wesentliche Rolle. Den Theilungen des nucleus wurde in neuerer Zeit¹⁾ besondere Aufmerksamkeit gewidmet. In der Fig. 49 B ist in *n'''* ein ungetheilte Kern mit zahlreichen Körnchenreihen, in *n''* in der Theilung gezeichnet.

So weit unsere Kenntniffe über den Zellkern reichen, und sie sind bis jetzt rein morphotischer Natur, wird derselbe bei der Zellbildung zerklüftet. Er vertheilt sich durch Auseinanderfließen und bildet secundäre Kerne, oder die Substanz des Kernes löst und vertheilt sich im Plasma der Mutterzelle und es differenzieren sich später die Kerne der Tochterzellen.

Bei der geschlechtlichen Befruchtung der Coniferen und Phanerogamen tritt umgekehrt als anregender Act der Zellbildung eine Verschmelzung je zweier Kernsubstanzen ein, die Kernsubstanz des Pollenschlauches verschmilzt mit dem Kern der Eizelle.

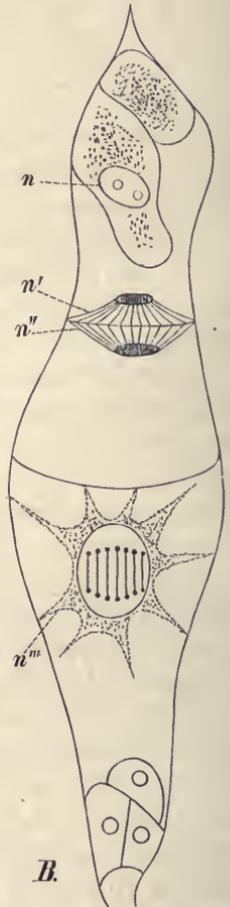


FIG. 49 B. Embryosack von *Monotropa hypopitys* (nach STRASSBURGER).

1) f. STRASSBURGER, Zellbildung und Zelltheilung, Befruchtung und Zelltheilung.

In Säuren und Salzlösungen gerinnt die Masse des Kernes zu gestaltlosem Klumpen mit unregelmäßigem Contour.

Bei den Zelltheilungsvorgängen beobachtete man:

1° daß der Zellkern der Mutterzelle nicht afficirt wird durch die

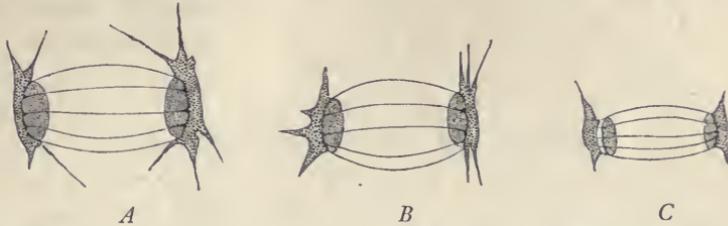


FIG. 50. *Spirogyra orthospira*. A die zwei Kerne in einer Zelle, acht Minuten nach dem Auseinanderrücken. B ebenfo vierzehn Minuten nachher. C noch späterer Zustand.

Theilung des Protoplasma, so bei manchen Sporenmutterzellen, den Embryosäcken der höheren Pflanze, Fig. 49 B.

2° Er wird gelöst und es entstehen nach und nach zwei und so viele secundäre Kerne, wie später Tochterzellen auftreten, dahin gehören vielleicht alle vegetativen Zellen der höheren Pflanze.

3° Der Zellkern theilt sich wie die Protoplasma in zwei oder mehrere Tochterzellkerne vollzieht sich in wenigen Minuten, Fig. 50, 51, bei den Fadenalgen des süßen Wassers. Als bestes Studienobject sind die Conjugaten, insbesondere die großen Formen der Gattung *Spirogyra* zu empfehlen.

Bei Zellkernen, welche sich in centraler Lage befinden, findet sich entweder ein Netzwerk hyalinen Plasma's, Fig. 52, in welchem der Kern wie in einem Takelwerk aufgehängt erscheint, oder ein ebenfolches von körnigem Plasma, Fig. 54. Hier bei den Epidermiszellen von *Orchis*

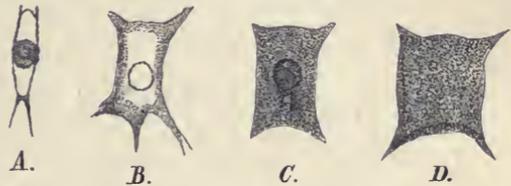


FIG. 51. *Spirogyra orthospira* (nach STRASSBURGER). A Zellkern. B ein ebenfolcher, verbreitert. C ebenfo (Alkohol). D Kernmasse nach Auflösung des Kernkörperchens.

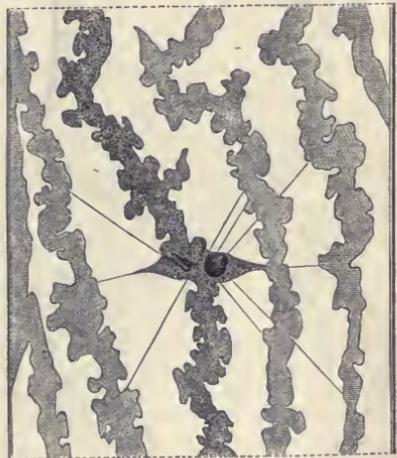


FIG. 52. Kleine Parthie aus der Zelle von *Spirogyra orthospira*. FAMINTZIN.

kommt, wenn von dem Wandbeleg $w w'$, Fig. 54, abgesehen wird, eine ähnliche Vertheilung der Protoplasmafränge vor, wie bei der *Amœba radiata* des Süßwassers,

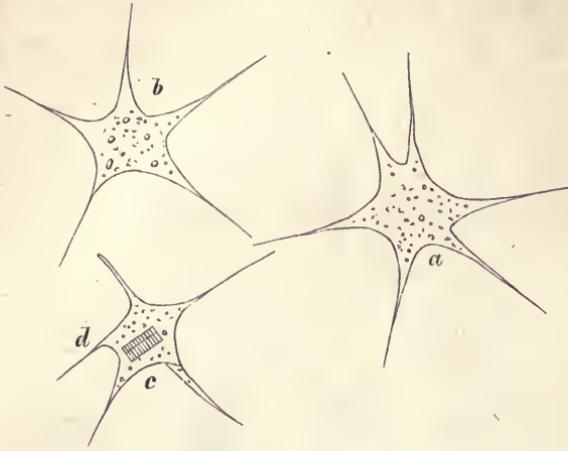


FIG. 53. *Amœba radiata*. In *a* sechs Strahlen der hyalinen Grundsubstanz, in *b* sind nur fünf, in *c* nur drei in der ganzen Länge sichtbar. Die zu *a* später fehlenden haben sich aus der Ebene der Einstülpung fortbewegt. *d* Eingeschlossener Diatomeenpanzer.

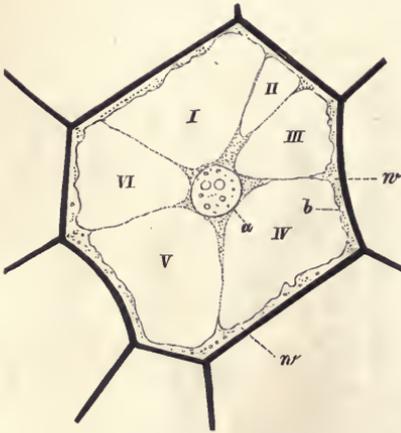


FIG. 54. *Orchis Morio*. Epidermiszelle mit einer amöbenartigen Vertheilung des Protoplasma's *a*, *b* der Wandbeleg. Die Räume *I*, *II*, *IV* der wässerige Zellinhalt.

radiata des Süßwassers, welche in Fig. 53 abgebildet ist¹⁾). Dieselbe besitzt in gleichwinkligen Abständen zugespitzte, in ihrem Fußpunkte drehbare Fangarme. Durch Contraction werden diese Pseudopodien verkürzt. Ganz ähnliche Drehungen und Veränderungen der Stränge kommen in dem System der Fig. 54 vor, f. Figurenerklärung. Dort aber muß der Wandbeleg $w w'$ die Verschiebung der Fußpunkte der Stränge bewirken.

Der Zellkern und die nucleoli werden nach den neueren Untersuchungen STRASSBURGER's, AUERBACH's u. a.²⁾ als Gebilde angesehen, die für das Wesen der Zelle als organisches Individuum die größte Bedeutung haben. Bei den vergleichenden Untersuchungen über die Neubildung thierischer und pflanzlicher Zellen hat sich bis jetzt indeß nicht die Uebereinstimmung in der Auffassung herausgestellt, welche nöthig ist, um diesen Gegenstand als abgeschlossen betrachten zu können³⁾.

Bei der Befruchtung der Abietineen wird der nucleus des Pollenschlauches *n* durch dessen Spitze in das Corpusculum ge-

¹⁾ FAMINTZIN, *Ann. d. sc. nat.* V. 7. Für das ausgezeichnete Studienobject der Spirogyren f. noch A. BRAUN, Verjüngung. 257 ff. PRINGSHEIM, Pflanzenzelle. 1854. S. 31 ff. DE BARY, Die Conjugaten. 1852. S. 2.

²⁾ HANSTEIN, Bot. Ztg. über den Zellkern. — Zelle und Zellkern. Bemerkungen zu STRASSBURGER's Schrift «Ueber Zellbildung und Zelltheilung» von Dr. LEOPOLD AUERBACH. — COHN, Beitr. Bd. 2. Heft 1. S. 1. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag.

³⁾ AUERBACH in COHN's Beitr. zur Biologie der Pflanzen. II. Bd. 1. Heft.

preßt und verschmilzt dort mit dem nucleus *n'* der Eizelle zu einem Kernindividuum. In Fig. 54 *A a* verläßt der Kern des Pollenschlauches *n* foeben die Spitze deselben, in der Fig. *b* ist er auf dem Wege nach dem Centrum des Corpusculum, in *c* ist er in der Verschmelzung mit dem Kern des Corpusculum begriffen.

§ 8. Sogenannte freie Zellbildung.

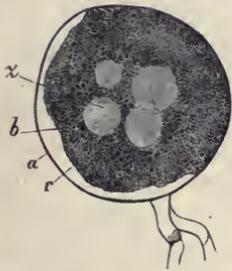


FIG. 56. *Tuber æstivum*. *x* Tochterzelle. *b* Hautschicht des Plasma. *a* Membran der Mutterzelle.

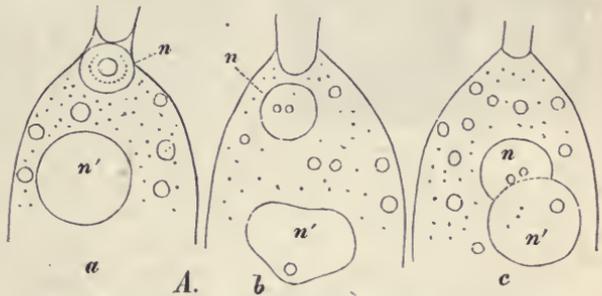


FIG. 54 *A*. Embryosackfcheitel. Das Corpusculum der Coniferen nach STRASSBURGER. *n n'* die Zellkerne.

In der Protoplasma-Masse der Mutterzelle differenzieren sich zuerst die Kerne, sodann ballt sich ein Theil des Protoplasma um den Kern und umzieht sich miteinander im Beginne vergänglichen, später festen, elastischen Membran.

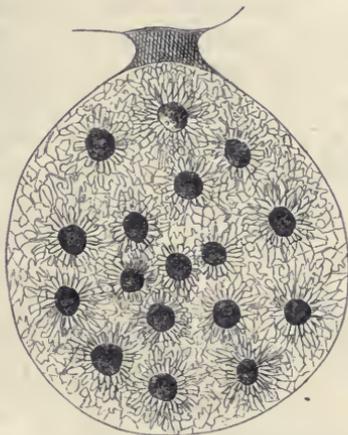


FIG. 55. *Ginkgo biloba*. Ein Ei mit freien Kernen, um jeden Kern eine hellere Zone.

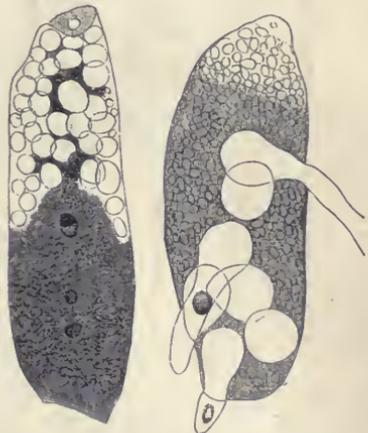


FIG. 57. *Ephedra altissima*. Ein Ei mit freier Zellbildung nach STRASSBURGER.

FIG. 58. *Ephedra altissima*. Die frei entstandenen Tochterzellen wachsen durch die Eihaut, sind zum Theil in Theilung begriffen.

Die Integrität der Mutterzelle wird durch diesen Vorgang nicht vollständig zerstört. Dieselbe kann längere Zeit den gleichen Proceß wiederholen, so daß die Anzahl der Tochterzellen wächst, bis endlich der ganze

den gleichen Proceß wiederholen, so daß die Anzahl der Tochterzellen wächst, bis endlich der ganze

Raum der Mutterzelle erfüllt, ihr ganzer protoplasmatischer Inhalt verbraucht ist. So entstehen die Eizellen wahrscheinlich aller Pflanzen, die Keimbläschen der Phanerogamen mit Sicherheit, die Ascosporen der Pilze, das Endosperm der Mehrzahl der Phanerogamen. Als geeignetes Material der Untersuchung wurden gewählt: die Asci der Perizen und des Tuber,

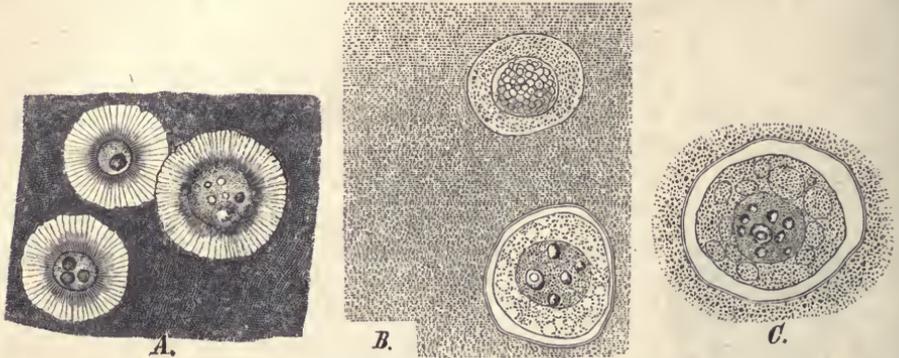


FIG. 59. *Ephedra altissima* nach STRASSBURGER. Theilungsvorgänge im Ei (Corpusculum). *A* freie Zellen im Protoplasma. *B* späterer Zustand, die untere Zelle bereits mit Zellhaut. *C* eine einzelne, frei entstandene Zelle. *D* eine Montrofität, das Ei von Gängen durchsetzt, welche die Zellen umgrenzen.

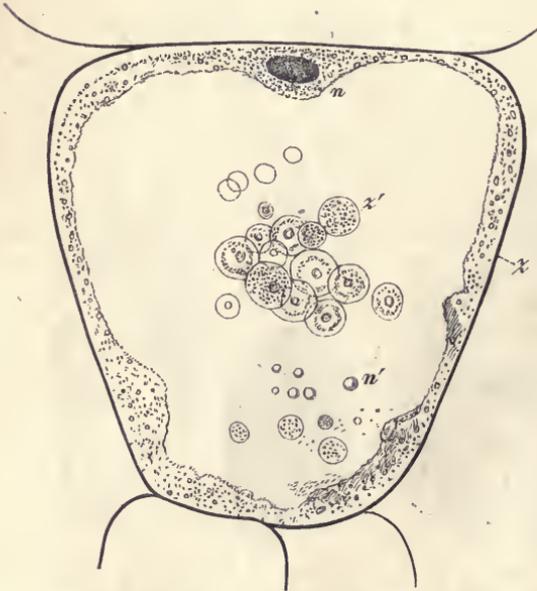


FIG. 60. Eine der großen Endospermzellen von *Ceratophyllum*.

Die freie Zellbildung kommt im Pflanzenreiche vorzugsweise in denjenigen Orten vor, wo mit hoher Keimkraft versehene Zellen entstehen sollen; solche sind: die Sporen der Ascomyceten, die Schwärmsporen der Pilze (Peronosporen, Mucorinen, Saprolegnien).

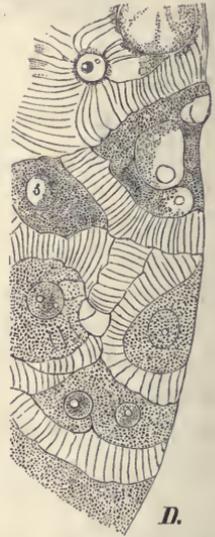


Fig. 56, die Osgonien der Algen und Pilze, die Embryo-fäcke der Coniferen, Fig. 55, 57, 58.

Die freie Zellbildung kommt

Die Zellen, welche den Proceß dieser Zerklüftung ausführen, sind selbst meist in geschlossenem Verbands oder als Endglieder eines Zellenzweigsystems durch Theilung entstanden.

Das Wesen der entstehenden, zuerst hüllenlosen Plasmakugel, wie sie in mannigfacher Form und Anzahl entsteht, beruht in der Individualisirung. Die Zelle heißt Primordialzelle und entspricht diesem Namen durch die Zartheit ihrer Begrenzungsschicht.

Die frei entstandenen Tochterzellen, Fig. 59 *A* bis *C*, stellen im Beginn ihrer Entwicklung außerordentlich vergängliche, zarte Plasmaballen dar, durch geringe Contraction in Alcohol von dem umgebenden Mutterplasma unterschieden, Fig. 59 *C B*¹). Ihr spezifisches Gewicht muß sich, da sie in der Mutterzelle zum Theil, so bei den Abietineen, Wanderungen von dem Orte der Entstehung ausführen, von demjenigen der übrigen sie umgebenden Plasma unterscheiden.

In den Eizellen wiederholt sich die Bildung freier Zellen zuweilen mehrmals, oft in abnormer oder ungewohnter Weise, Fig. 57, 59, 60. So bildet der Embryosack der Phanerogamen nach der Anlegung der Eizellen das Endosperm. Aber selbst in den erwachsenen Endospermzellen des Ceratophyllum, Fig. 60, bilden sich nach und nach, zuweilen in ungewohnter Weise, zahlreiche Nuclei, um welche die Primordialzellen sich ballen und mit einer festen Membran versehen. Von STRASSBURGER wurden ähnliche Gebilde bei Ephedra, Fig. 59 *D*, beobachtet.

Die wiederholte Freizellbildung von Ceratophyllum verläuft so: die Zelle ζ ist selbst aus dem Protoplasma des Embryosackes entstanden, besitzt den wandständigen Nucleus n , Fig. 60, und einen dicken Wandbeleg von Protoplasma. In diesem differenzieren sich zahlreiche Nuclei n' und um diese differenzirt sich ein Plasmaballen, welcher alsbald bei ζ' mit einer festen Cellulosemembran versehen ist. Viele solcher Zellen des zweiten Grades liegen in dem Vacuolentheile der Mutterzelle bei ζ' .

§ 9. Zelltheilung.

Der ganze protoplasmatische Inhalt zerklüftet sich in zwei, vier und mehr Tochterzellen. Die ganze Masse der Mutterzelle geht in die Tochterzellen auf.

Die vegetativen Gewebe und die männlichen Propagationszellen der

¹) Die Einzelheiten d. Differenzirung f. STRASSBURGER, Zellbildung u. Zelltheilung. S. 4 ff.

Phanerogamen, die Pollenkörner gehören hieher. Bei dem Studium dieses Vorganges sind offenbar mehrere Aufgaben zu lösen. Zunächst ist die mikroskopische Structur des Zellenleibes während der Theilung zu studiren, sodann

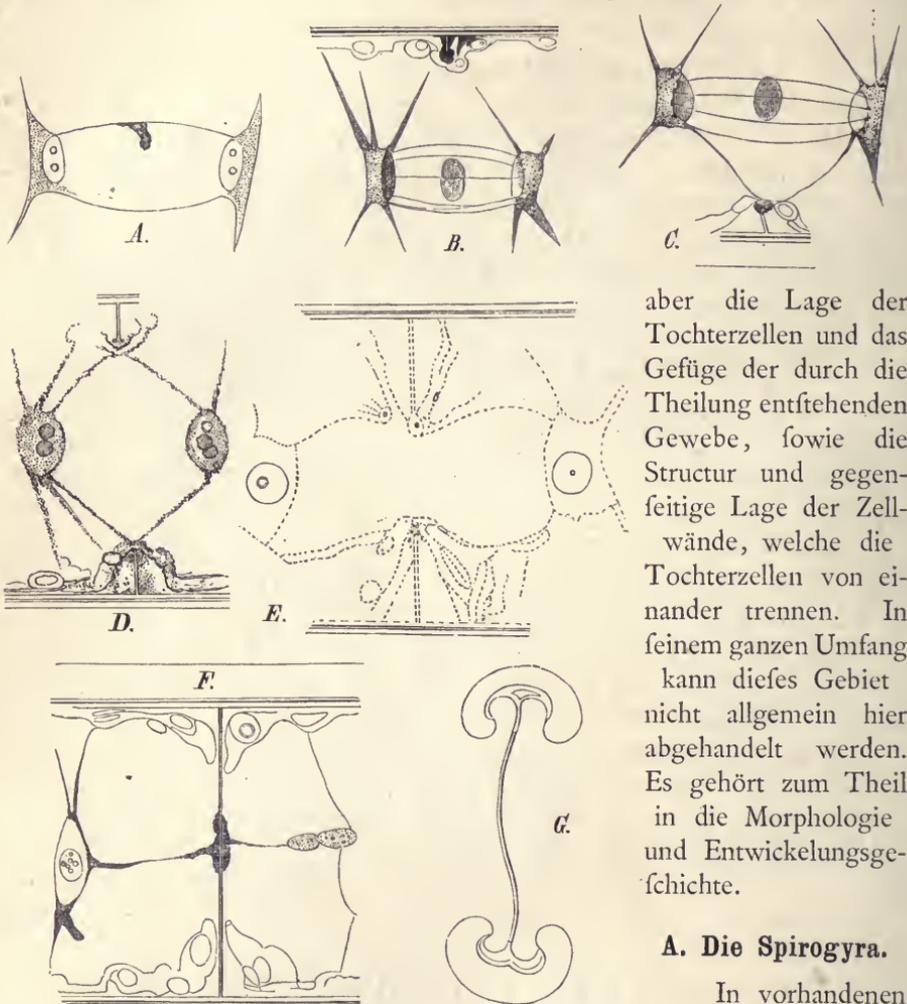


FIG. 61. Beobachtungen über die Zelltheilung der Spirogyren. A die beiden Kerne differenzirt, jeder mit zwei Kernkörperchen. BCDE allmähliges Vorschreiten der Scheidewände. F die fertige Scheidewand. G eine beiderseits abgefoßene Querwandscheibe (Spirogyra orthospira).

Kerne und deren Wanderung Querscheidewände im Verlauf weniger Stunden allmählig ausgebildet, Fig. 61.

Die Wand, welche aus der cylindrischen Zelle des Algenfadens zwei Zellen bildet, entspringt als schmale Ringleiste, welche mit der Cylinderwand verwachsen ist, B. Sie schreitet in dem Maße, wie die Kerne und

aber die Lage der Tochterzellen und das Gefüge der durch die Theilung entstehenden Gewebe, sowie die Structur und gegenseitige Lage der Zellwände, welche die Tochterzellen von einander trennen. In feinem ganzen Umfang kann dieses Gebiet nicht allgemein hier abgehandelt werden. Es gehört zum Theil in die Morphologie und Entwicklungsgeschichte.

A. Die Spirogyra.

In vorhandenen Cylindergliedern des Algenfadens werden nach der Theilung der

die sie tragenden Protoplasmafäden auseinanderrücken, nach dem Mittelpunkte vor, bis der Kreis, welchen die neue Zellwand ausfüllt, geschlossen ist, Fig. 61 E, F.

B. Sporen der Cryptogamen.

In den auf vegetativem Wege, nach zahlreichen Zellgenerationen entstandenen; Mutterzellen der Sporen zerklüftet sich der primäre Zellkern oder er bleibt vorhanden. Im ersteren Falle theilt er sich in zwei Theile, sodann nochmals, so daß vier Zellkerne vorhanden sind.

1^o Der primäre Kern bleibt eine Zeit lang erhalten. Die Sporenmutterzellen von *Isoëtes* sind das beste Studienobject, Fig. 62, 63. In der Mutterzelle bilden sich vier Zellkerne, welche sich so wie die Ecken eines in der Kugel belegenen Tetraëders lagern; von der Kugelwand aus entspringen

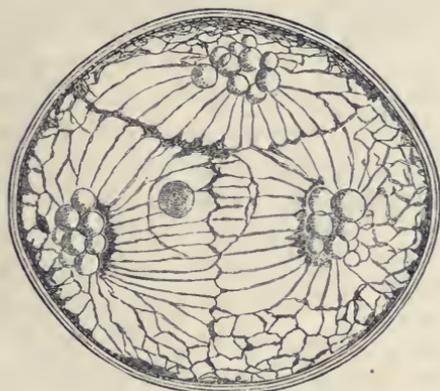


FIG. 62. *Isoëtes Durieni* Bory. Mutterzelle der Makrospore nach vollendeter Theilung, kurz vor Auflösung des primären Kerns.

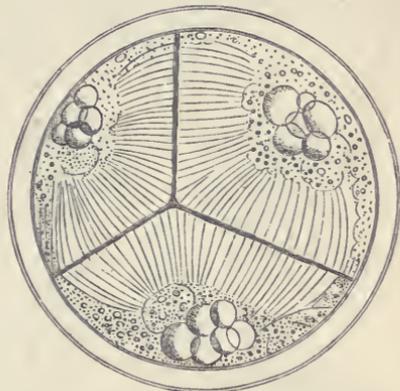


FIG. 63. *Isoëtes Durieni*. Mutterzelle der Makrosporen nach vollendeter Theilung.

die sechs Membranplatten, welche im Centrum der Kugel in einem Punkte sich schneiden, vier Tochterzellen von einander trennen, von welchen jede drei im Innern der Kugel belegene plane Wände und eine in der Kugelfläche belegene Wand besitzt.

2^o Der primäre Kern vergeht. Die Wandbildung geschieht in einem constanten, allseitig auftretenden Niederschlagsproceß. Es treten in einer Entwicklungsreihe von verschiedenen alten Sporangien (das beste Studienobject ist *Ptilothum triquetrum*) zuerst zwei Kerne auf, diese verschwinden, es treten vier auf. Jetzt bilden sich zwei Körnerplatten, welche vier Kugelquadranten abschneiden, und im letzten Stadium ist die Kugel vierzellig, Fig. 49 A. Die Membran der Mutterzelle ist während dieses Vorganges in hohem Grade in Wasser quellungsfähig, sie wird bis zur vollen Ausbildung der Sporen reforbirt.

3^o Zelltheilung der Moose, allmälige Wandbildung.

Nach dem Auftreten der vier Zellkerne zerklüftet sich der protoplasmatische Inhalt durch sechs Kornerplatten bei *Anthoceros laevis*, Fig. 64 *a* und *b*, es entstehen vier Zellen, jede von der Gestalt eines Tetraeders.

Bei *Pellia epiphylla* schnürt sich die Wand der Theilung entsprechend ein und verdickt sich in den Winkeln bei *v*, Fig. 64, da, wo die endliche Ab schnurung der Tochterzellen erfolgen muß. Diese führt bei *Anthoceros* zur Vertheilung der Membran der Mutterzelle um die vier Tochterzellen. Die Spore der *Pellia* theilt sich in späterer Phase, aber noch vor der Ausfaat, in mehrere Zellen, welche in dem sphärischen Sporenkörper in Verband bleiben.

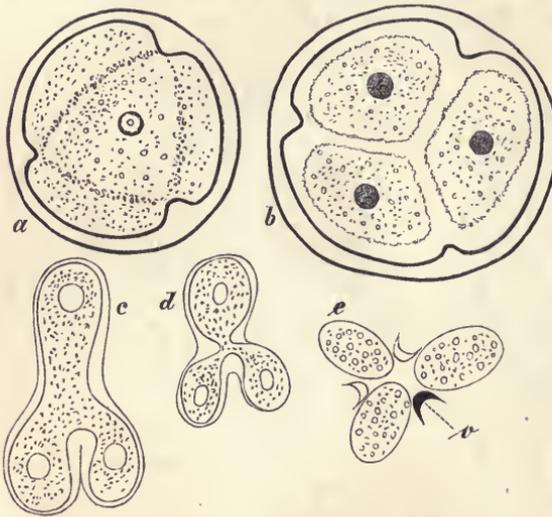
4^o Zellbildung der Moosspore, plötzliche Wandbildung.

FIG. 64. *Anthoceros laevis*¹⁾. Sporenmutterzellen in der Theilung. Entwicklung der Sporen: *a* die Sporenmutterzelle. *b* spätere Phase. *c*, *d*, *e* *Pellia epiphylla*²⁾. Theilung der Sporenmutterzelle, *c* die ur sprünglich kugelige Zelle in vier Säcke, von welchen drei sichtbar, eingeschnürt, *d* späteres Stadium, in *e* die Sporen isolirt. *v* Zellstoffverdickung in der Schnürstelle.

Bei den Laubmoosen wird innerhalb der Membran der Mutterzelle jede tetraedrische Tochterzelle von einer eigenen Membran umhüllt, während diejenige der Mutterzelle noch eine Zeitlang erhalten bleibt. Zur Zeit der Sporenreife aber sind die Hüllen der Mutterzellen reforbirt, die Sporen sind ifolirt und füllen als ein Pulver den Sporenraum des Fruchtkörpers aus.

5^o Theilung der Equiseten³⁾, die Specialmutterzelle bleibt erhalten.

Die Theilungen im Sporangium der Equiseten sind analog den früheren bei den Moosen, wenigstens in den wesentlichen Zügen. Die Membran *m* der Tochterzelle aber wird nicht zur definitiven Hülle, sondern der Protoplasmakörper bildet eine zweite Hülle *m'*, Fig. 65 *B*, diese bleibt dauernd. Die erstere *m* aber zerklüftet sich in zierliche Schraubenbänder, welche zur Zeit der Sporenreife in der Zweizahl an je einer Spore festhaften, sich dehnen oder spi-

¹⁾ f. SCHACHT, Bot. Ztg. 1850. Entwicklungsgegeschichte der Frucht von *Anthoceros laevis*. S. 489 ff.

²⁾ HOFMEISTER, vergl. Untersuchungen.

³⁾ SANIO, Botan. Ztg. 57. S. 657 ff.

ralig verkürzen und als Schleuderer (Elateren) die Fortbewegung und Ausbreitung der Sporen unterstützen. Bei den Equiseten bildet sich somit in der Zelle eine zweite durch vollständigen Verbrauch des Plasma, während die Membran der vorhergehenden Generation sich in die dauernden Schraubenbänder zerklüftet. Etwas ganz Analoges bei noch auffälligerer Zerklüftung der Membranen, ja der vorhergehenden Generation kommt bei den niederen Algen (Schizoglamis) vor¹⁾. Es zerreißen die Membranen in zwei halbkugelige Klappen, für die erste Generation ohne Theilung, ebenso für die Theilung in zwei Individuen. Vier Klappen entlassen den Zellen-

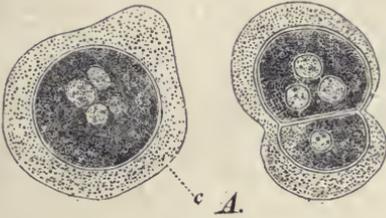
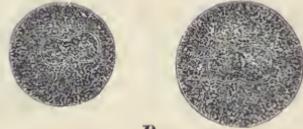
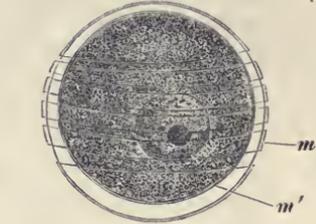


FIG. 65 A. Equisetum hyemale. Mutterzelle mit vier Kernen und Mutterzelle nach der Theilung in zwei Tochterzellen.

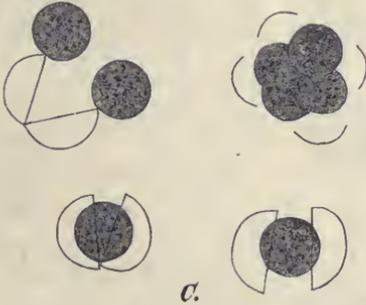
körper nach der zweimaligen Zerklüftung des protoplasmatischen Inhaltes in vier Kugeln, f. Fig. 65 C.

6^o Zerklüftung der Fucuseizelle und Häutung²⁾.



B.

FIG. 65 B. Halbreife Sporen, in m m' differenziren sich die Elateren.



C.

FIG. 65 C. Schizoglamis gelatinosa. Zwei Zellen, welche ihre Zellhaut in zwei Klappen zerreißen. Zwei neue Zellen, welche ebenso die Membran der Mutterzellen zerklüften. Die dritte Generation vier Tochterzellen, die Membran zerfällt in vier Klappen.

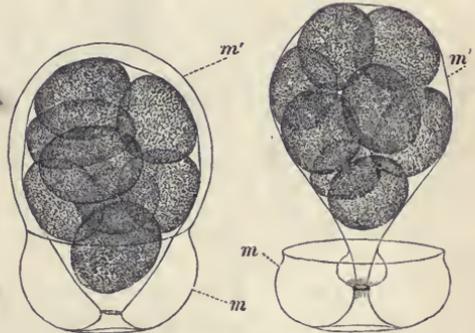


FIG. 66. Fucus vesiculosus. Früheres und späteres Stadium der Häutung des Oosporangium, m die erste, m' die zweite Hülle¹⁾.

Die Gattung Fucus bildet an bestimmten Stellen des Lagers Sporangien, welche an die Oberfläche des vegetativen Körpers durch Quellung

¹⁾ A. BRAUN, Ueber die Erscheinungen der Verjüngung in der Natur. Leipzig 1871. Taf. I. ²⁾ Ann. d. sc. nat. IV. 2.

entlassen werden. In diesen entstehen durch Zelltheilung acht Tochterzellen, Fig. 66. Die Hülle *m* wird gesprengt und eine zweite, selbst dritte Membranlamelle abgestreift, bis endlich die acht Keimzellen als hüllenlose Primordialzellechen frei im Meerwasser fluthen¹⁾.

C. Pollen der Phanerogamen.

1^o Einzelzellen.

Die Einzelpollenzellen entstehen in einem ursprünglich geschlossenen Gewebe der Antheren. Nachdem in demselben eine Reihe vegetativer Theilungen, in welchen die Zahlen der von einer Zelle abgeleiteten Tochterzellen sind: 1, 2, 4, 8, abgeschlossen ist, Fig. *a*, werden die letzten Abkömmlinge zu Pollenmutterzellen. Jede bildet vier Kerne, Fig. 67 *a b c d*.

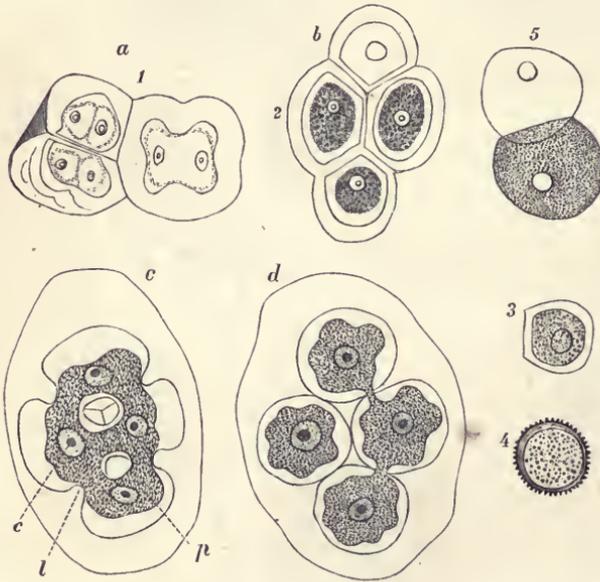


FIG. 67. *Malva rosea*. Pollenmutterzellen mit quellender Membran. *Lavatera*. *a* Pollenmutterzellen. *b* Pollenmutterzelle in vier Specialmutterzellen. 3 solcher Zustand isolirt. 5 leere Special-Membranzellen. 4 reifer Pollen. Bildung der Special-Mutterzellen von *Althæa rosea*. *l* die Zellstoffleisten. *p* die Primordialzellen. *c* Nucleus. Pflanzenphyf. Untersuch. von NÄGELI und CRAMER. I. Heft. Zürich 1855.

Es erfolgt die Zerklüftung des Plasmakörpers durch Membranen *l*, Fig. 67 *c d*, welche allmählig von der Wand nach dem Mittelpunkt der Zelle wachsen und endlich die vier Plasmamassen trennen; in *d* der Fig. 67 sind in den drei rechts in der Figur belegenen Zellen die Protoplasmamassen noch durch zarte Brücken in Verbindung. Die Individualisierung der Pollenkörner ist damit aber noch nicht erreicht. Das Gehäuse, Fig. 67 *c d*, stellt erst die Specialmutterzellen dar. Jeder der vier gefonderten Protoplasmakörper um-

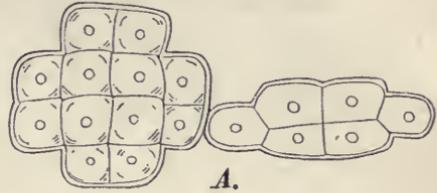
zieht sich nochmals mit einer später in zwei Schichten differenzirten Membran, Fig. 67 3. 4. Das System der Specialmutterzellen wird im Verlauf des Wachstums dieser Pollenzellen reforbirt.

¹⁾ THURET, *rech. sur l. fucac. Ann. d. sc. nat. bot. IV. 2.*

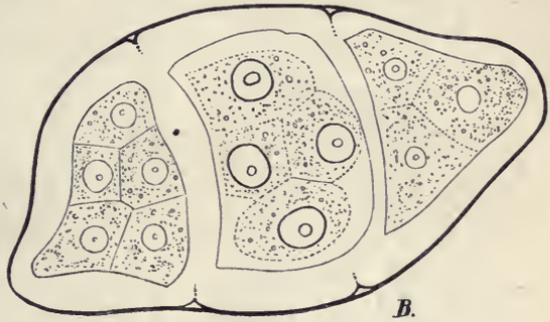
2⁰ Tetraden, Octaden u. f. f. bis Maffula der Asclepiadeen und Orchideen.

Bei den vorherbeschriebenen Theilungen schließt die Entwicklung mit einzelligen ifolirten Propagationszellen, Sporen, Pollenkörnern ab. Bei den vorgenannten Familien werden zuletzt vielzellige ifolirte Gebilde erzeugt.

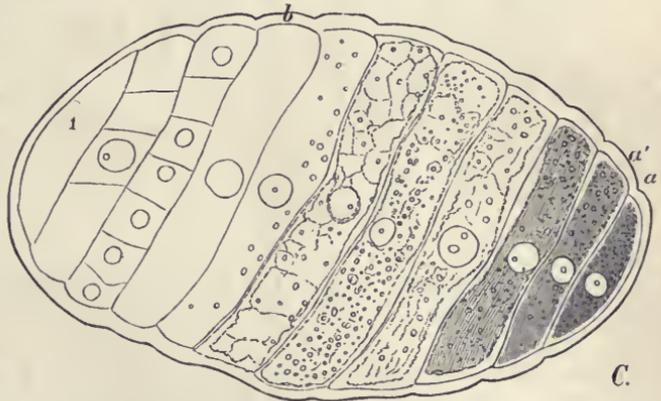
Das Individuum im Blütenstaub der Acacien, Monotropeen, Ericaceen u. a. m. ist mehrzellig. Die 4, 8, 16 Zellen besitzen eine gemeinschaftliche, das ganze System, Fig. 68 A, umhüllende Außenhaut, Exine.



Die Individualifirung der Maffulae in Pollen der Orchideen, Fig. 68 B, geschieht so, daß sich nach einer Reihe von vegetativen Theilungen ein Complex von Tochterzellen mit jener Exine umzieht. In folcher Maffula befinden sich dann 100 und mehr Pollenzellen.



Bei den Asclepiadeen, Fig. 68 C, wird der ganze Inhalt eines Antherenfaches zu einer einzigen Maffula, *b* ist die gemeinsame Lamelle, die vor der Geschlechtsreife, ja schon vor der vollendeten Theilung differenzirte Exine.



Der Querschnitt einer jugendlichen Anthere, welcher in unserer Fig. 68 dargestellt ist, zeigt zunächst an der rechten

FIG. 68. A Pollen der Acacien, von der Fläche und im Durchschnitt gesehen (schematisch). Das Pollenkorn besteht aus 16 Zellen. B Maffula von Phajus Wallichii während der Zelltheilung. C Asclepias fytica. Querschnitt einer Maffula. Die Pollenmutterzellen von *a* bis *b* ungetheilt, bei *1* in der Theilung begriffen.

Seite langgestreckte Mutterzellen, welche sich später so theilen, wie die linke Seite halbschematisch darstellt. Zuletzt besteht die zusammenhängende Pollenmasse aus zahlreichen parallelopedischen Zellen.

D. Vorkeimzellbildung bei den Coniferen.

Die befruchtete Eizelle der Coniferen, namentlich der Taxineen und Abietineen ist ein vorzügliches Studienobject, leicht zu beschaffen und ebenso leicht mikroskopisch zu präpariren.

Das Corpusculum (der secundäre Embryosack der Abietineen, f. Systematik und allgemeine Morphologie) ist ein eiförmiger bis zu zwei mm großer Raum, welcher von einer einzigen Zelle ausgefüllt ist (Fig. 55, 57, 54). In dem einen Pol derselben Fig. 69 *A B* differenzirt sich die befruchtete Eizelle zunächst in den Vorkeim des Embryon. Derselbe ist von Gestalt einer biconvexen Linse, theilt sich durch senkrecht zu einander stehende Wände in vier gleich große Zellen, Fig. 69 *A B*, jede derselben theilt sich gleichsinnig mit den Nachbarn durch Querwände, so daß ein System entsteht, welches 4, 8, 16, 32 Zellen enthält. Bei je einer solchen

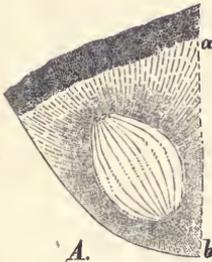


FIG. 69 *A*. *Picea vulgaris*. Theilungszustand im Vorkeim. *a b* Körnerplatte, in der später die Membran auftritt.

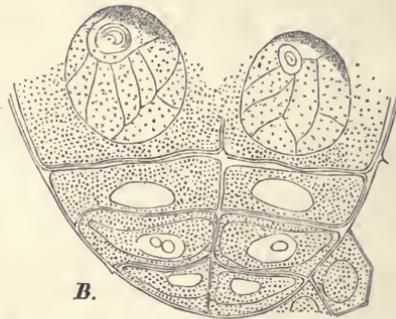


FIG. 69 *B*. *Picea vulgaris*. Theilungen im Vorkeim zu einer Zeit, wo dieser aus 12 Zellen in 3 Etagen besteht (nach STRASSBURGER).

Theilung fließt der Kern in zwei Tochterkerne auseinander, welche durch zahlreiche Körnerreihen mit einander in einen eigenthümlichen Spindelraum verbunden bleiben, Fig. 69 *A*¹).

§ 10. Theilung bei *Ædogonium* und den Diatomeen.

Bei den *Ædogonien* wurde von PRINGSHEIM zuerst eingehender eine Modalität der Theilung studirt, welche auch den Diatomeen in den wesentlichen Zügen eigen und von großem Interesse ist, weil der Vorgang des Zellenwachstums direct unter dem Auge des Beobachters verläuft.

Die erste Cylinderkette der Figur 70 bildet in der ausgezeichneten Zelle einen Ring von plastischer Cellulosemasse, welcher der Innenseite der

¹) STRASSBURGER, Zellbildung. Jena. H. Dabis. 1876.

Cylinderwand anliegt. Zu gleicher Zeit theilt sich der protoplasmatische Zellinhalt in zwei Tochterzellen, durch eine Querwand, Fig. 70 B. Die eine der Zellen (in der Fig. 70 die untere in B) zerreißt ihre Wand mit scharf umschriebenem Ringschnitte, und es entfernen sich die beiden Hälften des Zellenfadens, indem sie die entstehende Lücke in der Cylinderwand mit einem neuen Stücke ausfüllen, welches aus dem Ringe plattischer Cellulosemasse ausgezogen wird. Dieser Vorgang erfordert 20 bis 30 Minuten. Die Zellenkette ist jetzt in den Zustand C, Fig. 70, vorgerückt. Die größere Tochterzelle in B derselben Figur streckt sich nun und verschiebt die Querwand bis in die Nähe der Rifstelle. Das System ist jetzt in das Stadium D

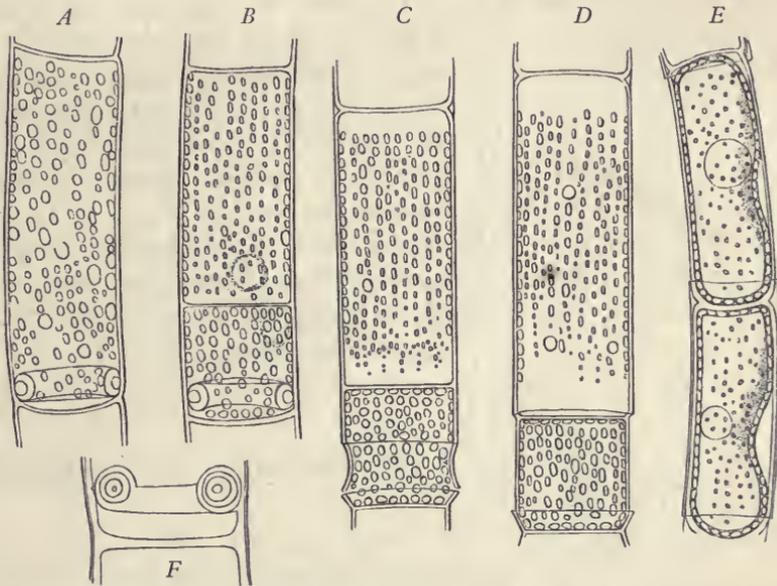


FIG. 70. Oedogonium. A. Die Zelle, welche sich zur Theilung anschickt, hat den Cellulose ring gebildet, f. F bei stärkerer Vergrößerung. B. Die Zelle hat sich getheilt. C. Die Wand ist gerissen, der Ring ist zum Cylinderstck ausgezogen. D. Die Mutterzelle hat sich bis zur Rifstelle gestreckt. E. Zwei Schwärmsporen bildende Zellen. Die obere ist die jüngere. F. Oedogonium tumidulum. Ein fertig gebildeter Cellulose ring (nach STRASSBURGER).

getreten. Die Tochterzelle, welche zuerst austrat und ihre Wand aus dem Cellulose ring bildete, streckt sich und erreicht die Größe ihrer Schwesterzelle. Die Kappe unterhalb der Rifstelle, f. Fig. D, bleibt erhalten als ein kurzer, stärker, verdickter Membranhohlkegel.

Aus dieser Entwicklungsgeschichte geht hervor, daß die Hülle aus zwei Membrancylindern besteht, von welchen der innere an dem äußeren bei dem Uebergang von C nach D vorbeigleitet.

Aehnlich dem Theilungsvorgang bei Oedogonium ist derjenige ein-

1) PRINGSHEIM, Jahrbücher I. 1858. S. 1.

ger Diatomeen, der Melosiren, Pinnularien und der Himanthidien. Die Zellhäute der Diatomeen sind starr und stark mit Kieselsäure infiltrirt.

Die Zelle besteht aus zwei Schalen *a* und *b*, Fig. 71 *A*. Die eine *b* steckt in der anderen *a* wie eine Schachtel im Deckel. Bei der Theilung schieben sich diese beiden auseinander und es differenzieren sich zwei neue Schalenstücke *c*, *d*, welche ursprünglich verwachsen waren. *c* gehört jetzt zu *a*, *d* gehört zu *b*. Das System ist jetzt zweizellig. Der Durchschnit

fenkrecht zur Ebene der Figur ist bei verschiedenen Arten beziehentlich ein Kreis, eine Ellipse, ein Rechteck u. f. f.

Fig. 71 *B* zeigt daselbe System schematisch dargestellt nach der zweiten Theilung. (Ein Fehler in der Zeichnung ist dahin zu ändern: von links nach rechts ist die erste Schale ein Deckel, die zweite eine Schachtel, die dritte muß eine Schachtel fein, ist aber in der Figur als Deckel zur vierten Schale dargestellt. Die vierte Schale muß ein Deckel fein.) [Eingehenderes über diesen Theilungsvorgang im II. Buch, Allgemeine Morphologie § 6. A. 4.]

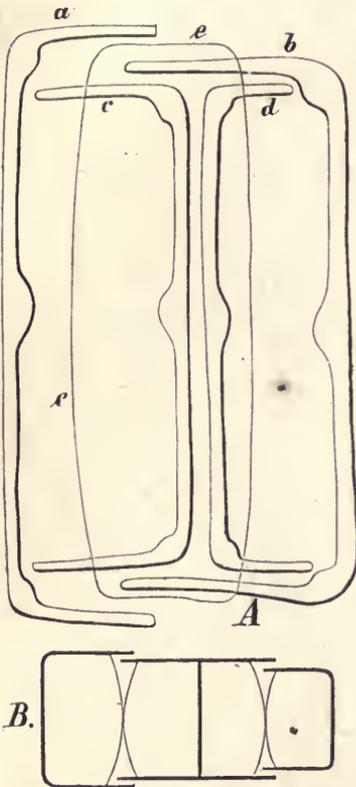


FIG. 71. Schema der Theilung der Diatomeen. *A* *Pinnularia gibba*, EHRENBURG. *a* und *b* alte Zellenschalen eines Individuums. *a* und *c* und *b* und *d* die zu den zwei neu entstandenen Individuen gehörigen Schalen. *e* Zwischenstück. *B* *Melosira varians*. Schema für die zweimalige Theilung.

sphärischen mit den Binnenluftsräumen herstellt. Fig. 73 *E*.

In der Fläche der Epidermis besitzt die Mutterzelle der beiden Schließzellen verschiedene Lagen:

1^o Sie geht als Tochterzelle des ersten Grades aus einer gegebenen Epidermiszelle hervor und zu jeder solchen gehört eine Spaltöffnung.

1) f. § 25 B des Buches.

§ 11. Theilungen in der Epidermis.

Die Epidermis stellt eine Gewebeplatte allseitig dicht an einander schließender Zellen dar, welche schon sehr frühzeitig in der Knospe der Blätter und Zweige gesetzmäßige Theilungen durchmachen. Solche schließen ab mit der Entstehung der Spaltöffnung. Ein System von zwei halbmondförmigen Zellen, zwischen denen ein spaltenförmiger Intercellularraum¹⁾ den Verkehr der atmo-

2° Sie entsteht wie vorher aus bestimmten vereinzelt Epidermiszellen.

3° Der Bildung der Mutterzelle geht ein Cyclus von Theilungen voraus, welcher mit den Spaltzellen abschließt, so in den Fig. 72, 74, welche einen der complicirteren dieser Theilungsvorgänge graphisch darstellen.

In der Fläche Fig. 74 theilt sich jede Epidermiszelle durch zwei fenkrecht zur Ebene der Zeichnung stehende Wände. Es entsteht dadurch eine lincencylindrische Zelle in der Mitte des Complexes. Ein Durchschnitt

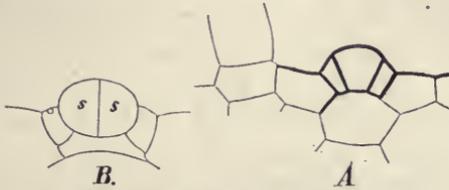


FIG. 72. *Aneimia fraxinifolia*. A Spaltöffnungszellen im Durchschnitt der Epidermis. B ebenso zur Zeit der Anlegung der Schließzellen.



FIG. 74. *Cibotium Schiedei*. Junge Epidermis.

durch einen solchen Complex, Fig. 72 A B, zeigt alsdann in A das System vor der Bildung der Schließzellen. Die mittlere Zelle in A theilt sich durch eine letzte Wand in zwei symmetrisch geordnete Tochterzellen s s, Fig. 72 B. Diese werden zu den Schließzellen¹⁾.

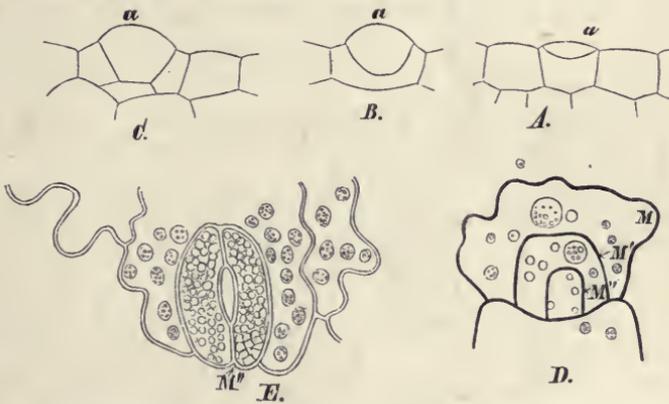


FIG. 73. *Aneimia fraxinifolia* nach HILDEBRANDT: Ueber die Entwicklung der Farrenkrautspaltöffnungen. A die Epidermis im Durchschnitt senkrecht zu ihrer Fläche, theilt eine Zelle in a. B und C spätere Phasen von A. D E *Pteris cretica*. Die Zelle M theilt sich zweimal, M', M''. E. M'' bildet die Schließzellen.

Noch complicirtere Anordnung herrscht bei *Aneimia*, Fig. 73 A bis C. Die Mutterzelle a für die Spaltöffnung wird durch eine gewölbte Wand, welche parallel zu der Oberfläche orientirt ist, abgeschlossen. Sie wächst,

¹⁾ Aehnliche Zellbildung für die Mutterzelle der Schließzellen kommt bei den Crassulaceen vor; f. STRASSBURGER, PRINGSHEIM'S Jahrb. Bd. VII.

wie die späteren Phafen, Fig. 73 *B C*, zeigen, zu einem tonnenförmigen Raume. Die Mutterzelle bildet dann noch zwei Wände, so daß das System vor der Anlegung der Schließzellen dreizellig ist. Bei *Pteris cretica* ist in der Epidermis ein Convolut von Zellen *MM' M''* entstanden, Fig. 73 *D*, in der letzten Zelle *M''* entstehen die Schließzellen. Der Zustand des ausgewachsenen Epidermiselementes ist in Fig. 73 *E* dargestellt.

(Bedeutung der Spaltöffnung f. § 25 *C* dieses Buches.)

§ 12. Theilungen an vegetativen Körpern.

A. Scheitelzellen.

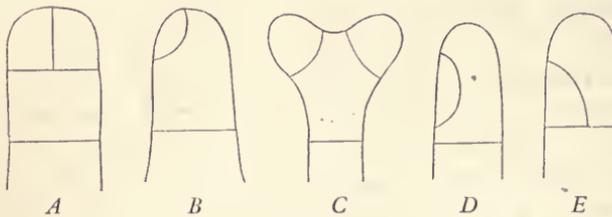


FIG. 74. Nach NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroskop. S. 589.

Alle Wachstumsphänomene in reich gegliederten Pflanzen müssen als Formdemonstrationen der Plasmamassen angesehen werden. Der protoplasmatische Zellinhalt wandert nach den

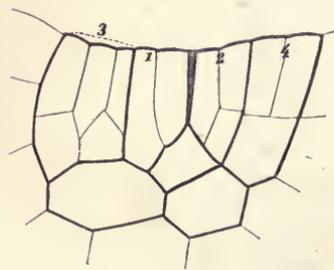


FIG. 75. *Metzgeria furcata*. Scheitelgruppe.

Zuwachsstellen, nach den Knospen, den Scheitelzellen. Der Hohlraum der Zellen wächst in Folge der Ansammlung und des hydrostatischen Druckes der Flüssigkeit auf die Wand und es treten neue Wände nach der Streckung der Mutterzelle auf. In dem Zuwachsorte der höheren Pflanzen kann das plastische Material nicht gebildet worden sein. Es mußte dort hin als nach den Orten des geringsten Widerstandes strömen. Neue Zellen werden überhaupt nur angelegt, weil die Pflanze in diesem Sinne wächst oder gewachsen ist.

Die Theilungen in einfachsten Zellsystemen, wie sie die Fig. 74 darstellt, bilden einen cylindrischen Zellenfaden durch wiederholte Querwandbildung weiter. Die am Scheitel stehende Zelle bildet die Seitenzweige, dieß kann in verschiedener Weise geschehen.

A Fig. 74, sie theilt sich genau in zwei Hälften, jede derselben erhält die Function der Mutterzelle. Damit aber erlischt offenbar deren Verjüngungsvermögen, sie ist bei der Theilung in ihre beiden Descendenten auf-

1) NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroskop. S. 589.

gegangen, die ursprüngliche Wachstumsrichtung geht verloren, wenn beide Zweiganlagen ganz gleich wachsen. Es muß eine ächte Gabelteilung (Dichotomie) entstehen.

B Fig. 74. Die Zweiganlage entsteht als eine Tochterzelle von der Gestalt der kleinen linsenförmigen Zelle. Die Mutterzelle dominirt. Die Hauptwachstumsrichtung bleibt erhalten. Ebenso in *D* und *E*, wo die Zelle, welche dem Zweige Ursprung giebt, mehr und mehr vom absoluten Scheitel entfernt ist.

C Fig. 74. Endlich entstehen zwei gleichwerthige Zweiganlagen, ohne daß die Mutterzelle aufgetheilt wird wie *A*. In *D* und *E* aber entstehen zwei Seitenzweige, so daß der Haupttrieb überhaupt gar nicht beeinflußt wird.

An der Spitze der Stämme erfolgt der Zuwachs überall, zunächst durch Zelltheilung. Je weiter man sich von dem Scheitel entfernt, um so mehr gelangt man in Regionen, wo die Zelltheilung erlischt oder doch nur auf bestimmte Orte beschränkt ist. Die Gestalt der Zellen von absolut unbegrenzter Theilungsfähigkeit *t t* Fig. 76, der Scheitelzellen in Fig. 77 ist abhängig von den Gestaltungsvorgängen, welche sich in ihren Abkömmlingen abspielen.

So theilt sich in Fig. 75 der Scheitel des flächen, an dem jüngsten Orte aus einer einzigen Zellschicht bestehenden Lagers der Metzgerien, indem die Scheitelzelle den Zellencomplex 4, sodann den Complex 3, sodann 2 und endlich 1 bildete; 2 ist eine jüngere Phase von 4 und 3, 1 ist der jüngste Zustand aller. Der Complex 3 hat sich aber so gestaltet, daß wiederum eine Scheitelzelle abgechieden ist, welche gerade so functionirt, wie ihr Ahne neben dem Segmente 1.

Nach HOFMEISTER besitzen die jungen, eben dem Protonema entsprossenden Brutknospen der Moose dreiseitige Scheitelzellen, welche mit der nachträglichen Beblätterung nach $\frac{1}{2}$ Divergenz erst zweischneidig werden. In diesem Falle geht die Knospe aus dem Zustande der Figur 77 *B* nach dem Zustande der Fig. 76 *b* über.

Das Scheitelwachsthum und die Gestalt der Scheitelzelle sind abhängig von den Organen, Blättern, welche die Scheitelregion einschließen. Es ergeben sich hieraus ganz bestimmte Formen. Ist die Stellung der Blätter $\frac{1}{2}$, so ist die geforderte Form eine Linse mit planer Endfläche. Ein sphä-

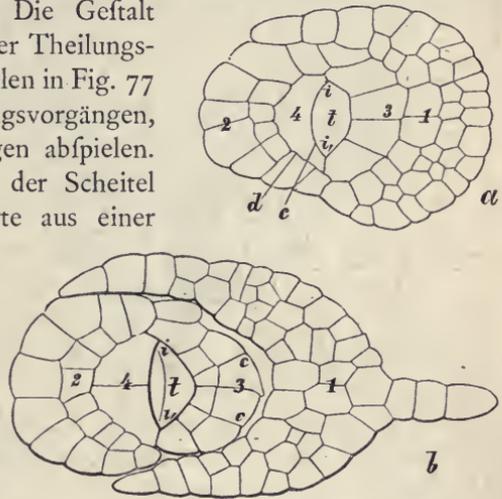


FIG. 76 a, b. Querschnitte der Laubknospe von *Fissidens taxifolius*.

rifches Zweieck, Fig. 76 *a b*, ist die Scheitelfläche. Ist die Stellung $\frac{1}{3}$, so ist die Scheitelfläche genau ein dreiseitiges Dreieck, Fig. 77 *A B*. Ist sie $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{8}$ u. f. f., so ist der Scheitel ein ungleichseitiges Dreieck, Fig. 78.

In den Figuren 76 *a b* sind die auf einander folgenden Blattquerschnitte 1, 2, 3, 4 nach der Divergenz $\frac{1}{2}$ gestellt und es sind alle Theilungen vom jüngsten nach dem ältesten Zustande verzeichnet. Das System ist ein durchaus regelmäßiges. Ein Längsschnitt durch den Scheitel würde die Ansicht der Figur 77 *A* liefern. Man erkennt, daß die wechselnd nach der einen oder andern Seite geneigten Zellenabschnitte der Scheitelzelle *t* verschiedenen Etagen an der beblätterten Pflanze entsprechen.

Sollen diese Etagen nach drei und mehr Richtungen stehen, soll die jüngste Zelle, welche der Ahne aller in einer Etage stehenden Zellen ist, eine Tochterzelle der Scheitelzelle sein, so muß nothwendigerweise diese selbst eine dreiseitige Scheitelfläche besitzen, Fig. 77 *B*, 78.

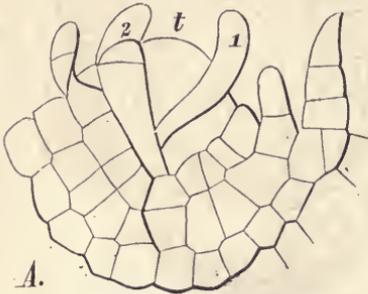


FIG. 77 *A*. *Fontinalis antipyretica*. Längsdurchschnitt der Scheitelregion *t*. Scheitelzelle, vergl. Fig. *B*. 1, 2 die ersten blattbildenden Segmente.

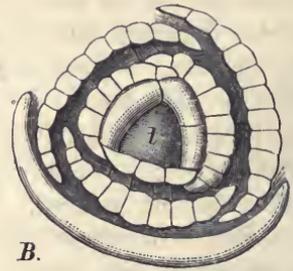


FIG. 77 *B*. Scheitelansicht des vegetativen Stammes von *Fontinalis antipyretica*. Die Scheitelfläche ist ein sphärisch-gleichseitiges Dreieck.

In der Verwandtschaftsreihe der höheren Pflanzen geht die Scheitelzelle mit von den Charen, Florideen durch die Moose bis zu den fäimtlischen höheren Cryptogamen.

1^o Wächst die Pflanze vorzugsweise an der Spitze, so daß alle Nebenorgane rasch ausgebildet werden, so bleibt eine einzige Scheitelzelle als jeweiliger Rest zwischen zwei auf einander folgenden Theilungen: Algen, Moose, Farren, Equiseten, (Coniferen, selten Gramineen).

2^o Wächst die Pflanze, so daß die Streckung langsam erfolgt und die Nebenorgane langsam sich entfalten, so ist der Vegetationspunkt vielzellig und selbst aus complexen Geweben zusammengesetzt, Phanerogamen.

In dem Moosstamm können alle Zellbildungen zurückverfolgt werden bis zu dem einzelligen Segment, 1 Fig. 78, welches soeben von der Scheitelzelle *t* abgetrennt wurde. Die Zahlenreihe 1, 2, 3, 4 gibt die Segmentfolge an. Geht man mit dem rechts verzeichneten Pfeile, so schreitet man von 10 nach 9, nach 8, also vom älteren, beziehentlich unteren Stamm-

theil nach dem jüngeren oberen Stammtheil vor. Geht man mit dem links verzeichneten Pfeil, so durchläuft man den Stamm von dem Scheitel nach dem älteren Theile durch die Segmente 1, 2, 3, 4 u. f. f.

Bei einer und derselben Art der Lebermoose kann, je nach dem Gange des Wachstums, der Scheitel von einer einzigen Zelle beherrscht sein, Fig. 79 A, oder es können viele gleichartig functionirende Zellen denselben einnehmen, Fig. 79 B.

In der Fig. 79 A ist *c* die Scheitelzelle. Das Lager ist zwar an der vorderen Schneide flach, der jüngste Ort aber nicht eingefenkt. In der

Fig. 79 B sind mehrere Scheitelzellen in der Zelltheilung thätig. Die neuen Wände gehen parallel der vorderen Schneide des Lagers, oder parallel mit der idealen Axe desselben. Der jüngste Ort aber ist eingefenkt. — Die Farrenkräuter mögen hier noch als Studienobject gewählt sein. Die Aspidien zeigen eine einzige Scheitelzelle. *a b c A* und *B*, Fig. 80, die Scheitel, *t*, Fig. 80 C, die Durchschnichtsansicht.

Die Theilungsfolge kann

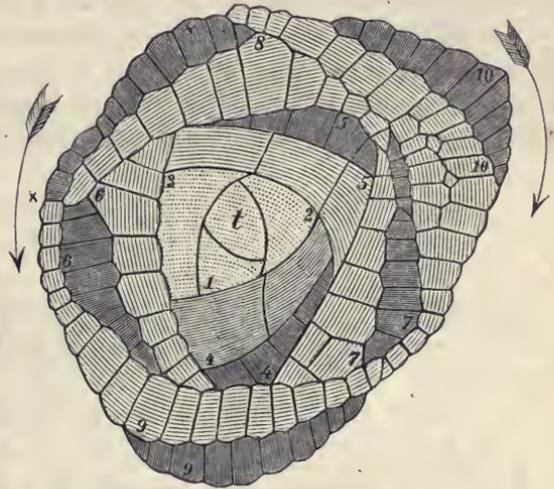


FIG. 78. Polytrichum formosum. Schema eines Querschnittes durch den Scheitel des beblätterten Stammes. *t* Scheitelfläche. 1 2 3 u. f. f. die Infertionsflächen der Blätter.

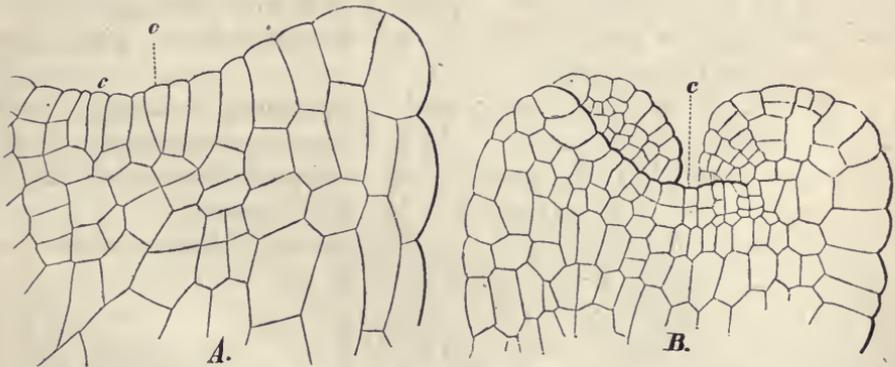


FIG. 79. Vegetationspunkte von Pellia epiphylla. A eine einzige Scheitelzelle *c*. B mehrere Zellen beherrschen den Scheitel des Lagers.

im Längschnitt auf eine kleine Entfernung 1 2 3 4, hier auf die Segmentierung in der Scheitelansicht, Fig. 80 A B, zurückgeführt werden. Ebenso kann

in den Zeichnungen *A* und *B* für zwei bis drei Segmente die Theilung in Zellen höheren Grades verfolgt werden. In weiterer

Entfernung von der Scheitelzelle entstehen rasch und instantan über den ganzen Querschnitt so zahlreiche Zellen durch Wände, welche nach allen Richtungen orientirt sind, daß die Entwicklungsfolge nicht in dem Sinne klar gelegt werden kann, wie in den Figuren 75, 76 und den späteren.

In noch höherem Grade gilt dieß von dem Scheitel der Baumknospen, wie überhaupt der Mehrzahl der Blütenpflanzen. In der sehr

getreuen Abbildung der Scheitelansicht einer solchen Pflanze, Fig. 81, sieht man im Centrum der Scheitelfläche die theilungsfähigen Zellen *c d*. Die Wände, welche normal zur Fläche der Zeichnung stehen, sind nach allen Richtungen in der Ebene orientirt, kaum läßt sich nach außen eine radiale Anordnung erkennen. Die Blattanlage läßt sich nicht bis in den Zustand einer einzigen Zelle verfolgen. Sie erhebt sich als vielzellige Warze¹⁾.

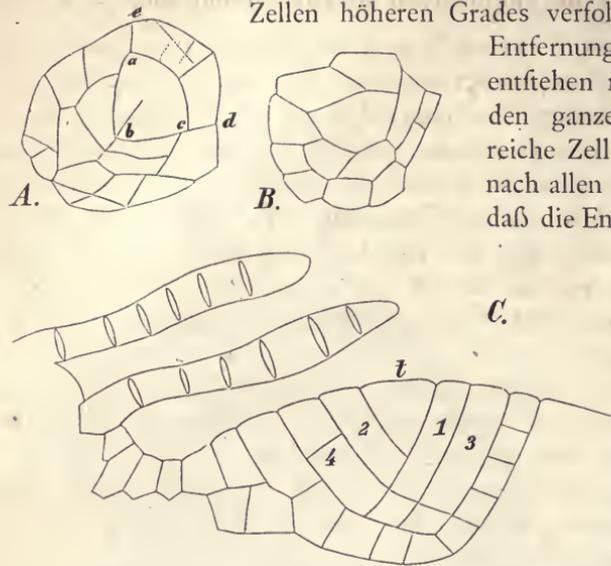


FIG. 80. *Aspidium filix mas.* *A, B* Scheitelzellgruppe nach der Photographie eines Scalp-Präparates. — *A* Scheitelzellgruppe nach einem Photograph. *a b c* die Scheitelzelle. *a c d e* die Gruppe von Zellen, welche auf das jüngste Segment zurückgeführt werden kann. *C* Längsschnitt durch dieselbe Knospe.

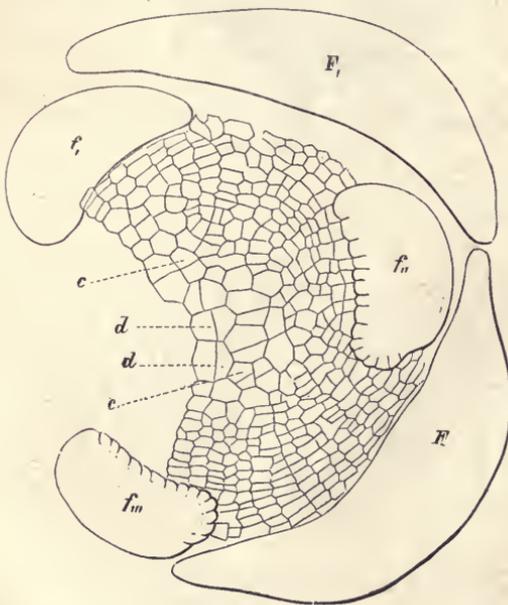


FIG. 81. Scheitelansicht der Knospe von *Fraxinus excelsior*. *f, f'', f'''* die jüngsten Blätter des inneren dreigliederigen Wirtels. *FF*, die Blätter des nächsten Wirtels.

¹⁾ f. Allgemeine Morphologie d. Handbuchs II. 2.

B. Theilungen im vegetativen Gewebe (Cambium).

In allen vegetativen Geweben kann die directe Beobachtung des Theilungsvorganges nicht ausgeführt werden. Aus den Wahrnehmungen an Durchschnitten verschieden alter Gewebe wird die Entwicklungsfolge erschlossen. Nur in der Zuwachschicht, insbesondere der Bäume der holzführenden Pflanzen findet man alle Stadien des allmäligen Uebergangs von der eben entstehenden Zelle bis zu dem fertig differenzirten und ausgewachsenen Zuwachselement. Aus den Durchschnitten nach zwei oder drei Richtungen des Raumes wird die Gestalt und geometrische Lage der fraglichen Zelle combinirt und der Ort ihrer Entstehung festgestellt. Der Aufgaben sind zwei zu lösen.

1° Die eine ist eine morphologische und physiologische, insofern die Vorgänge bei der Theilung im Protoplasma und die Wachsthumsercheinungen in die Dicke der Membranen studirt werden.

2° Die andere ist eine stereometrische oder analytisch-geometrische, insofern der Wachsthumsvorgang und die Lage der Zellen, resp. Gewebe in Raumcoordinaten klar gelegt sein muß.

Der Gegenstand gehört somit zum Theil in die vergleichende Anatomie, zum Theil in die Morphologie.

Allgemeine Züge lassen sich hier nur für die Richtung des Zuwachses angeben und dieß auch nur für die cambiale Thätigkeit.

Denkt man sich eine Linie gelegt, welche mit der Wachstumsrichtung zusammenfällt, so erhalten wir für den Längenzuwachs dieses Schema für die Generationen der bei höheren Pflanzen neu auftretenden Zellen:

← a	o	I	II	III	IV	V
b		2	2	2	2	2
c		4	4	4	4	4
d		8	8	8	8	8
e		16	16	16	16	16
f		32	32	32	32	32
				64	64	
				128.		

Es möge hierin o die jeweilig jüngste Zelle bedeuten, sie liegt im Scheitel der Pflanze oder in dessen Nähe, so hat diese abgetheilt die Zellen I, II in hintereinanderbelegenen Zeitpunkten. Jede dieser Zellen liegt in verschiedenem Niveau, V tiefer wie IV, IV tiefer wie III u. f. f., jede dieser Zellen theilt sich in 2, diese 2 in 4, diese 4 in 8 u. f. f. Wir sehen der Einfachheit halber davon ab, daß einmal ein Descendent der Reihe b die Zweitheilung unterläßt, während sein Altersgenosse dieselbe ausführt,

und erhalten dann für jeden ersten Abkömmling aus der Zelle o eine geometrische Reihe 2, 4, 8, 16, welche für die Längsrichtung begrenzt sein muß, denn offenbar muß einmal ein Zeitpunkt kommen, wo die Descendenten aus V die Theilungsfähigkeit verloren haben. Dieß tritt bei IV später ein wie bei V, bei III später wie bei II u. f. f. Zu gleicher Zeit rückt die Kette V IV III II I o fort nach I-II-III u. f. f., das heißt, es bilden sich stets neue Kettenglieder in die Zukunft, so lange Wachstum erfolgt.

Liegen nun die Descendenten erster Ordnung o I II III u. f. f. nicht allein unter, sondern auch neben einander in einer gewölbten Fläche des Vegetationspunktes Fig. 80, 81, so werden sie diesen je nach der Intensität der Theilung deformiren, hier und da werden Wölbungen auftreten müssen, kleine Hügel, die Anlagen von Blättern und Seitenzweigen. Erfolgt die Theilung eines Descendenten erster Ordnung I II III hauptsächlich durch Querwände, so wird sich der Vegetationshügel steiler gestalten; liegen aber die Descendenten höherer Ordnung in der Reihe 2 4 8 16 zum größeren Theil in einer Querschnittebene, so wird der Hügel flacher und zuletzt gar eingesenkt.

In den ausgewachsenen Zweigen der perennirenden Pflanzen erfolgt das Wachstum im Cambiumringe so, daß nach zwei Seiten Descendenten I. Ordnung abgeschieden werden, eine Zellenkette ist dann räumlich und zeitlich geordnet so zu denken:

. . . . VI V IV III II I o, o I II III IV V,

das heißt, von der alten Zelle im Centrum der Stämme gelangt man zu jüngsten, welche das System in der Richtung VI nach o weiter bilden, jenseits dieser steigert sich wieder das Alter in der Rinde und der Bildungsheerd fällt für Holz und Rinde in o zusammen.



Dritte Abtheilung: Wachstumserrscheinungen der Membran.

Volum und Massenzunahme der Zellwand verlaufen gleichzeitig von dem ersten Auftreten derselben. Der von der Zellwand umschlossene Hohlraum wird größer, weil in der Richtung der Fläche neue Theilchen eingelagert werden. Die Dicke der Wand nimmt zu, weil in normaler Richtung zur Wandfläche neue Theile sich ab- oder einlagern. Wiewohl diese

Vorgänge in der Zeit zusammenfallen, möge, lediglich der leichteren Uebersicht halber, zuerst die Dickenzunahme der Membran betrachtet werden.

§ 13. Dickenwachsthum der Membran¹⁾.

Alle jugendlichen Membranen sind frei oder fast frei von Asche, in hohem Grade quellungsfähig, so daß sie in Wasser ihre Festigkeit verlieren und einer gestaltlosen Gallert zustreben. Erst mit der Zeit wächst die Wanddicke durch Einlagerung von Moleculen der Cellulose, sowie der Aschenbestandtheile. Der einfache Contour der jungen Membran wird doppelt. Sehen wir, wie schon gesagt, von der Volumzunahme ab, so kann die Membran in zwei Richtungen wachsen:

1^o Der äußere Contour wird verschoben, während der innere constante Lage behält: centrifugales Dickenwachsthum.

2^o Der innere Contour wird verschoben, während der äußere eine relativ constante Lage behält. (Man beachte die Figuren 82, 83.)

A. Centrifugale Verschiebung des äusseren Contours.

Bei den Zellen der Epidermis, bei denjenigen vegetativen Zellen, welche an große Intercellularräume grenzen, endlich bei allen später frei werdenden

¹⁾ SCHACHT, *De maculis (Tüpfel) in plantarum vasis cellulisque lignosis avvisis*. 1840. Bonn. Ad. Marcus. — H. v. MOHL, Ueber das Eindringen der Cuticula in die Spaltöffnungen. f. H. v. MOHL, Ueber die Cuticula von *Viscum album*. 593. Bot. Ztg. 49. — H. SCHACHT, Ueber eigenthümliche, bisher noch nicht beobachtete Erscheinungen in den Verdickungsschichten gewisser Holzzellen. 697. 713. Bot. Ztg. 50. — L. DIPPEL, Beiträge zur Lösung der Frage: Kommt der Zellmembran bloß ein Wachsthum von außen nach innen zu, oder besitzt dieselbe zugleich ein solches von innen nach außen? Bot. Ztg. 51. — TH. HARTIG, Ueber die Wirkung verdünnter Schwefelsäure auf die Ablagerungsschichten der Zellwand in deren jugendlichem Zustande. 222. Bot. Ztg. 55. — TH. HARTIG, Bildung der Ablagerungsschichten. Bot. Ztg. 55. S. 185. — TH. HARTIG, Zur Entwicklung der Spiralfaserzelle. Bot. Ztg. 55. S. 201. — TH. HARTIG, Ueber die Querscheidewände der Siebröhren. Bot. Ztg. 55. S. 51. — H. SCHACHT, Ueber die Zellstofffäden in der vorderen Ausfackung des Embryosackes von *Pedicularis sylvatica*. S. 339. PRINGSH. Jahrb. Bd. III. 1863. — A. STUTZER, Die Rohfaser der Gramineen. Braunschweig. Ausbell's Buchdruckerei. 1875. — F. HEGELMAIER, Ueber Bau und Entwicklung einiger Cuticularegebilde. PRINGSH. Jahrb. Bd. IX. S. 286. — TH. HARTIG, Ueber die Entwicklungsfolge und den Bau der Holzfaserwandung. Sitzungsber. d. K. Acad. d. Wissensch. Bd. LXI. I. Abth. Mai 1870. — A. MILLARDET, *Notice pour servir à l'histoire du développement en épaisseur des parois cellulaires*. *Annales des sciences naturelles*. — L. ROSANOFF, Ueber die Krytalldrüsen im Marke von *Kerria japonica* DE CAND. und *Ricinus communis*. 329. (392.)

Pollen- und Sporenzellen, treten locale Erhebungen von Zellstoff, Warzen, Stacheln, Leisten auf, welche bei der Entstehung nicht vorhanden waren, Fig. 82, 83, und es spaltet sich die Membran in zwei optisch und chemisch differente Platten, die Exine und die Intine. Erstere widersteht dem Eingriff der englischen Schwefelsäure, letztere nicht. In den Durchschnitten durch Pollenkörner, Fig. 82, 83, sind örtlich verdünnte Stellen in *A B C* abwechselnd mit dorn- oder kegelförmigen Hautvorsprüngen. Bei dem Kürbis, Fig. 83 *A*, entspricht eine kreisförmige Klappe der Exine *K* einem centripetal örtlich verdickten Wulst *K'*. Die Klappe wird abgestoßen, der Wulst der Intine wächst zum Pollenschlauch aus, Fig. 83 *B*.

Die Epidermis der höheren Pflanzen verhält sich ähnlich, besonders lehrreich sind die ledrigen immergrünen Blätter. Hier differenzieren sich ¹⁾ die Intine *a b c d*, Fig. 84, die Exine, welche in Cuticularschichten *C* und ein dünnes structurloses Häutchen zerfällt, die Cuticula *c*, Fig. 84.

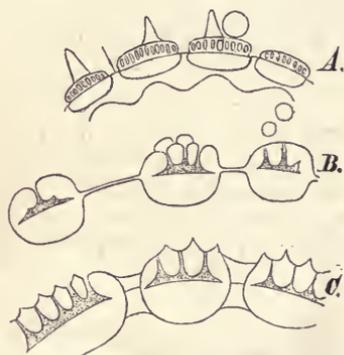


FIG. 82. (SCHACHT über den Bau einiger Pollenkörner. PRINGSH. Jahrb. II. S. 109.)
A. B. C. Durchschnitt der Pollenkörner von: *A* *Lavatera trimestris*. *B* *Nyctago longifolia*. *C* *Nyctago longifolia* in Schwefelsäure ¹⁾.

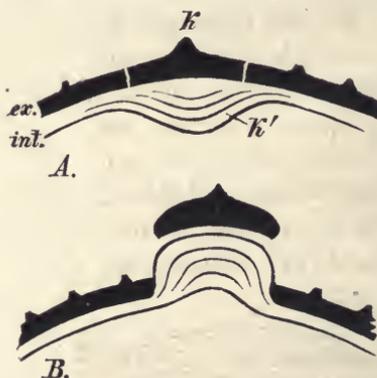


FIG. 83. *Cucurbita Pepo*. Durchschnittspartie durch das Pollenkorn. *ex.* Exine. *int.* Intine. *K* Deckel. *K'* Verdickung der Intine. In *B* treibt soeben die Intine, den Deckel wegschiebend, den Pollenschlauch.

Bei der Mistel zeigte VON MOHL, daß jene Cuticularschichten selbst wieder in Schalen verschiedenen Wassergehaltes (verschiedener Dichte) zerfallen, Fig. 85. In dem Convolut *III* ist einmal die Zelle *I* ein Convolut der nächsten Ordnung, das innere Convolut der Zellen *II* ist nochmals zusammengefasst. Eine Differenzierung, welche später besprochen wird.

Die Cuticularschichten und die Cuticula überziehen die Pflanzentheile als homogene Membranen.

B. Centripetale Verschiebung des inneren Contours.

I. Abrundung des Lumens in centripetaler Richtung.

Zu den bemerkenswerthen allgemeinen Zügen der hier einschlägigen Erscheinungen gehören:

¹⁾ SCHACHT, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen.

1^o In allen vegetativen Geweben verschmelzen bei der Bildung neuer Zellen zwei Lamellen halb flüssig plastischer Substanz zu einer im Beginne homogen erscheinenden, außerordentlich dünnen Membran. Die Zellen sind nach allen Richtungen von Nachbarn umgeben (von der freien Außenfläche ist hier abgesehen). Diese Lamelle ist somit je zwei Zellen gemeinsam zugehörig, wie die Wandmauer zwischen zwei Wohnräumen.

2^o Geht diese Membran aus dem Zustand mit einfachem Contour durch Massenzunahme in denjenigen über, wo sie mit doppeltem Contour erscheint, so kann dieß nur geschehen, indem der innere Contour in centripetaler Richtung nach dem Mittelpunkt des Zellenlumens verschoben wird.

3^o Bei dem Dickenwachstum häuft sich, abgesehen von auffälligeren Strukturverhältnissen, ganz allgemein die Masse vorzugsweise in den Winkeln, Kanten und Ecken, Fig. 86, 87, so daß die planen Wandareale weniger, die

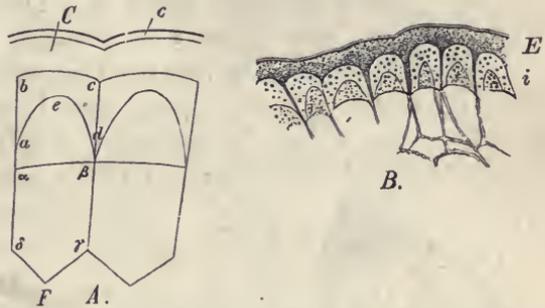


FIG. 84. Durchschnitt durch die Epidermis von *Aloe obliqua*. A schematische Darstellung. B, nach einem Photogramme für A, bedeutet c die Cuticula. C die Cuticularschichten (nach der Bezeichnung von SCHACHT). a b c d die Cellulosemembran, eine meniskenförmige Haut. $\alpha \beta \gamma \delta$ und a e der Hohlraum der Zelle. In B ist E die Exine (zusammengesetzt aus den Cuticularschichten und der Cuticula) und i die Intine.

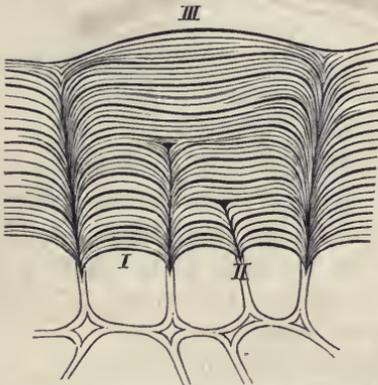


FIG. 85. Cuticularschichten. Man unterscheidet ein allen drei Zellen gemeinsames Convolut III, ein solches für zwei Zellen II und ein solches für eine einzige Zelle I).

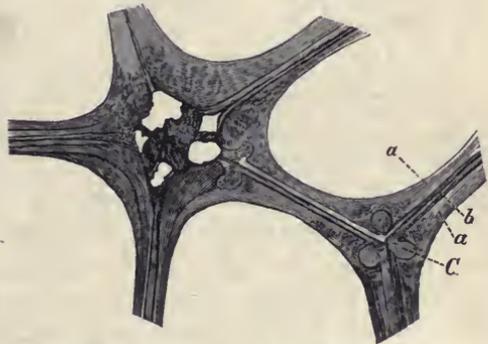


FIG. 86. *Pteris aquilina*. Kleine Partie aus dem Querschnitt des Gefäßbündels des Stammes. Die Membran erscheint in 3 Schichten a a und b, die sogenannte primäre Membran differenzirt. In dem Vereinigungspunkt dreier Zellen liegen drei eigenthümliche stark lichtbrechende Massen C in der Zellwand eingeschlossen, die Reste der durch die Gefäßzellen bei ihrem Heranwachsen comprimierten Nachbarn.

Winkel, Ecken und Kanten mehr verdickt werden. Das Lumen strebt dadurch einem Kreis, einer Ellipse u. s. f. zu. Die scharfen Kanten, Ecken

¹⁾ H. v. MOHL, Ueber die Cuticula von *Viscum album*. Bot. Ztg. 1849. Nr. 33.

und Winkel des Hohlraumes werden ausgeglichen, indem die beiden inneren Contouren nach dem Mittelpunkt der zwei Zellen zu streben, Fig. 87 B.

Diese ungleiche Verdickung findet sich schon in dem jugendlichen Gefäßbündel Fig. 87 B. Auch in den stark quellenden Pollenmutterzellen der Phanerogamen ist die sonst zarte Zellmembran ungleichmäßig verdickt, Fig. 87 A. In den ausgewachsenen Gefäßen von *Pteris*, Fig. 86, ist die Wand differenziert in zwei Platten *b*, beiderseits die nachträgliche Verdickung *a*, in den Kanten *C* finden sich drei, beziehungsweise so viele eigenthümlich stärker lichtbrechende Celluloseauscheidungen, wie Zellen in der Kante vereinigt sind.

II. Ungleiche Wandverdickung¹⁾.

In dem Collenchym, einer Gewebeform unter der Epidermis der Rinde der höheren Gefäßpflanzen, Fig. 88 A, B, ist die Verdickungsmasse nur

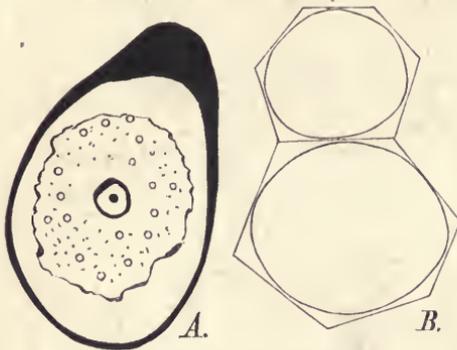


FIG. 87. A *Iris pumila*. Pollenmutterzelle, schematisch.
B junge Gefäße aus dem Gefäßbündel von *Pteris aquilina*,
schematisch.

in den Ecken abgelagert. In den Kernscheiden der Irisarten, Fig. 88 C, werden die in einen Ring gestellten Zellen der Kernscheide nur an den drei Innenseiten verdickt, die Außenseite bleibt unverdickt. Die Schichten brechen an dieser Seite ab. In der Fig. 88 C sind die consecutiven Schichten schematisch dargestellt für einen mittleren Zustand der Verdickung. Sie bestehen aus wechselnd lockerer, wasserreicher und dichter wasserarmer Membransub-

stanz. Im jüngeren Zustande ist die Verdickung schwächer und die Schichten verschiedener Dichte sind noch nicht differenziert. Zu den auffälligsten Verdickungen im vegetativen Gewebe gehören die kegelförmigen Einstülpungen der Wand in dem Chlorophyllgewebe der Pinusnadeln, Fig. 88 D. Dieselben sind hohl, wie in der Figur an der rechten abgefehnitten gezeichneten Zelle dargestellt ist.

III. Zellstoffbalken und in centripetaler Richtung vorspringende Leisten.

1^o An ganz bestimmten Orten treten Leisten oder Warzen in centripetaler Richtung auf, während die größere Fläche relativ wenig verdickt wird.

2^o Oder es differenzieren sich quer durch den Hohlraum ausgespannte Fäden von Cellulose (Zellstoffbalken) aus dem Protoplasma. *Caulerpa*. Fig. 89.

¹⁾ Studienobjecte: Collenchym, eine Gewebeart, welche durch ihre Verdickungen kenntlich wird in der primären Rinde der krautartigen Phanerogamenpflanzen. Kernscheide: die Kernscheide der Monocotylenwurzel, insbesondere der Irideen, Smilaceen, Gramineen.

3° Solche Fäden bilden ein vielverzweigtes Netzwerk, welches einem eben solchen, vorher bestehenden Stromsystem von Protoplasmafäden entspricht.

4° Die vorspringenden Leisten oder Stacheln sind Einstülpungen der Membran und in der Mitte ausgehöhlt bei den Mesophyllzellen der Kiefernadeln. Fig. 88 *D*.

A. Zellstoffbalken der *Caulerpa*¹⁾.

Die Structur dieses interessanten Studienobjectes zeigt im Wesentlichen diese Züge: Die cylindrische Membran ist in zwei optisch und der Dichte nach verschiedene Lamellen differenzirt. Eine äußere dünnere *e* und eine innere dickere, *i*, beide sind geschichtet. Von der äußeren entspringen cylindrische Zellstofffäden, welche in der Fig. 89 zum Theil

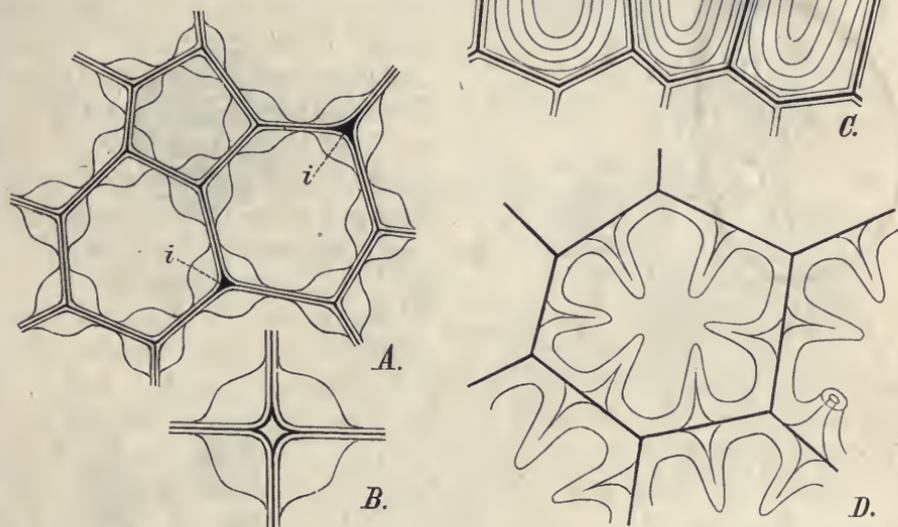


FIG. 88. *A* Querschnitt durch das Collenchym im Stamme von *Canna indica*. *ii* die Intercellularen. *B* die Verdickung in einer Kante, in welcher vier Zellen sich berühren, stärker vergrößert. *C* *Iris pumila*. Querschnittsparthe aus der Wurzelkernscheide. *D* Zellen aus dem Chlorophyllgewebe der *Pinus Laricio*.

quergechnitten sind bei *a*. Die Schichten solcher Fäden stehen mit den zahlreichen Schichten der Intine *i*, Fig. 89, nicht in Verbindung, so daß diese von dem Faden unterbrochen werden. Der Faden durchsetzt mit feiner geringeren Schichtenzahl das Convolut der Wandschichten so, wie ein Trockenast der Fichte die Jahreslagen des Stammes durchsetzt.

¹⁾ Zellstoffbalken und Leisten: *Caulerpa*, Stammzelle. *Veronica* und *Pedicularis* im Endosperm. Wurzelhaare der *Riccien* und *Marchantieen*.

B. Cystolithe [Steinkammern]¹⁾.

In zerstreut zwischen und unter den Epidermiszellen belegenen größeren Zellen der Urticaceen, *Ficus*, *Parietaria*, *Pilea* entstehen örtliche Zellstoffverdickungen. Gleichzeitig lagert sich kohlenfaurer Kalk zwischen die Membranlamellen derselben ab. Der Kalk krystallifirt in größeren Krytallen, so daß dieselben traubenförmige Ausfüllungen über den äußeren

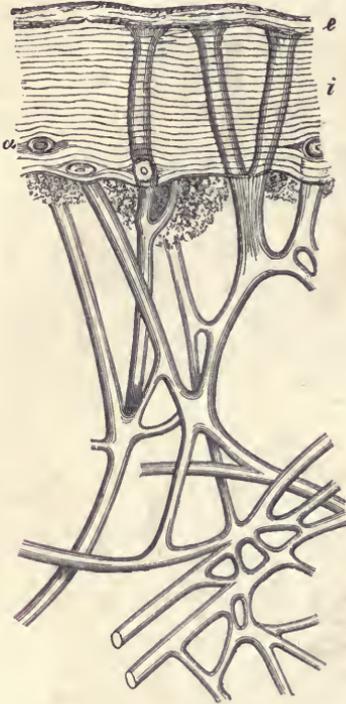
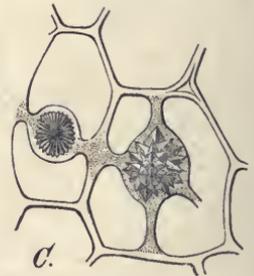
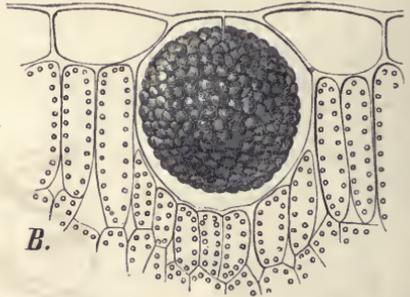
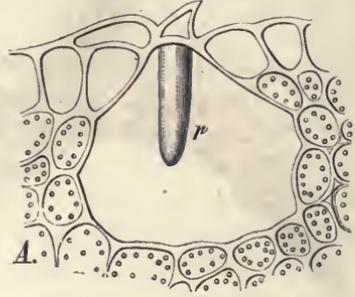


Fig. 89. (SCHACHT über Zellstoffäden. PRINGSHEIM's Jahrb. Bd. III. S. 339.) *Caulerpa prolifera*. Querschnittsparthie der Stammzelle.



Contour der Cystolithe treiben, Fig. 90 A, B. Bei der Behandlung der Durchschnitte mit verdünnten Säuren wird das

Kalksalz zersetzt, die Kohlenfäure entweicht in am Mikroskop sichtbaren Gasblasen. Der Cystolith sinkt merklich zusammen und zeigt nach der Entfernung der Krytalle eine deutliche concentrische Schichtung in Schalen verschiedener Dichte. Das Schichtenystem ist auch in radialer Richtung in gleichem Sinne differenzirt. (Eine genauere Darstellung dieser Structur findet sich in den botan. Wandtafeln von KNY.)

Fig. 90. Cystolithe von kohlenfaurem Kalk aus dem Blatte von A *Ficus montana*, B *Parietaria* nach A. WEDDELL, C Zellstoffäden mit Drüsen von oxalfauerm Kalk in dem Marke der *Kerria japonica*, nach ROSANOFF.

¹⁾ Cystolithe wurden zuerst von MEYEN 1827 entdeckt, sodann PAYEN. *Ann. d. sc. nat.* 1854. M. et A. WEDDELL, *sur les cystolithes*.

Von noch auffälligerer Form find die Cytolith von *Pilea*, Fig. 91. Sie stellen im Querschnitte des Blattes, Fig. 91 *A*, Hufeisen oder fichel-förmige Wucherungen dar mit dichter Einlagerung der mikroskopischen

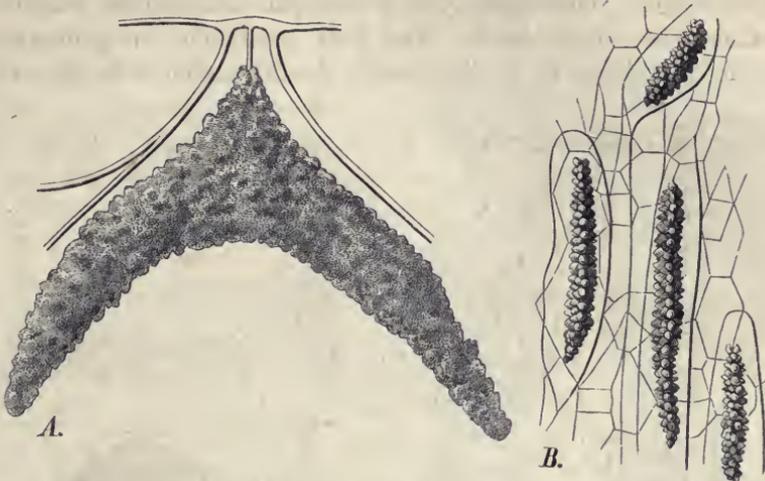


FIG. 91. *A* Cytolith im Blatte einer *Pilea* (*densiflora*). *B* *Pilea decora*. Tangentialschnitt durch das Blatt.

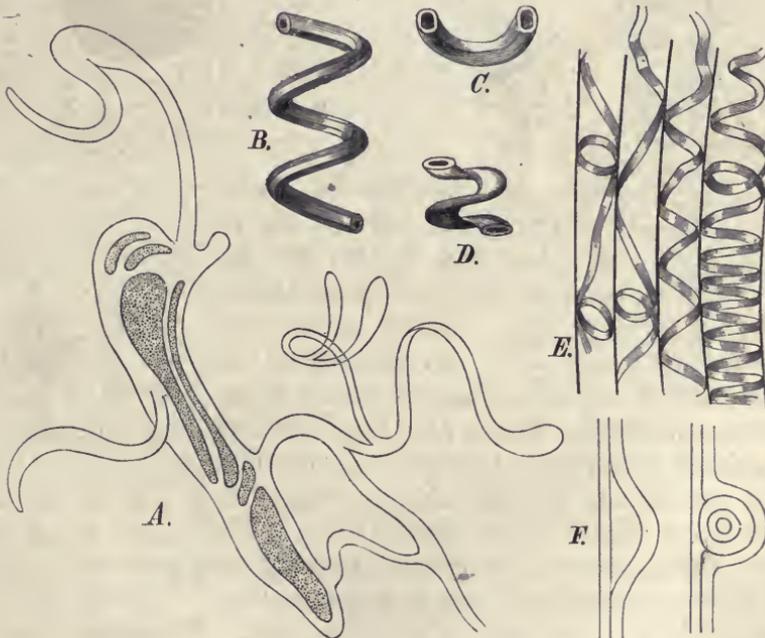


FIG. 92. *A* *Equisetum hyemale*. Abnorme Ausbildung der Elateren. SANTO. Bot. Zig. 57. S. 657 ff. *B* Schraubenband von *Mammillaria dolichocentra*. *C* Parthie eines Schraubenbandes von *Echinocactus* Courantii. *E* Spiralzellen aus der fogenannten Kernscheide des Holzes der *Abietineae*. *F* optischer Durchschnitt eines Schraubenbandes.

Kryftällchen. Im tangentialen Durchschnit erscheinen sie, Fig. 91 *B*, als Kryftallfpindeln.

ROSANOFF fand in dem Marke der *Kerria japonica*, Fig. 90 *C*, Zellstoffäden, welche von einer zur anderen Wand quer durch den Zellraum ausgefpannt find. In örtlichen Verdickungen lagern sich hier Kryftalle von oxalsaurem Kalke ab, in der Weife, daß die Prismen alle um einen Punkt radial geordnet erscheinen. Die in dem Sphäroïd belegenden Kryftallflächen find wie in einer Kryftalldrufe nicht ausgebildet, und nur die Pyramidenflächen, welche über der äußeren Begrenzung des morgenfternförmigen Kryftallcomplexes hervorragen, find mehr oder weniger normal ausgebildet.

IV. Centripetale Verdickung, Schrauben und Ringe!).

Man kann diese Verdickungen vielleicht fo definiren: der größere Theil der Zellenwand bleibt verhältnißmäßig weniger verdickt, während an bestimmt umfchriebenen, ring- oder schraubenförmig geordneten Stellen die Verdickung eintritt. Ein Theil dieser Gebilde wird sehr wahrſcheinlich auf Faltungen der



FIG. 94. Querscheidewände im vegetativen Faden der Conjugaten.

FIG. 93. Ringzellen von *Mamillaria quadrispina* 2).

jungen plattischen Membran zurückgeführt werden können. Das Spiralband Fig. 92 *A* aber ſtammt nach der Entwicklungsgefchichte der Equisetenſporen aus der kugeliſchen Hülle der Specialmutterzelle (ſ. SANIO a. a. O. und oben S. 57).

Bei den Conjugaten iſt die Querwand in einer und derſelben Art, ja in einem und demſelben Faden in der verſchiedenſten Weife gegliedert. In *a*, Fig. 94, find von beiden Zellen her trichterförmige Vertiefungen und eine ringförmige Stelle der Verdünnung. In *b* iſt die Wand nach der einen Seite meniskenförmig mit zahlreichen Schichten. In *c* iſt die ſogenannte primäre Wand plan mit zwei Zellſtoffringen, die im Innern weniger lichtbrechend (hohl?) find. In *d* und *e* ragen mehrfach gefchichtete Kapfen in das Lumen des angrenzenden Zellgliedes.

1) Studienmaterial: Holzkörper der Laubbäume. Markſcheide der Coniferen. Holz von *Taxus baccata*. Wurzelrinde der tropiſchen Orchideen (*Epidendron* u. a. m.). —

2) TRÉCUL, *form. ſec. d. l. cell. végét. Ann. d. ſc.* 1854.

V. Porenkanäle ¹⁾.

An bestimmten kreis- oder spaltenförmigen Orten unterbleibt die Verdickung, während sie in den größeren Theil der Membranfläche vorschreitet; es entstehen cylindrische, linencylindrische oder conische einfache oder verzweigte Porendurchgänge, welche mit ihrer Längsaxe senkrecht zur Membranfläche orientirt sind und, wenn sie von einem zum Nachbarzellenraum zusammentreffen, im Beginn durch die primäre Membran getrennt sind. Fig. 98.

A. Der einfache Porus.

Das vegetabilische Elfenbein (das Endosperm von *Phytelephas makrocarpa*) zeigt die Zellen außerordentlich stark verdickt. Von dem Lumen der Zelle gehen schmale cylindrische Kanäle nach der primären Membran, wo sie umbiegen und blind endigen, Fig. 95. Die Porenkanäle stellen somit eine Communication zwischen den zwei Zellen nicht her. Die schraffierte Wand unserer Zeichnung, Fig. 95 rechts, ist von gleichmäßiger Dichte und außerordentlich stark lichtbrechend. Man erkennt am Mikroskop soeben noch die primäre Membran, welche oben rechts in einer Kante auf den Membranplatten von vier anderen Nachbarzellen zusammentrifft. Die einfachen Poren communiciren dadurch, daß die primäre Membranplatte endlich resorbirt wird, so in dem Holz der Laubbäume, in dem Mark und zahlreichen anderen Gewebeformen.

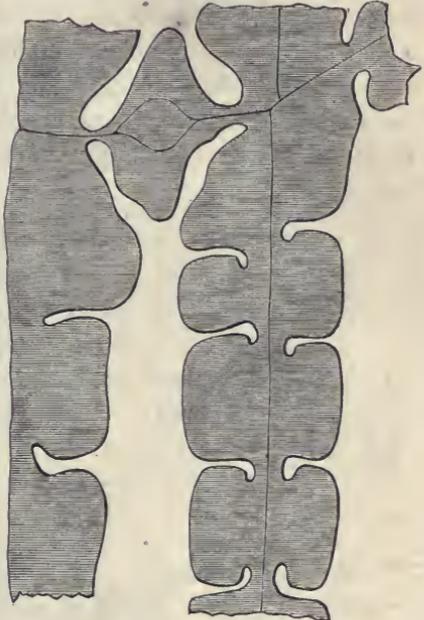
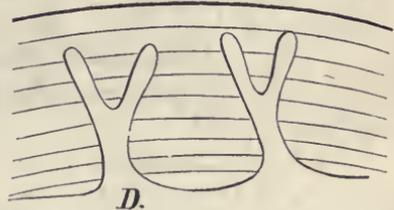
Fig. 95. *Phytelephas makrocarpa*.

Fig. 96. Verzweigte Poren aus dem Endosperm der Arecapalme.

B. Der verzweigte Porus.

In dem Endosperm anderer Palmen, z. B. der *Areca artens*, unterbleibt die Verdickung an mehreren Stellen, im Verlaufe des Dickenwachs-

¹⁾ Studienmaterial: die Nadel- und Laubbölzer, *Cassytha filiformis* der Stamm, *Cinchona* Baftzelle, Paranaß die Schale, Endosperm von *Phytelephas makrocarpa* und viele hornartige Endosperme der Monocotylen Siebröhren der Rinde, insbesondere der Rinde älterer Ulmen.

thums werden die entstehenden cylindrischen Poren so angelegt, daß sie convergiren und sich schließlich in einen einzigen Porenangang vereinigen. Fig. 96. Um diesen Vorgang zu verstehen, muß man beachten, daß der innere Contour nur in centripetaler Richtung vorrücken kann und daß in bestimmter Phase des Dickenwachsthum an Stelle des verzweigten Porus *D*, Fig. 96, in der That zwei convergente Porencylinder vorhanden waren.

C. Der Nadelholz-Tüpfel (behöftete Poren).

Die Flächenansicht der radial gestellten Zellwand im Holze der Coniferen zeigt eine Reihe größerer Kreise, Fig. 98 links. In jedem der Kreise befinden sich ein bis zwei kleinere concentrische Kreise. Der Durchschnitt senkrecht auf diese Ebene zeigt diese behöfteten Poren, Tüpfel, als Linfenräume, in welche von beiden Seiten zwei kleine cylindrische Poren einmünden.

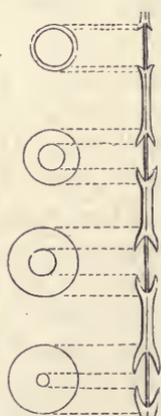
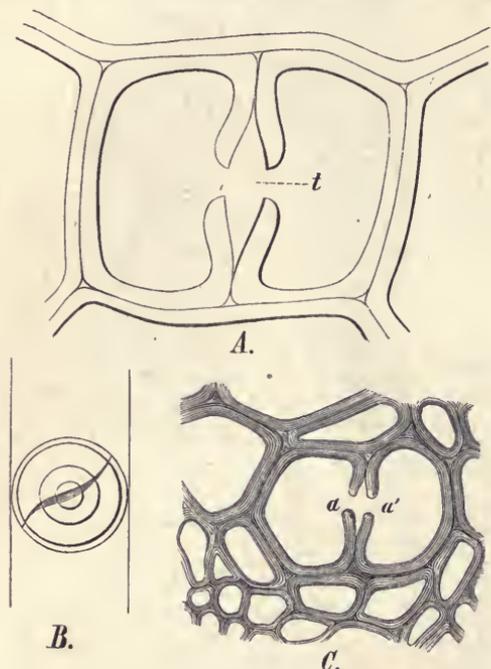


FIG. 98. Entwicklung des Nadelholztüpfels, links die Flächen, rechts die Durchschnittsansicht der Wand.

Dieselbe Ansicht muß selbstredend im Querschnitt durch die Holz-zelle gewonnen werden. Fig. 97 *A C*. Die Entwicklungsgeschichte der Nadelholztüpfel wird durch die Fig. 98 klar. Die im Durchschnitt gezeichnete Wand rechts zeigt vier Tüpfel in ver-

schiedener Phase der Entwicklung, oben den jüngeren, unten den älteren Zustand. Es geht hieraus hervor, daß in der gegebenen Wand die Verdickung von einer kreisförmig umschriebenen Stelle unterbleibt. Der innere Contour rückt beiderseits, man vergleiche die Querschnitte Fig. 97 *A C*, in centripetaler Richtung vor, verengt aber allmählig jene kreisförmige Stelle. Die Projection der consecutiven Linfenräume auf die dazu senkrechte Ebene der Flächenansicht muß daher eine Verschiebung des inneren Kreisumfangs ergeben. Hierbei wird dieser verengt, bis die endliche

Weite der zwei Porengänge erreicht ist¹⁾. Bei diesem, durch den Vergleich der Kreis- und Durchschnitansichten in Fig. 98 veranschaulichten Wachsthumsvorgang müssen die endlich entstehenden engeren Poren nicht immer Cylindergehalt erhalten, die Verengung kann auch mit der Bildung eines Spaltes, Fig. 97 *B*, abschließen. Solche Spalten laufen parallel mit den Schichtendurchgängen der Areolen des Membranelements (f. § 14).

Die allmähliche Verengung des Porendurchganges, beziehentlich die Erweiterung wiederholen sich in einer und derselben Membran bei den Cycaeden. Bei *Caryota urens*, Fig. 99 *AC*, ist in *C* der Querschnitt einiger Holzzellen dargestellt. Die Poren sind bald weiter, bald enger bei, im Allgemeinen, radialem Verlauf.

In *A* ist der Durchschnitt eines Porus mit dreimaliger Verengung, beziehentlich Erweiterung feines lichten Raumes. An einigen Orten in *C* finden sich tangentialgestreckte Lücken, hier unterblieb die Verdickung, dann trat sie für daselbe Element wieder ein. So entstanden Porengänge, welche in der Längsrichtung (man sehe Fig. 99 *B*) die Membran in schraubenliniger Richtung unterbrechen. Diese Lücken aber führen nicht zu einer Communication zwischen zwei Zellen. In einer und derselben Membranplatte können diese der *Caryota* eigenthümlichen Porengänge in zwei verschiedenen, hintereinander belegenen Ebenen im Sinne einer rechts und einer links gewundenen Schraube angeordnet sein.

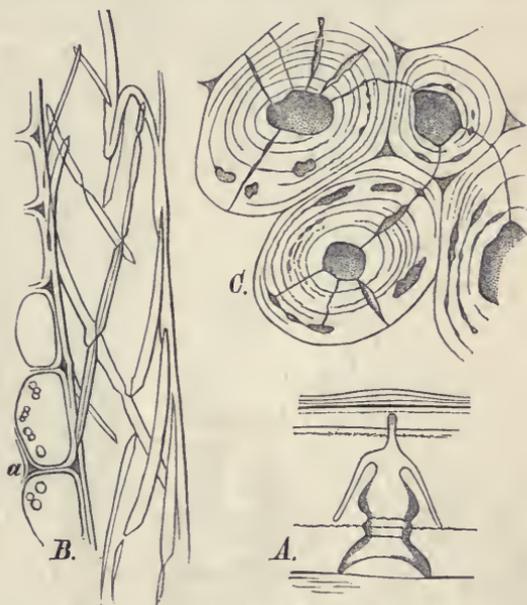


FIG. 99. *A* *Caryota urens*. Membranelement mit erweiterten und verengten Poren. *B* *Hernandia fonora*. Holzzelle mit schraubenlinig geordneten Spaltenporen. *C* *Caryota urens*. Querschnittsparthie der Holzzellen²⁾.

D. Schraubenlinige Poren.

In der steinharten Samenschale der *Bertholletia* kommen ähnliche, aber noch viel verwickelter gebaute Poren vor. Ein cylindrischer oder in

¹⁾ DR. TH. HARTIG, Ueber die Schließhaut des Nadelholz-Tüpfels. 293. Bot. Ztg. 63.

²⁾ SCHACHT, Bot. Ztg. 1850. Ueber eigenthümliche u. f. f. Erscheinungen in den Verdickungsschichten der Holzzelle. — MILLARDET über die spiralgigen Poren in der Samenschale der *Bertholletia*. *Ann. sc. IV.* 34.

Mäandern verlaufender Porengang kann nochmals von spiralg oder schraubenlinig gewundenen Poren in abenteuerlicher Weise umkreist sein.

E. Leiterförmige Gefäßquerwände.

Die Querwände der Gefäße und Tracheiden sind durchbrochen durch einen Porus, Fig. 100 *B C E*, welcher in gleichem Sinne im Wesen der Sache zuerst als eine schwächer verdickte Stelle auftritt, oder es entstehen

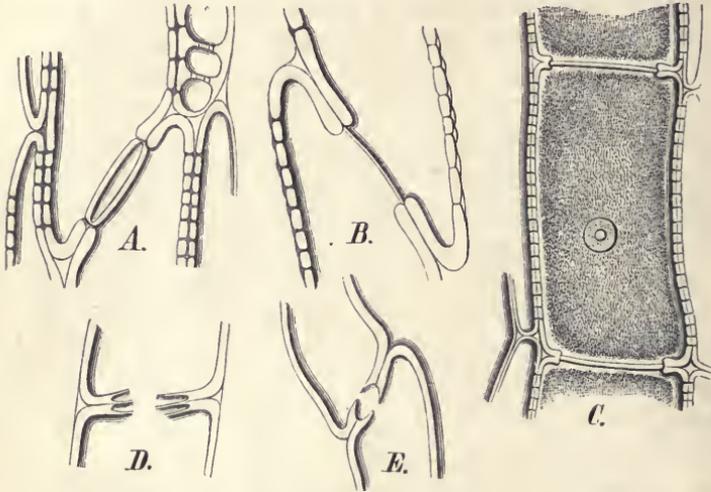


FIG. 100. Gefäßquerwände *A, B, C* im optischen Durchschnitt. *C* Gefäßzelle¹⁾.

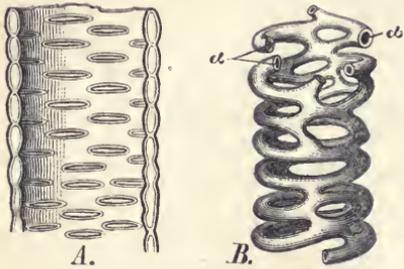


FIG. 101. Echinocactus Brogniartii. Gefäßparthieen. In *A* optischer Durchschnitt der Membran. *B* Netzwerk der Verdickung. In α hohl dargestellte Zellstoffbalken²⁾.

zahlreiche, durch leiter sproffenartig geordnete Verdickungsstellen getrennte Spaltenporen, so bei *Alnus*, *Corylus* u. a. m.

Die Längswände der Gefäßelemente sind in gleicher und für die Art mehr oder weniger constanter Weise ungleich verdickt in Schrauben, Ringen, Treppen, Poren oder, wie Fig. 101 demonstrieren, noch in netzförmig geordneten Bänder systemen, in welchen Linien oder kreisförmige Unterbrechungen mit verzweigten

Zellstoffäden abwechseln.

F. Siebporen.

In der Rinde der dicotylen Bäume und im Cambiforum der krautartigen Gewächse befinden sich cylindrische, in continuirlichen Ketten über-

¹⁾ DIPPEL, Botan. Ztg. 60.

²⁾ TRÉCUL, *Ann. de sc. nat.* IV. 20. S. 273.

einander geordnete Zellen, welche der Translocation der Nährkörper dienen, die Leitzellen. Die Querwände derselben sind durchbrochen mit zahlreichen Poren, Fig. 102 C. Die Längswand des Cylinders ist zunächst bedeckt mit fensterartig verdünnten Arealen, welche durch leistenförmige Stellen örtlich stärkerer Verdickung getrennt sind. Die Fenster sind nochmals durch außerordentlich feine und entsprechend der Dünne der Fensterwand kurze Porengänge durchbohrt oder verdünnt.

Diese Siebporen werden am besten in der älteren Rinde erwachsener Ulmen studirt. Die feinen Poren in der Längswand sind wahrscheinlich nicht wirkliche Durchbrechungen, sondern bloß nochmalige Verdünnungen der an sich schon sehr feinen Membranlamelle des Fensters.

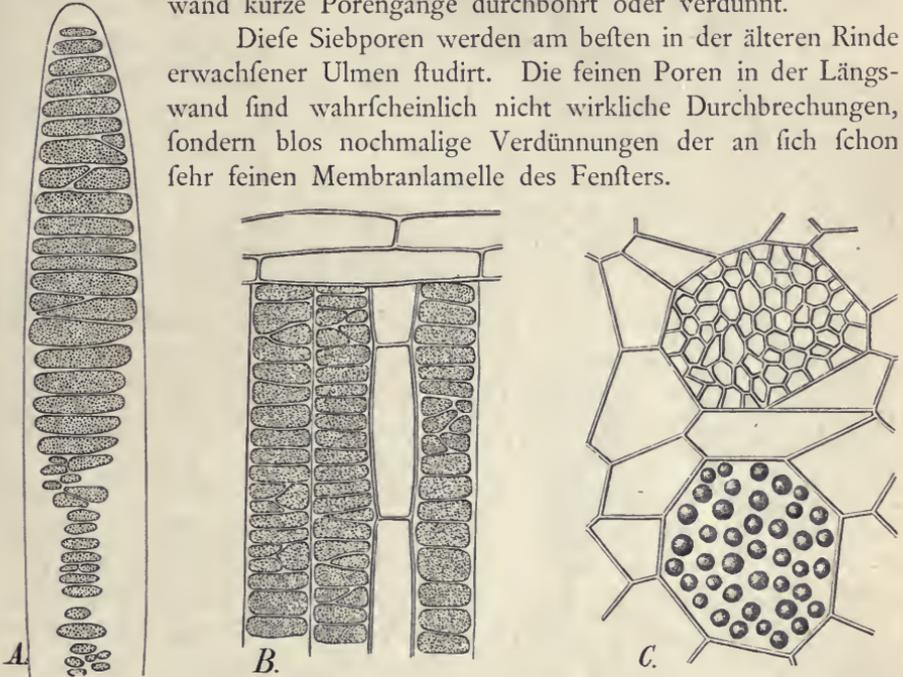


FIG. 102. A Cucurbita Pepo. Querwände der Leitzellen nach v. MOHL. B Flächenansicht der Wand einer Siebröhre aus der Ulmenrinde [H. v. MOHL]¹⁾. C Pyrus communis. Rindenpartie mit Siebröhren im Querschnitt nach v. MOHL.

Für die Poren der Querwände aber, welche die Communication capillarer Flüssigkeitsäulen in der Längsrichtung vermitteln, ist der Nachweis geliefert, daß sie wirklichen Durchbrechungen der Membranplatte entsprechen. Fig. 102 C.

VI. Combination aus IV und V.

Schraubenverdickung und Poren in derselben Membranfläche.

In einer und derselben Lamelle der Gefäße oder Tracheiden kommt die örtliche Verdickung in Schrauben- oder Leistenform vor, während die weniger verdickten, zwischen den Schraubenbändern belegenen Membranflächen behöft Tüpfel führen, z. B. bei der Linde. Der Vorgang der

¹⁾ VON MOHL, Botan. Ztg. 1855. S. 373 ff.

Entstehung kann nur so gedacht werden: die Membran wächst in die Dicke einmal und zuerst im Sinne der Kiefernholzzelle; wenig später, nachdem die von Poren durchsetzten Membranelemente differenziert sind, unterbleibt das Dickenwachsthum an allen Stellen, mit Ausnahme derjenigen, wo später die Schraubenbänder differenziert erscheinen.

VII. Intercellularsubstanz und sogenannte primäre Membran.

In den Geweben der Gefäßbündel in dem Holzkörper der Bäume u. a. m., überall da, wo die Zellwand stark verdickt ist, differenziert sich später da, wo die ursprüngliche Membran vorhanden, eine Lamelle, welche mit doppeltem, oft selbst mit dreifachem Contour gefehen wird. In letzterem Falle erscheint sie wieder aus zwei Platten, die sich im mittleren Contour berühren, zusammengesetzt. In den Kanten findet sich eine örtliche Verdickung, welche als Intercellularsubstanz angesprochen wurde, als ein Zellenkitt, der, einem Secrete ähnlich, die Membran in centrifugaler Richtung durchsetzte, draußen abgechieden die Zellen verklebte.

Bei der Behandlung solcher Gewebe mit englischer Schwefelsäure lösen sich die Verdickungsschichten. Ein Netzwerk, bestehend aus jenen Membranlamellen und der supponirten Intercellularsubstanz, bleibt ungelöst.

Gegen das Vorhandensein eines solchen Secretes spricht nach § 7 und § 8, 9 die Entwicklungsgeschichte der vegetativen Gewebe. Nach dieser handelt es sich offenbar gar nicht darum, vorher isolirte Zellen in Verband zu bringen, zu verkleben. Die zwei Tochterzellen, welche aus einer vegetativen Cambiumzelle etwa entstehen, sind schon mit dem Auftreten einer im Beginn homogenen Scheidewand verbunden. Die Scheidewand erst trennt und individualisirt die Protoplasmakörper der beiden Zellen. Sie gehört, wie aus der Betrachtung jedes Zellenetzes am Mikroskop hervorgeht, den beiden Zellen, welche sie von einander trennt, gleichmäßig an. Erst im weiteren Verlaufe des Wachsthums differenziert sie sich in zwei Lamellen, so daß sie mit dreifachem Contour gefehen wird.

§ 14. Schichtung und Streifung der Membran¹⁾.

In dem Querschnitt stark verdickter Zellen erscheinen die Verdickungen der Wand als concentrische Schalenconvolute. Die Wand ist nicht homogen, wie die Wand einer Glasröhre, sondern es verhalten sich die

¹⁾ NÄGELI, Pflanzenphysiolog. Unterf. Heft II. Das Stärkemehl.

aufeinander folgenden Schalen wie dichtere und weniger dichte Cylinderquerchnitte. Die dichteren zeigen eine bläulich weiße, die weniger dichten eine blaß rosafarthe Interferenzfarbe¹⁾.

Zufuhr von Wasser zu solchen Objecten vergrößert die Anzahl dieser wechselnden Schichten. Wafferentziehung verringert Anzahl und Ausdehnung derselben.

Auch in der Längsfläche (Baftzelle der Vinca, Holzzelle der Abietineen) differenzirt sich die Membran in Flächen-, resp. Raumelemente verschiedenen Wassergehalts, die Arcolen. Es bedeutet dieß: in jeder Membran dieser Art bestehen Raumelemente verschiedener Quellungs-fähigkeit und demgemäß verschiedener Dichte.

Im Winterholz der Kiefer und Fichte, Fig. 102 *A*, sind die Bänder der wechselnd dichteren und weniger dichten Membransubstanz breiter und von ungleicher und größerer Dicke. Im Sommerholz, Fig. 103 *B*, hingegen sind sie schmaler und von gleichmäßiger Dicke. Wie schon oben bemerkt, fallen die Längsdurchmesser der Spaltenporen mit der Richtung der Bänder zusammen.

-Aehnlich den Durchgängen der Spaltungsflächen im Kryftall, aber jedenfalls von ganz anderer molecularer Bedeutung, können in einem Raumelemente der Membran Schichten verschiedener Dichte sich kreuzen. Nennen wir *d* einen dichten, langfamer quellenden, *l* einen weniger dichten, rascher quellenden solchen Streifen, so sind bei einmaliger Kreuzung, Fig. 103, in der Ebene der Membranplatte die folgenden Combinationen möglich:

l l die Areole mit der geringsten Anzahl fester Molecule,

d l » » mit der mittleren » » » ,

d d » » mit der größten Anzahl » » .

Beachtet man aber, daß auch parallel der optischen Axe der so beobachteten Membran Schichten *d*, *l* abwechseln, so erhalten wir vier verschiedene Areolen:

lll dll dll ddd

als die Combinationen zwischen *d* und *l* zu drei Raumdimefsionen, ohne Wiederholung; dahin gehört z. B. die Vinca-Baftzelle²⁾.

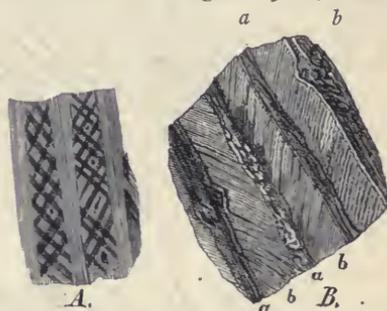


FIG. 103. *A* Winterholz der Tanne im Längsschnitt. Die Holzzellmembran ist von gekreuzten Tüpfeln durchbrochen. *B* Sommerholz der Tanne im Querschnitt. Die Membran ist gestreift.

1) Studienmaterial: Winterholz der Abietineen und Cupressineen, Baftzelle von Vinca Apocynum, Cinchona Baftzelle, Stengelhaare der Cacteen.

2) Bei der ungemein geringen Ausdehnung solcher Lamellen aber könnte es immer-

Wenn ein PRESSLER'scher Zuwachsbohrer unter dem Drucke der Muskelkraft parallel der Faferaxe in das Holz eines Baumstammes im Winter eindringt, so kann man die Wirkung des Druckes auf eine 3—4 Centimeter dicke Schale um den Bohrer direct wahrnehmen. Um den Bohrer bildet sich eine Compressionschale, welche heller, in einiger Entfernung bildet sich eine Schale, welche dunkler gefärbt erscheint, die erstere ist wasserärmer, die letztere ist wasserreicher.

Aehnliche Schalen wasserreicherer und wasserärmerer Masse finden sich in der Membran der Einzelzelle vieler Pflanzen, vor allen ist ein bequemes Studienobject die Stammzelle der Caulerpen. Im trockenen Zustande ist bekanntlich die Anzahl der Schalen kleiner, wie im nassen. (Man vergleiche Fig. 105 *a* mit *b* und *c*.) Dieses höchst merkwürdige Quellungsphänomen

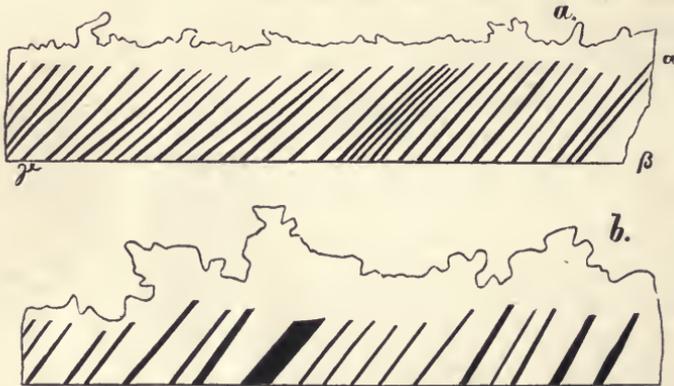


FIG. 104. *a* kleine Parthie eines Rasirmessers, welches auf einem feinen Stein geschliffen war. Die angeschliffene Keilfläche zeigt die Spuren des Steinkornes in Streifen, welche parallel laufen. Die Distanzen dieser sind dieselben, wie die der Messerspuren in Fig. 105 *a* *b*. *b* Daselbe Messer wurde später auf einem grobkörnigen Stein geschliffen, feine Streifen mit den Streifen in Fig. 105 *c* verglichen. Die Aufnahme der Maaße geschah bei beiden mit 1160:1 Vergr. Die Figuren wurden photographisch auf $\frac{1}{3}$ verkleinert.

zeigt, daß auch scheinbar starre Massen, wie die Cellulosegebilde in ihren Massenelementen in hohem Grade plastisch sind.

Die Kiefernholzzelle zeigt, wie oben S. 85 angegeben, zwei Streifensysteme, welche sich kreuzen. Die Phänomene der Interferenz, welche sich in den Areolen geltend machen, können künstlich an der Caulerpazelle nachgemacht werden. Wer sich bemüht hat, äußerst dünne Schnitte durch trockene pflanzliche Gewebe herzustellen, dem sind bei der genauen Musterrung des Messers und der Schnittfläche drei Phänomene aufgefallen:

hin noch fein, daß es sich hier um zwei verschiedene Tangential-Lamellen der Membran handelt, welche hintereinander liegen. Stellt man die sich kreuzenden Streifen des Kiefernholzes auf eine Jod Silberplatte mikrophotographisch ein, so erhält man stets ein Band- oder Streifensystem, deutlicher wie die scheinbar gekreuzten.

1^o Die Schnitte rollen sich in dem Maaße auf, wie sie durch das Messer von der Masse losgelöst werden, so daß die dem Messer zugekehrte Seite die convexe wird. Dieß rührt daher, daß in der elastischen Masse, in welcher das Messer die Cohäsion zerstörte, die beiden Flächen, welche den mikroskopischen Schnitt begrenzen, ungleichen Zugkräften unterlagen. Zur Zeit, wo die obere, in Bezug auf die zu durchschneidende Masse äußere Fläche mit dem Messer in Berührung war, war sie desßwegen weniger gezerrt, weil sie mit der ganzen Masse in Verbindung stand. Die untere Fläche aber, durch welche die Scheibe soeben losgelöst wird, ist einmal die Begrenzungsfläche der stärker gezerrten Scheibe, sodann aber die äußere Fläche des nächsten Abschnittes.

In Bezug auf die Schneide des Messers, welche soeben die Continuität aufhebt, können wir sagen: zwei Theilchen über dem Messer werden bei dem Schneiden über ihre Elasticitätsgrenze gezerrt, zwei Theilchen unter dem Messer nicht. Desßwegen krümmt sich der mikroskopische Schnitt nach der Messerseite convex. Wären beide durch das Messer hergestellte Theile gleich dick, so müßten bei entsprechender Dicke beide Theile in Bezug auf das Messer symmetrisch gekrümmt erscheinen.

2^o Neue Rasirmesser, welche polirt und äußerst scharf aus der (DITTMAR'schen) Fabrik kommen, sind für die Herstellung dünnster Schnitte weniger geeignet, wie später, wo sie viele Male auf dem Stein abgezogen wurden. Der Stein schleift an einen spitzeren Keil einen stumpferen an. Die Figur 104 *a b* zeigt die Schneide des letzteren, *a* auf einem feinen, *b* auf einem groben Stein abgezogen. (Vergrößerung 1160:1, mit dem Bildmikroskop aufgenommen.) Die Schneide zeigt eine große Anzahl äußerst unregelmäßiger Sägezähne, welche zuweilen so dünn sind, daß sie wie andere dünnste Metallplättchen das Licht durchlassen. Das Schneiden ist somit auch bei der Herstellung mikroskopisch dünnster Schnitte ein Sägen. Das Messer wird stumpf, auch wenn es nur benutzt wurde, um weiche, saftige, ja selbst pastöse Objecte zu zerschneiden, weil die fein-

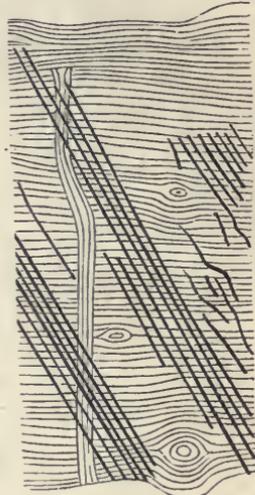
*a**b**c*

FIG. 105. Querschnittsparthieen aus der Cylinderwand der Caulerpa. *a* in Wasser. *b* und *c* trocken. Alle bei 1160:1 aufgenommen und auf $\frac{1}{3}$ verkleinert. In *a* sind die Messerspuren erweitert. In *b* sind sie wie die Schichten zusammengezogen. In *a b* wurde das Messer Fig. 44 *a*, in *c* wurde das Messer Fig. 44 *b* zur Herstellung der Streifen benutzt.

ften Zähne abbrechen. Die Keilfläche in der Nähe der Schneide des Messers ist in Berge und Thäler zerrissen, es sind die Spuren der Körner des Schleifsteines.

3^o Alle härteren Objecte, welche mit dem Rasirmeffer in mikroskopisch dünne Schnitte zerlegt wurden, zeigen in der Fläche des Schnittes die Spuren des Messers in breiteren oder schmälereu Streifen. Da der mikroskopische Schnitt, wie oben erwähnt, von zwei Flächen ungleicher Elasticität eingeschlossen ist, da mithin die kleinsten Theilchen in der oberen anderen Anziehungskräften folgen, wie in der unteren, so sollte man glauben, die Messerspurcn müßten nur in der oberen oder mindestens in der oberen stärker sein, wie in der unteren. Dieß ist nicht der Fall; schneidet man so, daß die Normalen zu der Schneide für die beiden den mikroskopischen Abschnitt einschließenden Schnittflächen zu einander senkrecht stehen, so findet man bei der mikroskopischen Abmusterung zwei sich kreuzende Systeme von Streifen, das eine auf der Oberseite, das andere auf der Unterseite.

§ 15. Physikalische Eigenschaften der Pflanzenmembran.

A. Quellung jugendlicher Membranen¹⁾.

Soeben entstehende Eizellen der Phanerogamen schwellen im Wasser an, die jugendliche Membran quillt, besitzt aber in einer peripheren Schicht schon einige Spannung; bei einer gewissen Volumzunahme platzt sie plötzlich und läßt den Inhalt zu einer gefaltlosen Masse ausfließen. Die Quellung ganz junger vegetativer Zellen ist fast unbegrenzt, Fig. 106.

B. Unbegrenzte Quellung in ausgewachsenen Zellen²⁾.

Im Laufe der Ernährungsvorgänge werden ganze Gewebe verflüssigt und verbraucht, die Pollenmutterzellen, die Gewebe des Embryosackes, die Wurzelspitze u. a. m.

Ein ansehnliches Studienobject in dieser Beziehung ist die Pollenzelle der *Maranta biflora*, Fig. 107. Die Zelle quillt in Wasser, so daß die

¹⁾ Studienmaterial für Quellungsphänomene: Thallus der Flechten und Algen, Paraphysen von *Diphyscium*, quellende Samenschalen: *Salvia horminum*, *Plantago*, *Colomia*, *Ruellia*, *Sinapis* u. a. Cruciferen.

²⁾ H. v. MOHL, Untersuchungen über die Entstehungsweise des Traganthgummi. 33. Bot. Ztg. 65. — A. B. FRANK, Ueber die anatomische Bedeutung und die Entstehung der vegetabilischen Schleime. 1867. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. 1866—67. S. 161. — WILHELM KIRCHNER, Untersuchungen über den Pflanzenschleim. Inaug.-Dissert. d. Univerf. Göttingen 1876. — WIEGAND, Entstehung des Kirschgummi. PRINGSH. Jahrb. III. S. 115.

dichteren, an Volum zunehmend, sich wellenförmig beugen. Die lockeren Kugelschalen *ll*, Fig. 107, werden geradezu verflüssigt.

C. Begrenzte Quellung wachsender und ausgewachsener Membranen¹⁾.

Die wachsenden Membranen, welche in bestimmter Entfernung von ihrem Bildungsheerde liegen, besitzen lange, ehe sie durch ausgewachsene Nachbarn in Schranken gehalten werden und selbst ausgewachsen sind,

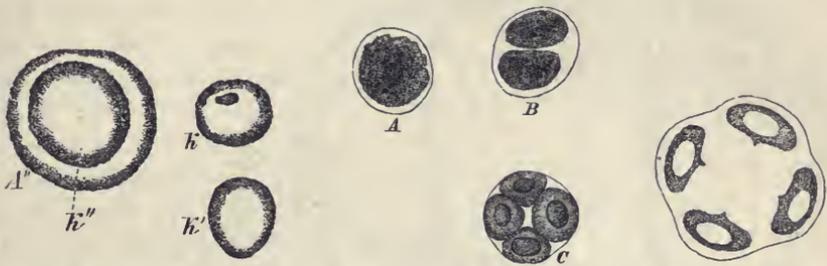


FIG. 106. Ptilothum triquetrum. Lycopodiaceen. Zelltheilung der Sporenmutterzellen. *A B C* verschiedene Theilungszustände. *K K'* isolirte Zellkerne. *K''* Zellkern in der Zelle eingeschlossen. In *A B C* liegen die Zellen in Glycerin, in *A'* liegt die Zelle in Wasser.

Ptilothum triquetrum. Diefelbe Zelle wie Fig. 106 C, aber im Wasser.

eine größere Quellungsfähigkeit. Die Quellunggröße ist aber bereits in verschiedenen Richtungen ungleich. Offenbar befinden sich solche Häute in einem Zustande, der in keinem anorganen Gebilde ähnlicher Beschaffenheit in irgend einem Sinne hergestellt werden kann. Sie nehmen in der nächsten Zeit nach ihrer Entstehung feste oder flüssige Theile auf und ihr Volum vergrößert sich. Sie besitzen somit Anziehungskräfte spezifischer Natur, sowohl in Bezug auf die Masse, wie auch auf die Richtung, in welcher sie solche einlagern.

Mit dem Heranwachsen jugendlicher Membranen nimmt ihr Wassergehalt in gleichem Volum ab. Im Beginn ist derselbe außerordentlich groß, zuletzt verhältnißmäßig klein.

Um das Verhältniß der Wassermenge zur festen Substanz zu bestimmen, wurden die vier jüngsten, mikroskopisch wahrnehmbaren Blätter von dem Vegetationspunkt des Sempervivum tectorum frei präparirt, naß gemessen, im Exsiccator getrocknet und nochmals gemessen. *1* ist das jüngste, *4* ist das älteste der vier Blätter.

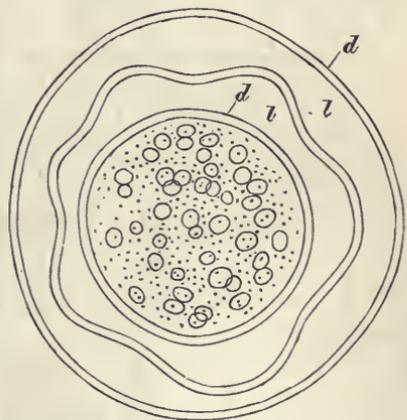


FIG. 107. Quellende Pollenzellen von Maranta biflora. *d* die dichten, *l* die lockeren Schalen.

¹⁾ Botan. Unterf. von Dr. N. J. C. MÜLLER. Heidelberg. C. Winter. I. Bd. S. 125.

In 1	schrumpften	20	Längeneinheiten	auf	5,
» 2	»	45	»	»	25,
» 3	»	85	»	»	64,
» 4	»	145	»	»	124.

Die trockene Masse ist somit im jüngsten Blatte, wenn wir annehmen, sie würde bei der Wiederbenetzung auch das ursprüngliche Volum wieder einnehmen, von 100 auf 400 Längeneinheiten gequollen. Im Blatte 4 aber würden unter denselben Voraussetzungen 100 nur auf 112,9 Längeneinheiten quellen. In der ausgewachsenen Membran der Laubblätter ergibt sich für *Allium rotundum* die procentische Quellung aus dem trockenen in den nassen Zustand:

der Länge	0,152 %,
der Breite	1,587 %.

Es herrscht somit auch bei der ausgewachsenen Epidermis eine minimale Quellung in Richtung der Blattaxe, während dieselbe in der Quer- richtung sehr merklich ist.

Dieselben Messungen, welche an vier mikroskopisch kleinen Blättern ausgeführt wurden, konnte ich an vier eben deutlich sichtbaren Blättern vornehmen. Die Epidermen dieser vier Blätter wurden in die Breite und Länge gemessen, auch wurde die Anzahl der Zellen nach beiden Richtungen bestimmt.

	5		6		7		8	
	naß.	trckn.	naß.	trckn.	naß.	trckn.	naß.	trckn.
Länge.	187	171	301	292	861	835	1093	1050
	7,00 %		3,08 %		3,11 %		4,08 %	
Breite.	363	363	453	365	457	450	722	680
	0 %		24,11 %		1,55 %		6,17 %	
Anzahl der Zellenbreite.	18		14,5		15		17	
Anzahl der Zellenlänge.	10		11		25		34	

Bildgröße von 0,5 mm = 185 mm.

Die procentische Flächenzunahme durch das Wasser berechnet sich hieraus zu:

Länge:	7 %,	3,08 %,	3,11 %,	4,08 %.
Breite:	0 %,	24,11 %,	1,55 %,	6,17 %.

Zu Messungen über die Quellung in cylindrischen Zellen eignet sich in erster Linie die Stammzelle der Caulerpen. Die Zelle quillt am stärksten

in radialer Richtung, sodann kommt die Axenrichtung, am schwächsten ist die tangentiale. Fig. 108.

Zu Studien über das Quellen und Schrumpfen am ganzen Baume wurde die Fichte gewählt. Es ist bekannt, daß, wenn das nasse Stammholz austrocknet, radial gestellte Risse entstehen, während die Cohäsion nach allen anderen Richtungen so groß ist, daß die Continuität erhalten bleibt. Daraus geht hervor, daß das Holz in tangentialer Richtung etwas stärker quillt, wie in radialer.

Bringt man an der nassen Querschnittscheibe einen radialen Sägeschnitt mit der Laubfäge an, welcher sich von der Peripherie bis ins Mark erstreckt, so entsteht statt der zahlreichen radialen Spalten ein einziger großer keilförmiger Spalt. Fig. 109.

Die Quellungsaxen für ein Raumelement des Holzes wird man leicht und bequem messen können, wenn man die Ab- und Zunahme der Flächen in einem Holzquerschnitt und in einem Längsschnitt mißt, bei der Wasserzufuhr und dem Austrocknen.

Ich benutzte mikroskopisch dünne Schnitte aus dem Holz der Fichte, um solche Messungen auszuführen.

Ein quadratisches Plättchen, dessen Seiten mit der Richtung der Markstrahlen und den Tangenten der Jahrringe zusammenfielen, wurde für den Querschnitt, ein rechteckiges Plättchen, dessen Seiten von

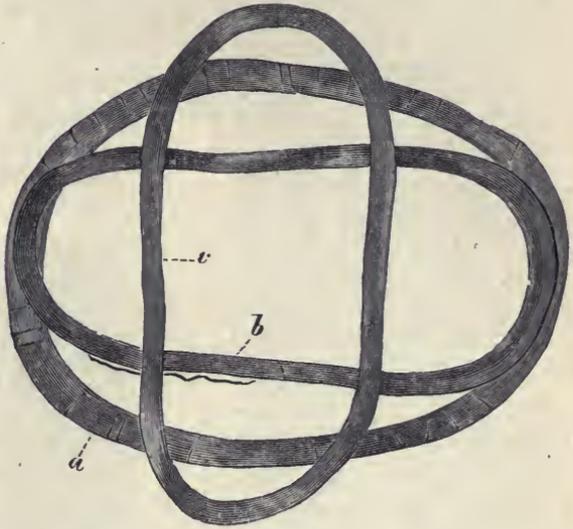


FIG. 108. Querschnitt der Caulerpazelle. *a* in Wasser, *b* in Canada-balsam, *c* trocken. Bei 108:1 in objectiver Weise aufgenommen und auf $\frac{1}{3}$ verkleinert.

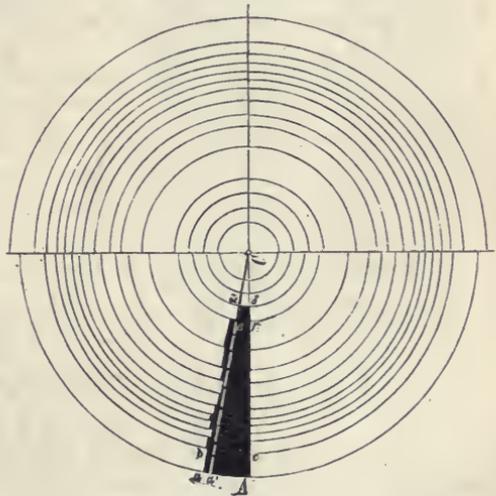


FIG. 109. Ein 67jähriger Fichtenstamm, auf seine Grundfläche projectirt in $\frac{1}{4}$ nat. Größe. In 15 Cylinderabschnitten ist derselbe zerlegt, welche als concentrische Kreise im trockenen und nassen Zustande ausgemessen wurden.

der Faferaxe begrenzt sind, für den Radiallängsschnitt angewendet; für das letztere kam nur Sommerholz in Betracht.

Die Plättchen wurden so lange im Ca-Cl-Exsiccator getrocknet, bis das Volum sich nicht mehr verkleinerte; sodann gemessen und in Wasser liegend durch mehrere Tage hindurch wiederholt gemessen, bis keine Volumzunahme mehr eintrat.

Die Bildgröße eines halben Millimeters war bei derselben Vergrößerung 184 mm, die Vergrößerung mithin eine 368fache.

	Anfang trocken.	Ende naß.
Radiale Richtung . . .	190,5 mm,	203 mm,
Tangent- »	326,0 »	338 »
Längs- »	945 »	952,5 » .

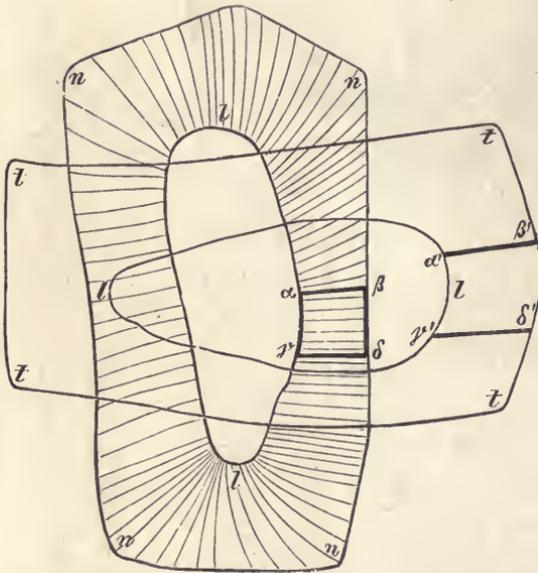


FIG. 110. Querschnitt einer Winterholzelle der Fichte bei 2192facher Vergrößerung gemessen und auf $\frac{1}{3}$ verkleinert, t trocken, n naß.

den Zerrung oder den Molecularkräften der Adhäsion und Cohäsion. Da alle vegetativen Gewebe in diesem Sinne beeinflusst sind durch ihre eigene Gestalt und durch die Nachbarzellen, so wird die Größe der Quellung nach verschiedener Richtung sehr verschieden sein. Die Zerrung oder Compression wirken vorzugsweise zu einer Zeit, wo die Membranen noch nicht im stabilen Zustande waren, sondern wuchsen, also stetig ihre Molecule verschoben und in Spannung versetzten. Erhärtert nun die Membran plötzlich, so wirken jene Kräfte noch nach und kommen zum sichtbaren Ausdruck, wenn dem Gewebe entweder Wasser zugeführt oder entzogen wird.

Für eine einzelne Holzelle aber ergeben sich die Quellungsgrößen

In dem Querschnitte war die Zahl der Zellen in der radialen Richtung 55, (wovon 45 Winterholzellen waren), in der tangentialen 22. Im Längsschnitt maß eine Holzelle 800 mm.

Die procentische Verlängerung berechnet sich hieraus für den Uebergang aus dem trockenen in den nassen Zustand.

Tangente =	3,7 ‰,
Radius =	7 ‰,
Axe =	0,80 ‰.

Die Quellungsachsen in der Wand der Einzelzellen sind stets abhängig von der vorhergehenden

für den Radius 23,5 0/0, für die tangentielle Richtung zu 7,0 0/0, für die Axenrichtung zu 0,8 0/0, s. Fig. 110 und 111 b. Bei dem Uebergang aus dem trockenen nach dem nassen Zustand wird das Lumen der Zelle verengt, die capillare Spannung somit vergrößert.

In den Figuren 111 a, b, c sind die Quellungsaxen graphisch dargestellt. Die ausgezogenen Axen CR , CA , CP in der Fig. 111 a bedeuten die Län-

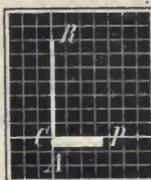


FIG. 111 b. Quellungsaxen im Volumenelement des Fichtenholzes.

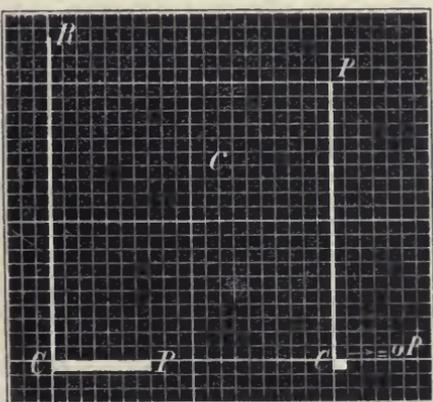


FIG. 111 c. Quellungsaxen im Massenelement des Fichtenholzes.

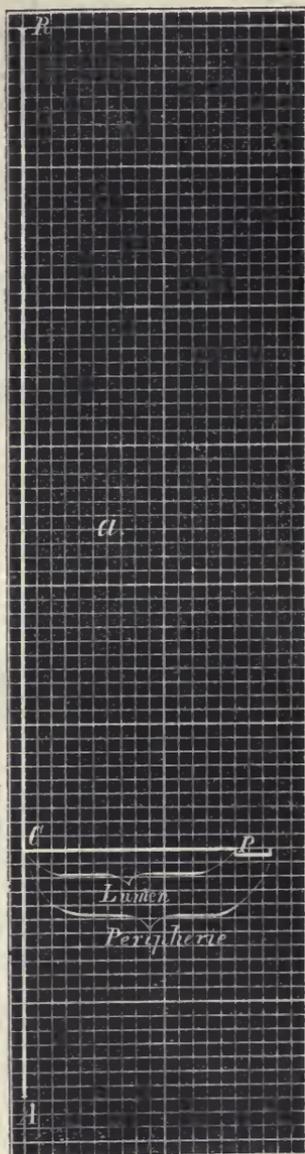


FIG. 111 a. Quellungsaxen der Caulerpa.

genzunahmen für 100 Theile der Ordinaten in den anzugebenden Richtungen, für die Caulerpa Stammzelle ist CA die Längenzunahme der Axe, CP in der peripher transversalen Richtung und CR in der radial transversalen. In Fig. 111 b sind die Volumzunahmen für ein aus vielen Zellen bestehendes Holzwürfelchen der Fichte dargestellt, CR für die radial transversale, CP für die transversal tangentielle und CA für die Axenrichtung. Für die isolirte Holz zelle der Fichte endlich ist die Volumzunahme im Querschnitt verschieden, je nachdem das Massenelement die Lage $\alpha \beta \gamma \delta$, Fig. 110, oder $\alpha' \beta' \gamma' \delta'$ hat; für erstere gilt die links, für letztere die rechts verzeichnete Figur in Fig. 111 c.

D. Beobachtungen über die Volumänderung durch Quellung in verschiedenen Regionen des Baumes.

In zwei Regionen wurden bei der Fichte Bohrschnitte gefammelt und diese in kleine Tangentialscheiben zerlegt. Eine kreisförmige, in der Cylinderfläche gelegene Scheibe muß im Allgemeinen in einem Jahre zwischen drei Figuren schwanken; da nämlich die Volumänderung in Richtung der Axe sehr klein ist, so verwandelt das Trocknen den kreisförmigen Auschnitt in eine Ellipse, deren große Axe mit der Faferaxe zusammenfällt. Beim Quellen aber wird diese letztere zur kleinen, die transversale zur großen Axe einer zweiten Ellipse. Der Durchmesser der Kreise wurde im Anfang gemessen, sodann wurden die Plättchen in Wasser bis zum Maximum der Quellung naß, endlich im Exsiccator ausgetrocknet und gemessen.

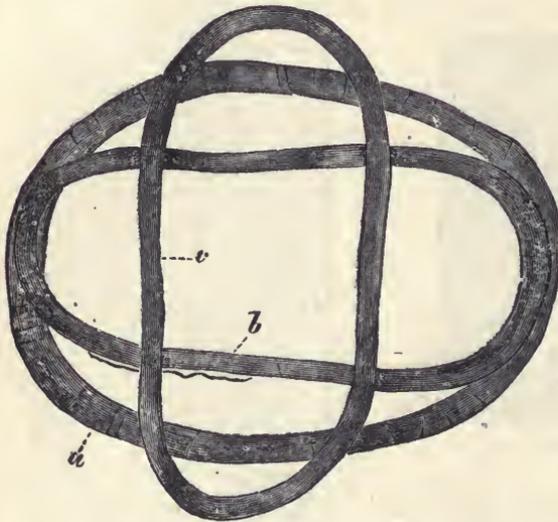


FIG. 112. Querschnitt der Caulerpazelle. *a* in Wasser. *b* in Canada-balsam. *c* trocken. Bei 108:1 in objectiver Weise aufgenommen und auf $\frac{1}{3}$ verkleinert.

Kern des Stammes und endlich 8,29 und 7,25 an der Spitze des Stammes in den Splintlagen. *

Es zeigte sich, daß für das Sommerholz des Stammes an der Basis und der Peripherie die Quellungsgröße 7,66% beträgt, während das Winterholz nur 6,66% besitzt.

Es wurden gefunden 3,99% für Sommer- und 3,33% für Winterholz im

3,99% für Sommer- und 3,33% für Winterholz im

E. Spezifische Anziehung der festen Theile zu verschiedenen Flüssigkeiten.

Die Volumzunahme und die Volumabnahme einer gegebenen Pflanzenhaut bei Zufuhr resp. Entziehung von Flüssigkeit verlaufen nicht in gleichem Sinne für alle Flüssigkeiten. Die festen Membranthteile in der lückenlosen Substanz lassen die Abstände ihrer molecularen Interfritien innerhalb weiter Grenzen schwanken. Das mit der gegebenen Flüssigkeit gefättigte Raumelement kann größer oder kleiner sein, wie das trockene Raumelement. Denken wir uns ein Würfelchen der Holzmasse aus der Holzzelle ohne sichtbare Lücken ausgefchnitten, getrocknet und gemessen, so ist sein Volum

v größer, wie wenn wir es mit Harz, ätherischem Oel, Alkohol tränken und fättigen v' , es ist aber kleiner, wie wenn wir es mit Wasser fättigen, v'' .

Bei diesen Vorgängen ist die Anzahl der Molecule fester Zellstofftheilchen nicht verändert worden. Im Volum v' und v'' aber sind offenbar mehr Molecule beider Aggregate wie in v , es folgt daraus, daß Flüssigkeitsmolecule die Eigenschaft besitzen, die Molecule der Membran einander zu nähern und von einander zu entfernen, bezogen auf den lufttrockenen Zustand (m. f. Fig. 112).

F. Die Dichte.

1° Das specifische Gewicht der Gewebe ist, bezogen auf destillirtes Wasser, immer größer, wenn luftführende Räume in ihm fehlen.

2° Unter denselben Umständen wird es in weitesten Grenzen schwanken,

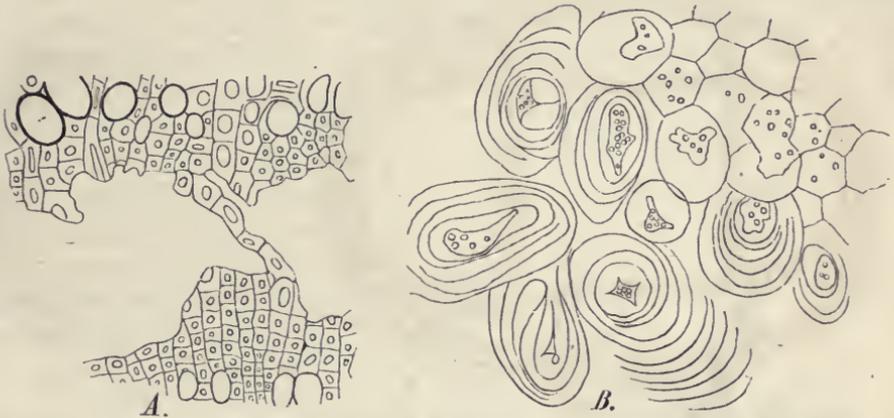


FIG. 113. A Corrosionsstelle aus dem Gummi-kranken Kirschholze. B kleine Parthie aus dem quellenden Marke des Astragalus creticus.

je nach der Dichte der Löfungen in dem Zellhohlraum und je nach der Masse der festen Membranen in dem gegebenen Volumelement.

3° Die lückenlose Membran aber selbst muß schwanken, je nach der Anzahl und der chemischen Natur der imbibirten Flüssigkeitsmolecule.

Das specifische Gewicht lufttrockenen Holzes ist bei

Quajacum officinale	1,39,
Buxus sempervirens	1,00,
Taxus baccata	0,84,
Fagus sylvatica	0,74,
Quercus Robur	0,75,
Picea	0,48,

ist selbstredend abhängig von der Weite der lusterfüllten Hohlräume und schwankt nach der histiologischen Natur in weiten Grenzen. In einem und demselben Gewebe wird das specifische Gewicht abhängen:

1^o Von der Größe der Zellenlumina, 2^o von der Menge des imbibirten Waffers, 3^o von der Menge lufterfüllter Räume.

G. Unbegrenzte Quellung.

1^o Pathologische Erfcheinungen.

In dem Marke des *Astragalus creticus* quellen zu bestimmter Zeit¹⁾ die Zellen in der Weise, daß sie ihre Festigkeit verlieren, in Form einer Gallert aus dem Riß des Stämmchens hervorfliessen und zu dem bekannten Traganthgummi erharteten. Mikroskopische Durchschnitte durch das Mark, Fig. 113 B, zeigen in den Quellungsschichten, sowie in der Vertheilung der Körner transitorischer Stärke noch die Ueberreste der ursprünglichen Zellenstructur.

In dem Holze und der Rinde der Amygdaleen, insbesondere der Kirfche, werden die Gewebe wahrscheinlich in Folge äußerer roher Eingriffe, wie das Abschnei-

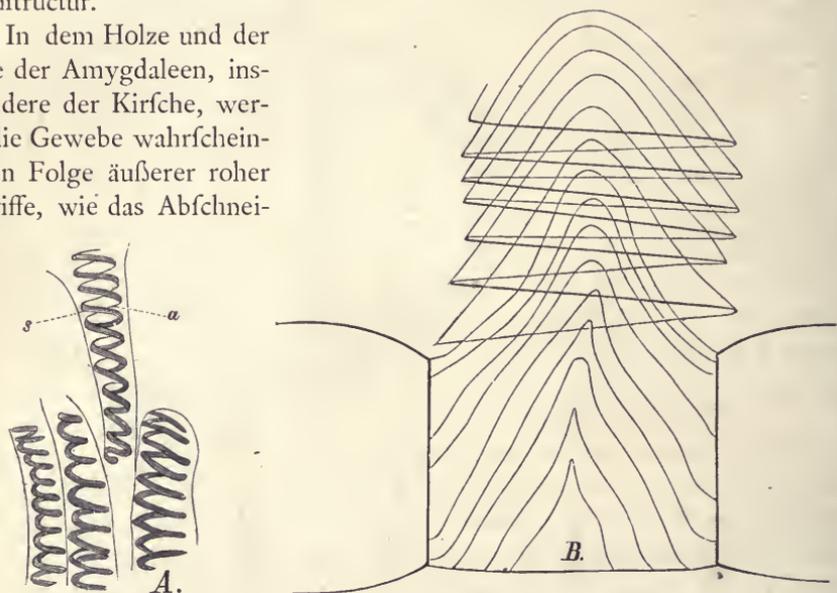


FIG. 114. A quellende Hautzellen der Samen von *Collomia*. a ein Schleimcylinder aus den weniger dichten Theilen der Zellwand entstanden. s die Schraubenbänder dichter und langamer quellender Masse. B *Teesdalia nudicaulis*. Quellende Samenfschale.

den der Aefte, so umgewandelt, daß sie zuerft die Doppelbrechung verlieren, fodann zur gestaltlofen Gallert aufquellen. Diese Gummikrankheit (gummofis) corrodirt die Holzstructur auf centimeterweite Strecken, sie schreitet in transversaler Richtung parallel den Jahresringen fort und überspringt zuweilen die Markstrahlen und Grenzschichten der Jahrringe, welche der Erkrankung größeren Widerstand entgegenfetzen, Fig. 113 A.

1) H. v. MOHL, in Botan. Ztg. a. a. O. f. oben. S. 88.

2⁰ Normale Schleimbildung.

Die äußerste Zellschicht der Integumente vieler Samen¹⁾ wird gesetzmäßig in der Weise umgewandelt, daß sie bei Wasserzufuhr rasch aufquellen. Hierbei werden die Membranen, da die wasserreicheren Lamellen rascher, die wasserarmen langsamer quellen, zerklüftet in schraubenlinige Bänder, Fig. 114 A, so bei der *Collomia*, bei der *Salvia horminum*. Am Samen der *Teesdalia nudicaulis*, Fig. 114 B, zerklüftet sich die Membran hierbei, indem wie vorher die dichteren Lamellen langsamer quellen, in kegelförmige Kappen, welche ineinander geschachtelt sind.

Cydonia- und Linum-Samen quellen so, wie die schematische Figur 115 A demonstriert. Stets macht sich ein Widerstand in den dichteren Schalen geltend.

Die Paraphysen von *Diphyscium foliosum*, Fig. 115 B, sind ursprünglich Zellenfäden, ähnlich den cylindrischen Ketten der Fadenalgen. Die Zellen wachsen und lockern sich auf, indem eine äußere dichtere Schale $\alpha \alpha'$, Fig. 115 B, von der inneren wachsenden Haut abhebt, durch die Quellung einer mittleren, weniger dichten Lamelle. Die äußere Schale $\alpha \alpha'$ zerreißt und bildet zwei zu je einer Cylinderezelle gehörige Kappen (I. § 18, Fig. 174).

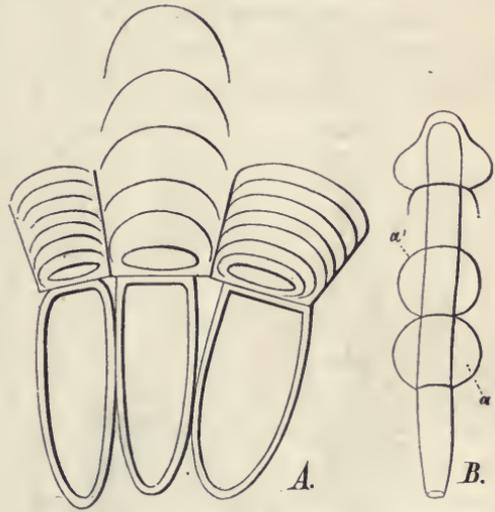


FIG. 115. A *Cydonia*. Quellende Samenhautzellen. B *Diphyscium foliosum*. Paraphysen.

H. Quellungsdrucke.

Der Druck, welcher durch die betrachteten Volumzunahmen bei Wasserzufuhr zu geschlossenen Pflanzengeweben erzeugt wird, bewirkt zwei wesentlich verschiedene Bewegungsvorgänge:

1⁰ Die Oberfläche wird fortgeschoben, das Organ schwillt.

2⁰ Die in den Hohlräumen der quellenden Zellen enthaltene Flüssigkeit wird gepreßt und eventuell fortgeschoben oder durch die Membran transpiriert.

Volumänderung bei der Quellung von Cellulose und deren Derivaten.

Um zu zeigen, daß eine Volumverminderung oder Vermehrung beim

¹⁾ Studienobjecte: Leinfamen, Samen von *Cydonia vulgaris*, *Teesdalia nudicaulis*, *Sinapis*, *Collomia*, *Salvia horminum*. Paraphysen von *Diphyscium foliosum*.

Uebergang in den gequollenen Zustand eintritt, wurden mehrere Kugelapparate¹⁾, Fig. 116, angewendet.

Bringt man trockene Erbsen in Wasser, so beobachtet man, daß das Gesamtvolum hin und her schwankt, ehe eine dauernde Volumvermehrung eintritt.

Versuch.

In den Kugelapparat Fig. 116 wurden 80 trockene Erbsen gegeben; derselbe enthielt etwas Quecksilber bis zum Niveau *e*, welches in dem Rohre *f* aufsteigen kann.

Zu den Erbsen wurde Wasser gefüllt und der Apparat mit einer angechliffenen Platte verschlossen.

Quellung.

Z e i t.	Temperatur.	Volum- vermehrung.	Volum- verminderung.
Anfangs	21,5° C.	0	0
60 Minuten später	21,75° »	0,0007643	
120 » »	21,75° »		0,0007365
180 » »	21,8° »		0,001271
240 » »	21,8° »		0,001107
345 » »	22,0° »		0,0008153
450 » »	21,5° »		0,00005134
810 » »	22° »	0,004340	
930 » »	22° »	0,002360	

Von nun an treten Gase aus.

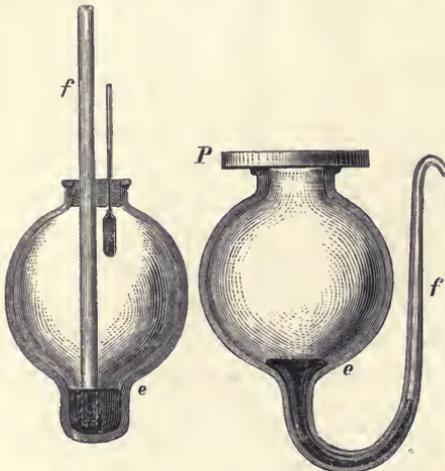


FIG. 116. Quellungsmeßer.

Aus dem Gang der Temperatur und der Volumschwankung ergibt sich sonach mit Sicherheit eine Verminderung der Volumsummen, somit eine Contraction, denn von der zweiten Ableseung ab sinkt das Volum, während die Temperatur langsam wächst. Wäre die abgelesene Temperaturerhöhung Folge einer Wärmezufuhr von außen, so hätte das Volum stetig wachsen müssen.

Der Druck, welcher von der quellenden Masse zurückgeschoben

¹⁾ Die Apparate Fig. 116 wurden in ein sehr großes Gefäß in Wasser getaucht. Damit wurden die äußeren Temperaturschwankungen möglichst ausgeschloffen.

wird, ist ein sehr bedeutender. Er wird von BÖHM gegen 18 Atmosphären für quellende Erbsen angegeben. BÖHM gab die zerkleinerten Erbsen in eine Metallhülse, welche, am einen Ende wie eine Kanone geschlossen, in ihrer cylindrischen Wand so durchlöchert war, daß das Wasser, welches die Kanone in einem zweiten Gefäße umgab, zu den quellenden Bruchstücken treten kann. Diese aber sind so groß, daß sie nicht durch die Poren der Kanone austreten können. Die quellende Masse wird mit einem dicht an die Cylinderwand anschließenden Stempel bedeckt. Nachdem die luft-erfüllten Lücken in der Kanone mit Wasser erfüllt sind, wird der Stempel nach jeder Volumvermehrung so lange mit neu aufgelegten Gewichten belastet, bis das quellende Volum constant erhalten bleibt. Der Druck, welcher so gefunden wurde, ist die äußerste Größe des Quellungsdruckes.

Den selben Grenzdruck fand ich (Bot. Unterf. Bd. I. S. 52 ff.) für das bei der Benetzung quellende saftige Mark von Helianthus zu $13\frac{1}{2}$ Atmosphären. Ich isolirte ein Markprisma von $\frac{1}{3}$ Meter Länge von dem Holz und der Rinde, schloß es aber mit den Abschnitten dieser Gewebe in einen starken Glaszylinder so ein, daß es sich nur in der Längsrichtung ausdehnen konnte. Der obere Querschnitt wurde allmählig so belastet, daß jede soeben eintretende Volumvermehrung wieder durch Gewichtszulagen auf ein verschiebbares Tischchen vernichtet wurde.

Die Phänomene der Quellung haben soeben durch REINKE eine erneute Bearbeitung erfahren (Unterf. über d. Quellung einiger vegetab. Substanzen, Sep.-Abdr.). Wir entnehmen dieser Abhandlung die folgenden Angaben (S. 132 ff.): Um aus dem gequollenen Laube der Laminarien, welches 170 % Wasser aufgenommen hätte, soeben Wasser zu pressen, genügte ein Druck von 16 Atm. Bei 93 % Wasser war ein Druck von 200 Atm. nöthig. Dahingegen bilden ungefähr 8 Atm. den Grenzdruck, unter welchem 93 % Wasser aufgenommen werden. In demselben Pflanzengewebe, welches 230 % Wasser aufgenommen hatte, erfuhr die Volumsumme aus beiden Körpern eine Compression von 0,2 Volumprocenten, was einem Drucke von 45 Atm. entspricht. Bei ausgewachsenen und getrockneten Drehspähnen des Laminarienlaubes zeigte sich bei der Quellung mit 66 % Wasser ein Wärmeverbrauch von 2,29 Wärmeeinheiten, was dem positiven Arbeitswerth 0,97 Kilogr.-meter entspricht. «Indem wir bei unseren Messungen wahrnahmen, daß den Quellungsproceß eine Entwicklung positiver Quellungswärme begleitet, beobachten wir darin einen beträchtlichen Ueberschuß des im Zusammenströmen von Wasser und quellbarer Substanz gegebenen Arbeitsvorrathes über die wirklich bei der Quellung geleistete Arbeit, mithin einen beträchtlichen Ueberschuß von disponibler lebendiger Kraft über die vorhandenen Widerstände.»

§ 16. Theorie der Intussusception und Apposition.

Alle Wachsthumsercheinungen beruhen in letzter Linie darauf, daß die Molecule der festen Substanz in den Heerd des Wachsthums eingeführt werden. Der stete Vorgang der Volumvergrößerung entzieht sich dem bloßen Auge. Mit Hilfe von feineren Meßinstrumenten kann die Volumzunahme als Function der Zeit beobachtet werden. S. § 21. Die Bewegung der Molecule, die Ansammlung der festen Theilchen aber entzieht sich dem finnlichen Auge. Zahlreiche Vorgänge erlauben aber den Schluß, daß kleinste Theilchen zwischen vorhandene kleinste Theilchen eingelagert werden. Bei dem stattlichsten Repräsentanten des Pflanzenreiches, bei unserem Waldbaume, ist zwar die grobe Massenanhäufung eine Apposition neuer Jahrringe, in jedem kleineren, noch sichtbaren Volum deselben, in jeder Zelle aber müssen stetige Verschiebungen unsichtbarer Theile zwischen stabileren herrschen, wenn das Wachstum überhaupt räumlich vorstellig werden soll. Es werden in pflanzlichen Zellen nach den Betrachtungen im § 1 und § 3 neben dem Vorgang des Niederschlages fester Massen, Verschiebungen und Einlagerungen eine bedeutende Rolle spielen. Ja, alle Stoffaufnahme beruht auf letzterer Molecularbewegung. Von dem Orte der Aufnahme oder der Entstehung muß ein gelöstes Theilchen unzählige Male zwischen vorhandenen festen Theilen eingelagert und fortbewegt sein, ehe es zu einer dauernden Endlage zu gelangen vermag.

Bei einem wachsenden Kryftall¹⁾ müssen die hintereinander belegenden Molecule aufgelagert gedacht werden. Wächst der Kryftall unter dem Mikroskop, so wird der äußere Contour einer Kante parallel der Wachstumsrichtung verschoben. Der Kryftall wächst in der That durch Apposition, so daß eine gegebene innere Lamelle an ihm älter ist, als eine äußere. Diese Altersfolge der in dem Gebilde eingelagerten Molecule herrscht bei der wachsenden Zelle mit wenigen Ausnahmen nicht.

In dem stabilsten Pflanzengewebe, dem Holz der Bäume, wächst im Laufe von Jahrzehnten das specifische Gewicht des lückenlosen Holzwürfels und es nimmt der Kohlenstoffgehalt zu. Diese Vorgänge können nur durch die Intussusception erklärt werden.

	Specifisches Gewicht.		Kohlenstoffprocente, 48 % in reiner Cellulose.
Tanne . . .	1.16	Eichenholz . . .	52 %
Eiche . . .	1.27	Ebenholz . . .	53 %
Flachs . . .	1.45	Nußschale . . .	54 %.

¹⁾ Dr. FR. KLOCKE, Beobachtungen und Bemerkungen über das Wachstum der Kryftalle. 1871. N. Jahrb. f. Mineralogie.

A. Structur der Stärkekörner¹⁾.

Das nächste wichtige Kohlehydrat ist das Stärkemehl (*Amylum*). Von der gleichen Molecularformel wie die Cellulose, unterscheidet sich die Stärke durch die Gestalt und die Jodreaction. Das Stärkemehl entsteht als ein Niederfchlag in der Pflanzenzelle. Das Niederfchlagskorn ist im Momente seines Entstehens eine punktförmige kleine Kugel, welche nach mehr oder weniger strengen Formgesetzen durch Intusfusion wächst, sich differenzirt in Schalen verschiedenen Wassergehaltes und sich bei vielen Pflanzenarten in mehrere, oft zahlreiche Tochterkörner theilt.

Das Stärkemehl wandert von dem Orte seines ersten Auftretens, dem Blatte, rückwärts über das ganze System des Baumes, und überall, wo es während dieser Wanderung auftritt, ist es in Form kleiner kugelliger Nieder-

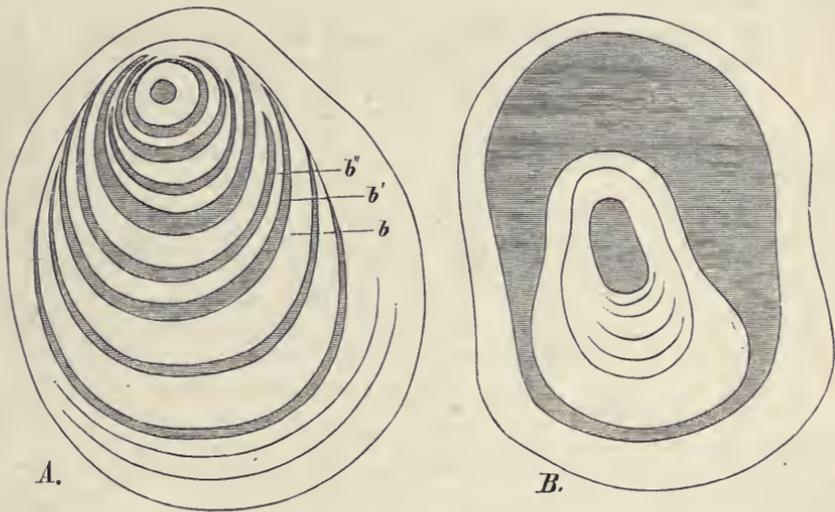


FIG. 117. *A* Kartoffelstärke mit excentrischer Schichtung nach NÄGELI. *B* Kartoffelstärke, halbgequollen, der Kern und einige äußere Schichten aufgelockert (nach NÄGELI).

fchlagskörner nachweisbar. Diese transitorische Stärke wird endlich in den Reservebehältern der perennirenden Pflanzen in größeren Sphäroiden angeammelt und füllt dort die Zellen der Gewebe vollständig an.

Die Stärke ist in kaltem Wasser unlöslich, quillt in heißem Wasser bei 70° C. zu einer gestaltlosen Gallert (Kleister). Mit alkoholischer Jodlösung, welche nach längerem Stehen stets geringe Mengen von Jodwasserstoff (wohl auch Jodsäure) enthält, behandelt, lagert das Stärkekorn die Jodtheilchen so ein, daß es blau gefärbt erscheint. Solche Jodstärke verkleifert bei der Behandlung mit kochendem Wasser nicht, so lange noch J in der Verbindung enthalten ist.

¹⁾ NÄGELI, Die Stärkekörner. Zürich bei Fr. Schultheß. 1858.

Das Stärkekorn enthält einen wasserreicheren Kern, um welchen concentrische oder excentrische Schalen gelagert sind, in diesen wechselt die Dichte, beziehungsweise der Wassergehalt. Die lockeren, wasserreicheren Schalen erscheinen im Mikroskop mit rosarothem, die dichteren mit bläulich weißem Interferenzlichte.

Aus dem Stärkekorn wird durch Fermentation mit Speichel oder verdünnter Salzfäure eine Verbindung löslich und ausgezogen, die Granulose. Nach dieser Behandlung hat das Korn seine Gestalt wenig geändert, aber die Jodreaction tritt jetzt nicht mehr ein. Die Reaction im polarisirten Lichte ist jetzt schwächer. NÄGELI stellt sich den Körper des Stärkekornes als ein inniges Gemisch von Moleculen zweier Verbindungen vor, von welchen die eine die Granulose, die andere die Cellulose ist.

B. Wachstum und Differenzirung des Stärkekornes¹⁾.

Die Wachstumsercheinungen der Stärke wurden zuerst von NÄGELI in einer umfassenden Monographie studirt. Dabei wurde eine Reihe der wichtigsten Folgerungen über den molecularen Vorgang des Zellenwachstums gewonnen.

1^o Das Korn wächst zur Gestalt einer Kugel und differenzirt sich in einen wasserreicheren Kern und eine dichte Schale. Es nimmt an Volum zu und differenzirt die dichte Schale in drei Schalen, eine dichte äußere, eine lockere und eine dichte, welche an den Kern grenzt. Die Differenzirung, welche während der Volum-, beziehentlich Massezunahme stattfindet, schreitet von außen nach innen fort. Es kann dabei eine dichtere Schale in zwei dichte und eine sie trennende lockere zerfallen, aber auch umgekehrt kann in einer lockeren eine dichte so auftreten, daß sie zwei lockere Schalen trennt. Der Kern und ein solches Schalensystem bilden ein einfaches Korn, Figur 117 A. Behandelt man solche Körner mit Reagentien oder warmem Wasser, welche nur eine mäßige Quellung veranlassen, so quellen der Kern und die lockeren Schichten stärker, wie die dichten. Das Gebilde wird so deformirt, wie es die Fig. 117 B demonstirt.

Wächst das Korn im Wandbeleg des Protoplasma einer stärkeführenden Zelle, so ist es bei excentrischem Wuchse so orientirt, daß der wasserreiche Kern dem Wandbeleg zugekehrt, das excentrische Schichtungssystem Fig. 117 nach dem Zellenraum gerichtet ist.

1) Die Stärkekörner wachsen von der Größe einer kleinen Kugel von 1—2 mm, bis sie 4—6 mm Durchmesser erhalten. Denkt man sich nun, daß die Masse, welche aus der umgebenden Lösung verbraucht wird, von außen nach innen in das Korn vordringend, eindringt, so werden zunächst die Moleculen der äußeren Schale in tangentialer Richtung auseinander weichen müssen, um die neu aufzunehmenden Theilchen zwischen sich einzulagern. Diese Einlagerung erfolgt in der äußeren Schale von Moleculen jeden-

2^o Halb zusammengesetzte Körner entstehen so, daß in früher Phase des Kornes der vorher weiche, lockere Kern erhärtet, indem er mehr feste Molecule einlagert. In ihm differenziren sich zwei und mehr wasserreiche Kerne. Nunmehr wächst das Korn durch Einlagerung so, daß um jeden Kern, wie vorher im einfachen Korn, zahlreiche Schichten-

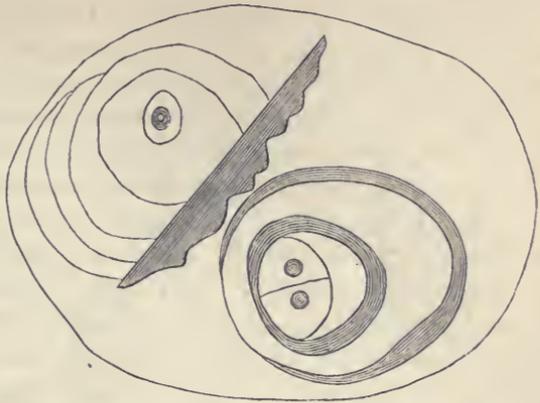


FIG. 119. Halb zusammengesetztes Korn mit einem Spalt, nach NÄGELI.

fsysteme gebildet werden, welche von dem ursprünglich zu dem ungetheilten Kern gehörigen Convolut eingehüllt erscheinen. Fig. 119.

falls, die Ausdehnung aber, welche für die Schale erfolgen müßte, wird durch die Cohäsion an die innere Schale überwunden. Es befindet sich daher die äußere im Zustande der Compression, sie würde sich zu größerem Volum ausbreiten, wenn nicht die jeweilig innere Schale einen Gegenzug ausübte. Die nothwendige Folge aber ist, daß die innere Schale dadurch in den Zustand der Expansion geräth, so lange beide Schalen nicht getrennt sind, nicht von einander abreißen.

Die Kugelflächen a und b , Fig. 120, haben die Radien R und $R + D$, wo D die Dicke einer molecularen Schale bedeutet. Es wachse nun die Kugel a um $\frac{1}{a}$, die Kugel b um $\frac{1}{a}$, die neuen Kugelflächen sind alsdann:

$$4 \pi R^2 (1 + \frac{1}{a}); 4 \pi (R + D)^2 (1 + \frac{1}{a}).$$

Die Radien beider Kugeln verlängern sich mithin von R auf $R \sqrt{1 + \frac{1}{a}}$; $R + D$ auf $(R + D) \sqrt{1 + \frac{1}{a}}$ = $R \sqrt{1 + \frac{1}{a}} + D \sqrt{1 + \frac{1}{a}}$.

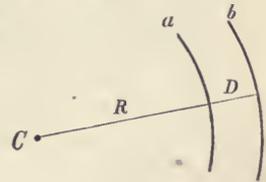


FIG. 118.

Der Abstand beider Kugelflächen war ursprünglich D , jetzt ist er $R \sqrt{1 + \frac{1}{a}} + D \sqrt{1 + \frac{1}{a}} - D \sqrt{1 + \frac{1}{a}} = D \sqrt{1 + \frac{1}{a}}$, der Zuwachs des Abstandes ist also $= D \sqrt{1 + \frac{1}{a}} - D = D (\sqrt{1 + \frac{1}{a}} - 1)$.

Die zwei Schichten würden sich, wenn nicht die Cohäsion entgegen wirkte, also trennen, weil $D < D (\sqrt{1 + \frac{1}{a}} - 1)$. Da sie sich thatsächlich nicht trennen, so muß eine Spannung entstehen, so daß jede folgende Schicht expandirt, negativ gespannt ist zu jeder vorhergehenden, welche positiv gespannt, also comprimirt ist.

NÄGELI wirft nunmehr zur Begründung der Lehre von der Intusfuspception die Frage auf: wenn in der Kugel die Spannkkräfte, welche durch das Eindringen der Nährlösung erzeugt werden, in dem genannten Sinne vertheilt sind, wo wird der Raum am ersten beschafft werden für die Aufnahme neuer Molecule, welche dauernd eingelagert werden sollen?

In der Fig. 123 seien p, o, p^1 kleinste Theilchen oder Punkte, welche gleichen Abstand besitzen und in einer größten Kugelschale liegen. Durch Erwärmung oder Wachstum werden nun p und o auseinander streben mit einer Kraft, deren tangentielle

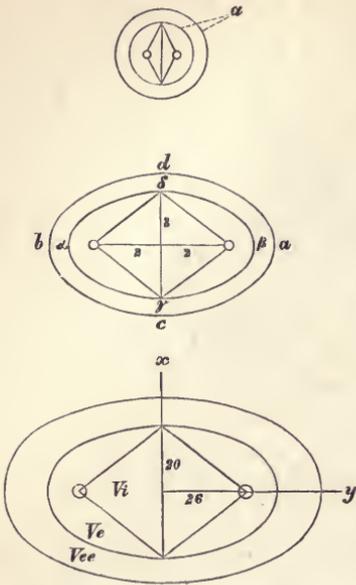


FIG. 120. Drei Zustände eines zusammengesetzten Kornes, nach NÄGELI.

3^o Zusammengesetzte Körner. Die Differenzirung kann so rasch vor sich gehen, daß die Masse der ursprünglich den Kern des einfachen Kornes einhüllenden Schicht verschwindend klein wird. Die Theilkörner platten sich gegenseitig ab, 3, 4, 6, 8, 100, ja bis gegen 3000 Theilkörner bleiben in einem traubenförmigen Staubindividuum vereinigt. Daselbe zerfällt beim Zerreiben durch Spaltung in den Abplattungsflächen in die einzelnen Theilkörner, Fig. 122.

In allen diesen Wachstumsstadien geht die Differenzirung so vor sich, daß die äußerste Hülle des Kornes stets eine dichteste Schicht ist. NÄGELI konnte zeigen, daß die Masse vorzugsweise im Innern eingelagert wird. Er konnte an jungen Körnern durch mikroskopische Messung zwei Volume bestimmen, diese in dem

Componente (K) durch ou , oder k' durch ou' ausgedrückt sei, da der Theil der Kugelschale p afficirt ist. Nach dem Parallelogramm der Kräfte ist dann $K + k'$ die resultirende von o und in radialer Richtung und k' ist die aus K resultirende Radialkraft. Diese ist aber $K = K \sin \beta$.

Bei zwei verschiedenen Kugelschalen mit dem Radius R_m, R_n hat man bei gleichem Abstand der Punkte $p o$ die Gleichungen:

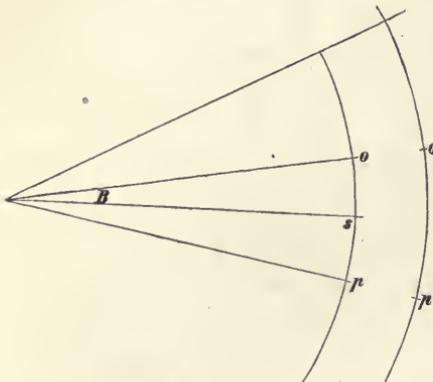


FIG. 121.

$$km = K \sin Bm,$$

$$kn = K \sin Bn,$$

und es verhalten sich die radialen Componenten also wie:

$$Rm : Rn = R \sin Bm : R \sin Bn = \sin Bm : \sin Bn.$$

Nun ist $\frac{op}{2} = Rm \sin Bm$ in der einen = $Rn \sin Bn$ in der anderen Schale, mithin $Rm Bm = Rn Bn$.

Die Proportion getheilt durch diese Werthe, erhalten wir:

$$km : kn = \frac{K \sin Bm}{Rm \sin Bm} : \frac{K \sin Bn}{Rn \sin Bn} \text{ oder}$$

$$Rm : Rn = \frac{R}{Rm} : \frac{R}{Rn},$$

$$\text{hieraus: } km : kn = \frac{I}{Rm} : \frac{I}{Rn}.$$

Wenn in ungleich großen Kegelschalen zwischen je zwei Punkten gleicher Entfernung die Flächenkräfte gleich groß sind, so verhalten sich die daraus resultirenden

älteren, späteren Stadium von Neuem auffuchen, so fand er in einem Falle: ein scharf begrenztes inneres Volum verhielt sich zu dem äußeren wie 1:63, im zweiten Wachstumsstadium wie 1:2, im dritten Stadium des ausgewachsenen Zustandes wie 4:1. Man vergleiche die Uebergänge in den Wachstumsphasen des in Fig. 120 dargestellten zusammengesetzten Kornes. Er fand den Wachstumsgang in einem halb zusammengesetzten Korn von Kugelgestalt, Fig. 120 oben, in welchem die beiden Kerne nahezu in der Aequatorialebene

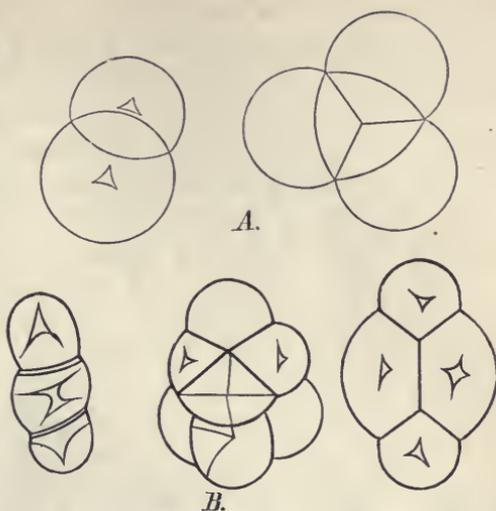


FIG. 122. A Stärke aus der Smilaxwurzel. B Stärke aus der Colchicumknolle.

Radialkräfte umgekehrt wie die Radien, hieraus aber kann die Spannung für alle consecutiven Schalen leicht bestimmt werden.

Jetzt soll nachgewiesen werden, daß im Innern des Kornes diese Spannung am leichtesten eine Trennung der Schichten bewirkt, so daß neue Masse in die Hohlchale, deren Dicke $(D \sqrt{1 + \frac{1}{a}} - 1)$ ist, eingelagert wird.

Denken wir uns alle Bewegungen in den verschiedenen Molecularschalen gleich, gleiche Größe und Entfernung der Molecule, und es folge nun ein Flächenwachsthum in gleichem Verhältniß, so sind zwei Probleme zu lösen:

erstens: das Verhältniß der Flächenkraft und Radialkraft, die sich gegenseitig das Gleichgewicht an der Kugelschale halten;

zweitens: wie groß ist die Spannung, welche zwei Kugelschalen erleiden, wenn sie eine gleiche Flächenausdehnung erfahren, ohne sich trennen zu können?

Erstes Problem. Ein Element der Flächenkräfte sei op , Fig. 123, dessen Stärke cu sei, hat also die radiale Componente $k = K \sin B$. Es ist aber

$\frac{1}{2} op = R \sin B$, hieraus $\sin B = \frac{op}{2R}$, dieß in die obige Gleichung kommt $k = \frac{K op}{2R}$.

Jedes Element der Flächenkräfte setzt sich somit in eine radial wirkende Kraft um, welche $= \frac{K op}{2R}$. Da nun ein Punkt von vielen andern afficirt ist, so ist die Summe aller Radialcomponenten:

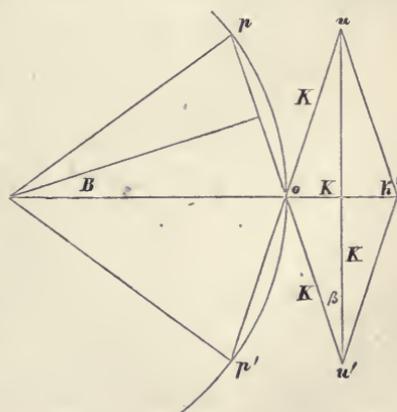


FIG. 123.

lagen und den Durchmesser in vier gleiche Theile markirten, indem er drei Volume ausmaß. Das innere Volum V_i , Fig. 120, wuchs von 1 auf 433, das mittlere, V_e , von 1 auf 131, das äußere, V_{ee} , von 1 auf 4 Volumeinheiten heran.

Die kleinsten Theile stellen wir uns nicht allein in tangentialen Reihen (Schalen), sondern auch in radialer Richtung (Kugelpyramiden) geordnet vor. Ist das Korn kugelig und centrisch und wächst zu einem Ellipsoid centrisch heran, so kann man sich dadurch die Kugelpyramiden in verschiedener Weise verändert denken.

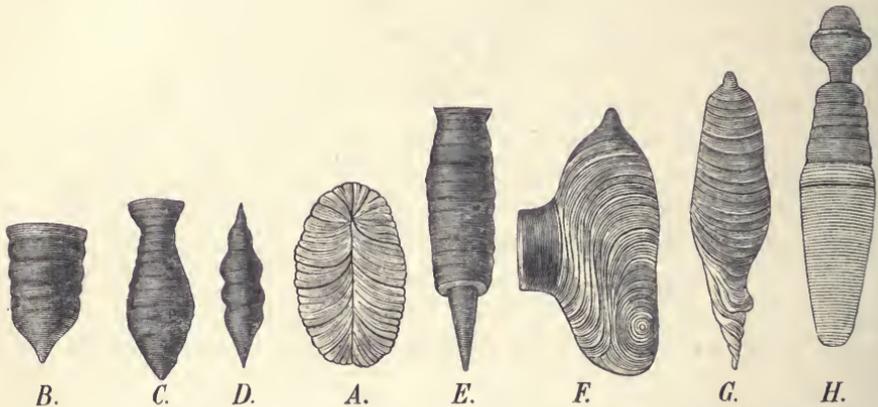


FIG. 124. A Kartoffelstärke mit Ca Cl behandelt. B bis H *Phajus grandiflorus*, durch Resorption verändert. (Trécut, *Ann. d. sc. nat.* IV. 10. *Formations viscélaïres.*)

Die Fig. 125 bedeute das Schichtensystem eines ellipsoiden Kornes, welches ursprünglich kugelig war, $a a$ die kleine, $n n$ die große Axe, die zur Ebene der Zeichnung senkrechte Axe kann gleich $a a$ oder kleiner wie $a a$ fein. Die Theile $\left. \begin{matrix} a C c \\ c C n \end{matrix} \right\}$ sind aus $\frac{1}{8}$ des kugeligen Kornes hervorgegangen.

$$\sum K + K_2 + \dots + K_n = \sum \left[K_1 \frac{op'}{2} + K_2 \frac{op''}{2} + \dots + K_n \frac{op''}{2} \right] \frac{1}{R}.$$

Wir können also ganz allgemein sagen, daß jeder materielle Punkt, oder wenn wir in gleicher Weise mehrere materielle Punkte zu einer Flächeneinheit summiren, auch jede Flächeneinheit in zwei Kugelschalen mit gleicher Flächenausdehnung, aber von ungleichem Radius eine radiale Kraft entwickelt, welche der Länge des Radius umgekehrt proportional ist.

Das gleiche Resultat kann auf anderem Wege abgeleitet werden, f. NÄGELI a. a. O., S. 303. Bedeute D die Dicke einer Schale, deren Breite ρ ist. In derselben wirkt die tangentielle Kraft K , welche das Auseinanderrücken der Theile, das Wachstum der Schale erstrebt. Die Summe aller Flächenkräfte in einem großen Kreis der Kugel ist $2 R \pi K D$. Diese Summe muß einem äußeren Druck k' , welcher auf die Hemisphäre geübt wird, das Gleichgewicht halten. Dieser Druck aber ist $k' 2 R^2 \pi$, wenn man sich alle Elemente deselben addirt denkt.

$$\begin{array}{l}
 a C b \\
 b C c \\
 c C d \\
 d C n
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} a C b \\ b C c \\ c C d \\ d C n \end{array}} \right\} 1/16 \text{ des ursprünglich kugeligen Kornes.}
 \quad
 \begin{array}{l}
 d C e \\
 e C n \\
 c C f \\
 f C n
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} d C e \\ e C n \\ c C f \\ f C n \end{array}} \right\} 1/32.$$

$$\begin{array}{l}
 f g C \\
 g C n
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} f g C \\ g C n \end{array}} \right\} 1/128.
 \quad
 \begin{array}{l}
 g C h \\
 h C n
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} g C h \\ h C n \end{array}} \right\} 1/256.
 \quad
 \begin{array}{l}
 h C i \\
 i C n
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} h C i \\ i C n \end{array}} \right\} 1/512.
 \quad
 \begin{array}{l}
 i C j \\
 j C h
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} i C j \\ j C h \end{array}} \right\} 1/1024.$$

Der rechte obere Quadrant, Fig. 125 *ak, kl, lm* u. f. f. veranschaulicht dagegen das Wachstum unter der Voraussetzung, daß die Zunahme der mit der Oberfläche parallelen Fläche auf jedem Punkt die nämliche und daß nur die Zunahme der Dicke verschieden sei.

Der untere rechte Quadrant derselben Figur ist nach der Voraussetzung construirt, daß die Volumenzunahme in allen Feldern gleichmäßig und daß die Verschiedenheit im Wachstum bloß zwischen inneren und äußeren Schichten bestehe.

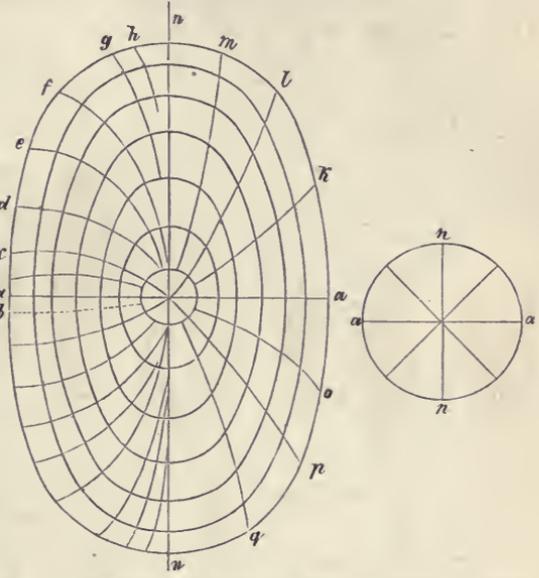


FIG. 125. Schema der Wachstumsvorgänge im Innern eines Stärkekornes (nach NÄGELI a. a. O.).

Die Flächen in einer Schicht zwischen \overline{nq} , \overline{qp} u. f. f. sind hier gleich. Diese letzteren Annahmen fordern eine Verschiebung der kleinsten

Betrachtet man zunächst den Druck, der auf die schmale Kugelzone *op*, Fig. 127 A. wirkt, deren Radius $R \sin B = \rho$ ist. Ihre Breite ist $R d B = l$. Die Fläche *op* der Zone ist somit $F = 2 \rho \pi l$

$= 2 \rho \pi R d B$. ρ ist nun, durch R ausgedrückt, gleich $\sin B R$, mithin ist die Fläche $= 2 R 2 \pi \sin R d B$. Die Kraft K ist nun für den Druck auf den größten Kreis oder die Grundfläche der Halbkugel nur mit der Componente *ov* wirksam. *ov* ist $\cos B K'$. Die Kraft auf die Zone *op* ist somit gleich $K' 2 R^2 \pi \sin R d B \cos B$.

Der Ausdruck wird nach $\frac{d \sin x}{d x} = \cos x$. $d \sin x = \cos x dx$ zu $K' 2 R^2 \pi \sin B d \sin B$.

Das Integral zwischen den Grenzen $\sin B = 1$, $\sin B = 0$ ist $K' 2 R^2 \pi \int \sin B d \sin B = \left[\frac{\sin^2 B}{2} \right]_0^1 K' 2 R^2 \pi$. Führt man die Integration aus, so erhält man:

$K' 2 R^2 \pi \frac{\sin^2 90^\circ}{2} - K' 2 R^2 \pi \frac{\sin^2 0^\circ}{2} = 1/2 K' R R^2 \pi = K R^2 \pi$. Dieß ist also die Hälfte des Gesamtdrucks, welcher auf der Halbkugel lastet.

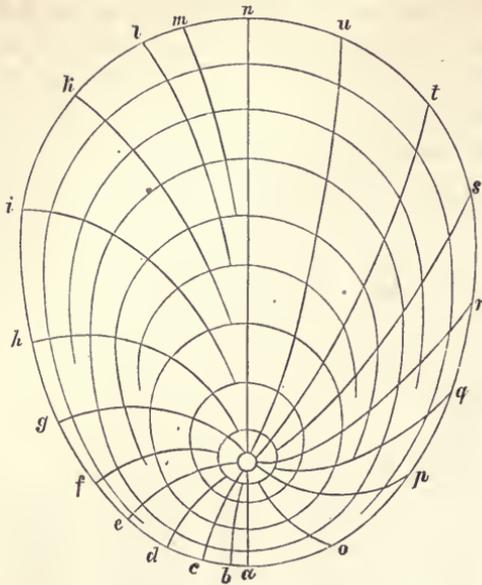


FIG. 126. Excentrisch geschichtetes Stärkekorn nach NÄGELI. *a C e, e C n* entsprechen einem Viertel, *a C c, c C e, e C g, g C n* entsprechen einem Achtel des Querschnittes des ursprünglich kugeligen Kornes.

a C b, b C c, c C d, d C e u. f. f. bis *h C n* jedes gleich $\frac{1}{16}$.
b C i, i C n jedes gleich $\frac{1}{32}$,
i C k, k C n » » $\frac{1}{64}$,
k C l, l C n » » $\frac{1}{128}$,
l C m, m C n » » $\frac{1}{256}$.

Theile. Das Maaß dieser Verschiebung wird durch die Größe angegeben, um welche der Winkel, den die Radien *Ck, Cl, Cm, Co, Cp, Cq* in jedem Punkte mit den Schichten bilden, von einem rechten abweicht:

Für excentrisch geschichtete Körner, Fig. 126, sind die einzelnen Theile auf der linken Seite der Figur durch die nachfolgend verzeichneten Werthe definiert:

<i>a C e</i>	}	$\frac{1}{4}$ d. ursprüngl. Kornes,	<i>b C i</i>	}	$\frac{1}{32}$,
<i>e C n</i>	}	»	<i>i C n</i>	}	»
<i>a C c</i>	}	$\frac{1}{8}$ »	<i>i C k</i>	}	$\frac{1}{64}$,
<i>c C e</i>	}	»	<i>k C n</i>	}	»
<i>e C g</i>	}	$\frac{1}{8}$ »	<i>k C l</i>	}	$\frac{1}{128}$,
<i>g C n</i>	}	»	<i>l C n</i>	}	»
<i>a C b</i>	}	$\frac{1}{16}$ »	»	»	$\frac{1}{256}$.
<i>b C c</i>					
<i>c C d</i>					
<i>d C e</i>					
<i>e C f</i>					
<i>f C g</i>					
<i>g C h</i>					
<i>h C n</i>					
<i>c C n</i>					
<i>m C n</i>					
<i>n C n</i>					
<i>o C n</i>					

Die rechte Hälfte ist mit Rücksicht auf gleiches Flächenwachstum der Schichten construiert: $a o = o p = p q = a C o = o C p = p C q = q C r$, wo *C* das Schichtencentrum bedeutet; auch hier wird die Verschiebung der radialen, hintereinander liegenden Theilchen, welche mit dieser Annahme nothwendig verbunden ist, durch die spitzen Winkel deutlich, welche die nach *o p q* u. f. f. verlängerten Linien mit den Schichten bilden.

Wird angenommen, daß eine Verschiebung nicht stattfindet, so läßt

Man hat somit die Gleichung $2 R K \pi D = K' R^2 \pi$. Hieraus ergibt sich $K' = \frac{2 R K \pi D}{R^2 \pi} = \frac{2 K D}{R}$, d. h. die Radialkraft, welche einer Tangentialkraft oder Flächenkraft in Hohlkugeln von gleicher Dicke und gleicher Beschaffenheit, aber von ungleichem Halbmesser das Gleichgewicht hält, steht im umgekehrten Verhältniß der Radien. Dieses Resultat beruht darauf, daß ein Druck, der auf alle Punkte einer Halbkugel wirkt, in seinem Effect auf die Grundfläche gleich ist dem Druck auf diese Grundfläche (πR^2)

sich aus den Veränderungen in Gestalt und Schichtung des Korn ein Schluß ziehen auf die Zunahme in jedem Theil. Die Körner von *Canna lagunenfis* erlangen eine Größe von 170 micr. und eine Excentricität von 1:70.

Die Oberfläche berechnet sich zu 32.500 □ micr. im ausgewachsenen Zustand. Das junge kugelige Korn hat eine Oberfläche von 28 □ micr.

Die Oberfläche hat somit zugenommen um das $\frac{32.500}{28} = 1160,7$ fache. Die

felber; die Gleichungen $K' = \frac{2 \pi D}{R}$; $K = \frac{K' R}{2 D}$ sind allgemein gültig für beliebige Kugelcalotten.

Aehnliches gilt für den Cylinder. Stellt die- selbe Fig. 127 A den Querschnitt eines Cylindermantels dar, so müf- fen $K D L + K D L$ (wo D die Dicke des Cylinder- mantels, L dessen Länge bedeuten) dem

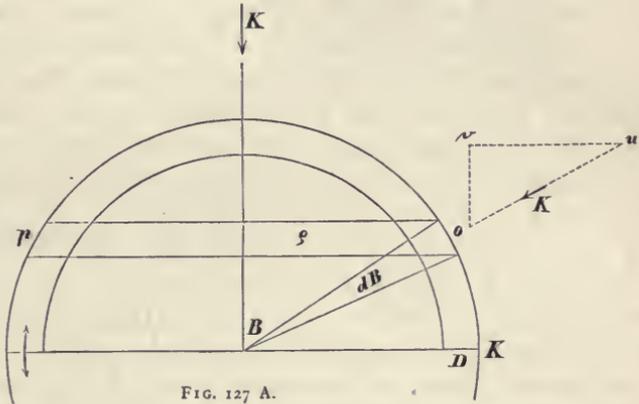


FIG. 127 A.

Drucke auf die Oberfläche das Gleichgewicht halten. Der Druck auf ein Cylindersegment ist $K L R d B$, die allein zu berücksichtigende Componente ist $K' \cos B$ und die ganze Kraft, welche antagoni-

stisch zu K wirkt, ist $K L R \cos B d B$, in der Cylinderhälfte aber $2 k L R \int \cos B d B = 2 k L R$

$\int d \sin B$ und in der ganzen Fläche $2 K L R \int \cos B d B = 2 K L R \int d \sin B$. Die Integra-

tion zwischen den Grenzen $\sin B = 0$ und $\sin B = 1$ ausgeführt, kommt $2 \pi L R$

$\int d \sin B = 2 K L R$, also ist $2 K D L = 2 K' L R$ o $K = \frac{K' R}{D}$, $k = \frac{K D}{R}$.

Das Verhältniß zwischen Flächen- kraft und radialer Kraft ist also daselbe, wie in der Kugel, nur ist die Radialkraft doppelt so groß.

Zweites Problem. Die Kugel- schalen ϵi , Fig. 127, werden, wenn die Einlagerung neuer Theile in tangentialer Richtung erfolgt, auseinander weichen, wenn nicht die Adhäsion sie hinderte. Beide wachsen nämlich um $1/a$, d. h. i

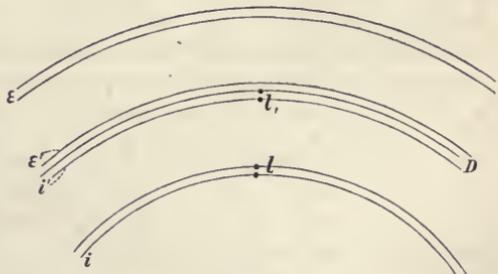


FIG. 127.

wächst von $4 R^2 \pi$ auf $4 R^2 \pi + \frac{4 R^2 \pi}{a}$,

die anderen von $4(R + D)^2 \pi$ auf $4(R + D)^2 \pi + \frac{4(R + D)^2 \pi}{a}$. Hieraus ergibt sich der

Abstand, wenn die Schalen sich zu trennen vermöchten, auf $D(\sqrt{1 + 1/a} - 1)$. Der

äußere Schicht hat ihrem Volum nach um das 8125fache zugenommen. Wird das junge Korn in Pyramiden zerlegt, so nimmt die äußere Schicht jeder Pyramide $1,75 \square \text{micr.}$ ein. Im ausgewachsenen Zustand haben aber die den kurzen Radius umgebenden Pyramiden eine Fläche von je $4 \square \text{micr.}$, die Pyramidenstücke $c C e$ je $13 \square \text{micr.}$, $e C g$ je $196 \square \text{micr.}$ und die den langen Halbmesser umgebende $g C n$ je $7912 \square \text{micr.}$ Die Flächenzunahme beträgt also in ursprünglich gleichen Partien das $2^{2/7}$, $7^{3/7}$, 112-, 4521-fache der anfänglichen Ausdehnung, und am hinteren Ende ist sie 1979mal größer als am vorderen.

Zerlegt man die Kugel und das Ellipsoïd in noch mehr Pyramiden, so kommen noch andere Verhältnisse heraus. So z. B. bei Fig. 126 entspricht eine Partie vom langen Halbmesser dem 16.384ten Theil des ursprünglich kugeligen Kornes, die äußerste Schicht dieser Parthie enthält $28 \square \text{micr.}$, während an einer gleichen Parthie am kurzen Radius weniger als $\frac{16,4}{16384} = 1/256 \square \text{micr.}$ enthalten ist. Die Flächenzunahme war also am ersten Ort $256 \times 28 = 7168$ mal größer.

Der Cubikinhalte des jungen Kornes beträgt 14 Cub.-micromillimeter, mithin beträgt der Cubikinhalte jeder der 16 Pyramiden 1 cb.-micr. annäherungsweise. Der Cubikinhalte im ausgewachsenen Korn: die vier Pyramiden $a C c$, $c C e$, $e C g$, $g C n$ verhalten sich wie 5:26:749:75.720 cb.-micr.

Die Pyramide am langen Radius hat $\frac{75720}{5} = 15.144$ mal mehr zugenommen, als am kurzen.

Die Volumzunahme am hinteren Ende ist 73.800mal größer, als am vorderen Ende c .

Ausdruck ist unabhängig von R . Die Entfernung ist um so größer, je größer der Wachsthumscoefficient ($1/a$) und um je größer D die Dicke der Schalen ist.

Die Radien verlängern sich, wenn das Wachsthum ungehindert erfolgte, von R auf $R (1 + 1/a) R + D$ auf $(R + D) (1 + 1/a)$. Setzen wir den Wachsthumscoefficienten $1/a = x$, so wachsen R auf $R (1 + x)$, $R + D$ auf $(R + D) (1 + x)$. Der Abstand der Grenzfläche, früher o , ist nach dem Zuwachs $R(1 + x) + D(1 + x) - R - D = Dx$.

Nun wachsen aber die Kugelschalen nicht so, daß sie diese Entfernung erlangen, denn da sie verwachsen bleiben, erhalten sie die mittlere Ausdehnung beider, welche in ϵ' dargestellt ist, bezogen auf die Lage ϵ i , wenn beide unverbunden gedacht werden. Es bedeute nun F_i , F_e die Mittelflächen der beiden Kugelschalen, wenn sie in der Lage ϵ i , also in Spannung sich befinden, so verhält sich $F_i : F_i' = F_e : F_e$.

Diese Proportion drückt aus, daß durch die Spannung die innere Schicht i über den Zuwachs (um $1/a$) gedehnt ist und sich in i befindet, während F_e durch den Zuwachs um $1/a$ im freien Zustand in ϵ sein würde durch die Dehnung von i , aber in ϵ' i ist. Die Ausdehnung von i hat um soviel gewonnen, wie die von ϵ verloren hat. Wie die Kugelflächen verhalten sich die Quadrate der Radien, mithin:

$R^2 : R_i^2 = R_e^2 : R_e'^2$ und $R_i : R_i' = R_e : R_e'$; setzen wir hierin die Werthe $R (1 + x)$ für R_i und $R_i' + D$ für R_i' ; so erhalten wir $R(1 + x) : R_i' = R_i' + D : (R + D) (1 + x)$,

Dies ist aber noch nicht die größte Ungleichheit in der Volumzunahme der verschiedenen Parteen am Korn. Beim Kartoffelstärkekorn sehen wir, daß die ganze innere Masse 234mal mehr zunimmt, als die äußere Schicht. Das Cannakorn verhält sich ebenso. Die Rindenschicht hat also hier bei einer Pyramide am vorderen Ende $234,73800 = 17.269.200$ mal weniger zugenommen, als diejenige innere Masse einer gleichen Pyramide am hinteren Ende, und der Unterschied in der Volumzunahme würde noch beträchtlicher, wenn wir die äußere Schicht am kurzen Radius mit derjenigen des langen vergleichen könnten, welche am stärksten sich vergrößert hat.

Angenommen, in dem vorliegenden Fall habe an einer Pyramide, welche den 16.384sten Theil des Kornes ausmacht, am vorderen Ende die Rindenschicht von 0,0008 auf 0,0026 cb.-micr. zugenommen, bis das Korn ausgewachsen ist, also von 1 auf 3,3, die innere Masse einer Pyramide des hinteren Endes aber von 0,000005 auf 280 cb.-micr., also von eins auf 56.000.000, so ist die Zunahme hier etwa 17.000.000 stärker, als dort.

Angenommen, derselbe komme von dem Durchmesser mit 3 micr. in 6 Wochen zum ausgewachsenen Zustand, so beträgt der Wachsthumscoefficient für die Rindenschicht während einer Stunde am vorderen Ende 0,001, für die innere Masse am Verdickungsradius 0,018 für die Stunde. Das Volum am ersten Ort wächst in der Stunde von 1000 auf 1001, am zweiten Orte

hieraus die Gleichung $R i' (R i' + D) : (R + D) (i + \alpha)^2$; $R i^2 + D = (R + D) (i + \alpha)^2$

$$\text{und nach } \left(x = -\frac{a}{2} + \sqrt{\frac{a^2}{4} + b} \right)$$

$$R i' = -\frac{D}{2} + \sqrt{\frac{D^2}{4} + (R^2 + RD)(i + \alpha)^2}; \quad R e' = +\frac{D}{2}$$

+ $\sqrt{\frac{D^2}{4} + (R^2 + RD)(i + \alpha)^2}$; hieraus berechnet sich leicht der Abstand $\varepsilon \varepsilon'$ und $i i'$. Wir nehmen diese als gleich groß an und vernachlässigen bei geringem Zuwachs die weiteren Differenzen. Die Entfernung der Mittelflächen von ε und i beträgt $D(i + \alpha)$, diejenige ihrer Grenzflächen $D \alpha$, der Abstand der Löthfläche ist somit $\frac{D \alpha}{2}$. Die Radien der inneren und äußeren Kugelschale sind somit im Zustande der Spannung und annäherungsweise der innere $R(i + \alpha) + \frac{D \alpha}{2}$, der äußere $(R + D)(i + \alpha) - \frac{D \alpha}{2}$.

Betrachten wir für die Spannkraft zunächst die innere Kugelschale, deren Radius im nicht gespannten Zustand $R(i + \alpha)$, im gespannten Zustand $R(i + \alpha) + \frac{D \alpha}{2}$. Der Radius ist also durch Spannung um $\frac{D \alpha}{2}$ gedehnt; es ist dieß der Ausdehnungs-

$$\frac{D \alpha}{R(i + \alpha)}$$

coefficient der Kugelschale, [denn wenn l die Längeneinheit der inneren Hohlkugel im

von 1000 auf 1018 Volumeneinheiten. Dieser Unterschied bewirkt nach sechs Wochen, daß das erste Volum 17,000,000 mal größer wird, als das zweite. Dieß ergibt sich mit Leichtigkeit aus der Rechnung: die Masse m des Kornes wächst in den Zeiteinheiten $m \cdot m(1 + \frac{I}{a})$; $m(1 + \frac{I}{a})^2 \dots m(1 + \frac{I}{a})^n$.

In 1008 Stunden (6 Wochen) verhalten sich die gewählten Orte, da die langsamst wachsende Parthie in der Stunde von 1000 auf 1001, die raschest wachsende von 1000 auf 1018 zunimmt, so daß die eine in 1008 Stunden von 0,0008 auf 0,0026 cb.-micr., die andere von 0,000005 auf 280,0 cb.-micr. heranwächst (also $0,0008(1 + \frac{I}{aI})^{1008} = 0,0026$, woraus $\frac{1+I}{aI} =$

$$\sqrt[1008]{\frac{0,0026}{0,0008}} = 1,0011 \text{ und } \frac{I}{aI} = 0,0011. \text{ Ebenso } 0,000005(1 + \frac{I}{a2})^{1008} = 280, \text{ woraus } 1 + \frac{I}{aI} = \sqrt[1008]{\frac{280}{0,000005}} = 1,0178 \text{ und } \frac{I}{a2} = 0,0178.$$

Würde das Korn, statt in 6 Wochen, sein Wachstum in 3 Wochen (504 Stunden) vollenden, so würden die Zunahmen sein:

Die langsamsten	Theile von 1000 auf 1002	Volumtheile in der Zeiteinheit,
» rasch wachsenden »	» 1000 » 1036	» ferner
» langsam »	» 1000 » 1005	} für 252 Stunden der Wachsthumsdauer.
» rasch »	» 1000 » 1073	
» langsam »	» 1000 » 1009	} für 126 Stunden der Wachsthumsdauer.
» rasch »	» 1000 » 1152	
» langsam »	» 1000 » 1019	} für 63 St. = 2 1/2 Tage.
» rasch »	» 1000 » 1327	

Hieraus ergibt sich, wie oben schon angedeutet, das Verhältniß im langsam und stark wachsenden Ort wie 1 zu 17 Millionen.

ungefpannten, l' die im gespannten Zustande ist, so verhalten sich $R : R' = l : l'$ und es ist $l' = \frac{lR_1}{R} = l \left[1 + \frac{D\alpha}{R(1+\alpha)} \right]$. Daraus folgt, daß $\frac{D\alpha}{2R(1+\alpha)}$ der Ausdehnungscoefficient für den Bogen der Kugelfchale ist.

Die tangentialen oder Flächenkraft ist nun gleich dem Product aus dem Ausdehnungs- und Elasticitätscoefficienten q , also $K = q \cdot \frac{D\alpha}{2R(1+\alpha)}$. Die radiale Kraft läßt sich nun aus dieser und der früheren Formel für das Verhältniß der radialen und tangentialen Kraft ableiten; die frühere Gleichung war $K = \frac{2KD}{R}$, setzt man hierin für

K den Werth $\frac{qD\alpha}{2(1+\alpha)R}$, so erhalten wir die radiale Kraft

$$K = \frac{2q \cdot D^2 \alpha}{2(1+\alpha)R^2} = \frac{D^2 \alpha}{(1+\alpha)} q \frac{1}{R^2}.$$

C. Argumente für die Intussusception.

Sieht man zunächst von Hypothesen über die Molecularconstitution ab, so gelangt man nach einem Ueberblick über die Vorgänge der Anlagerung neuer Zellen durch Apposition zu einer Reihe ganz schlagender Beweisgründe für die Einlagerung von kleinsten Theilchen (Moleculen) zwischen die vorhandenen kleinsten Theilchen, aus welchen der wachsende Pflanzentheil besteht.

Das Längenwachsthum der Stämme beruht sicherlich im Groben und von außen betrachtet darin, daß zu vorhandenen Zellen neue hinzukommen, sich anlagern. Ebenso sind die Jahrringe der Bäume durch Apposition entstanden. Jede Zelltheilung aber setzt voraus, daß die sichtbaren Gewebe

Betrachten wir den äußeren Radius, derselbe ist im nicht gespannten Zustand der Schale $(R + D)(1 + \alpha)$ und im gespannten $(R + D)(1 + \alpha) - \frac{D\alpha}{2}$. Der Ausdehnungscoëfficient ist somit

$\frac{D\alpha}{2(R + D)(1 + \alpha)}$, die Flächenkraft somit wie vorher

$$K = q \frac{D\alpha}{2(R + D)(1 + \alpha)}, \text{ die radiale Kraft aber } k = q \cdot \frac{D^2\alpha}{(1 + \alpha)} \cdot \frac{1}{(R^2 + \frac{1}{2}R + D)}$$

Wir haben, indem wir den Unterschied des Radius der inneren Kugelschale im natürlichen und gespannten Zustande $(R_i - R)$ gleich setzten dem Unterschied der Radien der äußeren Schicht $(R_e - R_e')$, jenen etwas zu groß, diesen etwas zu klein angenommen. Daher zeigt die Spannung, je nachdem man sie aus dem Verhalten der inneren oder der äußeren Schale ableitet, nicht die gleichen Werthe, jene ist etwas zu groß, diese etwas zu klein.

Beide müssen natürlich gleich sein, wir geben ihnen den der mathematischen Genauigkeit nahekommenenden Werth:

$$\frac{D^2\alpha}{1 + \alpha} q \left(\frac{1}{2R^2} + \frac{1}{2R^2 + RD} \right) \text{ oder auch } \frac{D^2\alpha}{1 + \alpha} q \frac{1}{R^2 + \frac{1}{2}RD}$$

Wenn also zwei sich berührende Kugelschalen von gleicher Dicke und gleicher Elasticität um einen gleichen Quotienten in die Fläche wachsen, so verhält sich die Kraft, mit der sie sich von einander zu trennen streben, umgekehrt proportional einer Größe, die dem Quadrat der Radien gleichkommt, wenn D im Verhältniß zu R sehr klein wird, und die Größen nähern sich dem Quadrat der Radien, wenn D zunimmt oder R abnimmt.

Spannung im Cylinder.

Die Mittelflächen der Cylindermäntel haben die Radien R und $R + D$, es betragen dann die Mittelflächen $2\pi LR$, $2\pi L(R + D)$, wobei L die Länge des Cylinders bedeutet. Beide Flächen wachsen um $\frac{1}{a}$, alsdann werden die Flächeninhalte

$$\begin{aligned} Fi &= 2\pi LR + \frac{2\pi LR}{a}; Fe = 2\pi L(R + D) + \frac{2\pi L(R + D)}{a} \\ &= 2\pi LR \left(1 + \frac{1}{a}\right); = 2\pi L(R + D) \left(1 + \frac{1}{a}\right). \end{aligned}$$

Die Radien haben sich verlängert

für kleinste Theile durchlässig find. In jeder Zelle müssen Vorgänge der Intususception herrschen. Das Splintholz wird zum Kern, nimmt dabei zu an Dichte und Kohlenstoffgehalt, ohne an Volum zu gewinnen. Jede Zelle entläßt gelöste Theile, nimmt andere dafür auf. Der elementare Vorgang in den verwickelten Proceffen der Ernährung muß darauf beruhen, daß zunächst gelöste feste Theile zwischen vorhandene feste kleinste Theile derjenigen Membranen eingelagert werden, welche an die Medien (Wasser, Atmosphäre) grenzen, aus welchen die Rohnährstoffe eingeführt werden.

Aus den scharffinnigen Studien NÄGELI'S lassen sich die folgenden Argumente zusammenstellen:

1^o In wachsenden Stärkekörnern beobachtet man für alle Phasen des Wachstums, daß das später gefchichtete Korn stets von einer dichten Außenfchicht begrenzt ist.

2^o Die Schichtung und sonstige Anordnung ist im ausgewachsenen Stärkehorn im Centrum niemals identisch mit der Structur des jungen Hornes.

von R auf $(R + \frac{I}{a})$; $(R + D)$ auf $R(1 + \frac{I}{a}) + D(1 + \frac{I}{a})$.

Der Abstand der Mittelflächen ist jetzt von D auf $(D + \frac{D}{a})$, der Abstand der Grenzflächen von o auf $D(1 + \frac{I}{a}) - D = \frac{D}{a}$, d. h. wenn sie sich trennen würden, gewachsen. Trennen sie sich nicht, findet also Spannung statt, so gestaltet sich die Sache so: Nennen wir Fläche und Radien $F_i R_i$ des inneren, $F_e R_e$ des äußeren im ungespannten Zustand, und im gespannten $F_i' R_i'$ $F_e' R_e'$, so besteht die Proportion $F_i:F_i' = F_e:F_e'$; $R_i:R_i' = R_e':R_e$, und hieraus, indem wir die obigen Werthe wieder einsetzen, $R_i = R + \frac{I}{a}$; $R_e = (R + D)(1 + \frac{I}{a})$; $R_e' = R_i + D$, bekommt die Proportion die Gestalt: $R(1 + \frac{I}{a}) : R_i' = (R_i' + D) : (R + D)(1 + \frac{I}{a})$; hieraus wird die unbekannt R_i' bestimmt: $R_i'^2 + R_i' D = (R^2 + R D)(1 + \frac{I}{a})^2$ und

$$R_i' = -\frac{D}{2} + \sqrt{\frac{D^2}{4} + (R^2 + R D)\left(1 + \frac{I}{a}\right)^2}, \text{ sowie}$$

$$R_e' = +\frac{D}{2} + \sqrt{\frac{D^2}{4} + (R^2 + R D)\left(1 + \frac{I}{a}\right)^2}.$$

Vernachlässigen wir wieder den kleinen Fehler, indem wir gleich setzen $R_i' - R_i = R_e' - R_e = \frac{D}{2a}$, welcher Werth die Dehnung von R_i und Verkürzung von R_e ausdrückt, so ist im gespannten Zustand das System $R_i' = R\left(1 + \frac{I}{a}\right) + \frac{D}{2a}$; $R_e = R + D\left(1 + \frac{I}{a}\right) - \frac{D}{2a}$. Der Ausdehnungscoefficient ist demnach $\frac{\frac{D}{2a}}{2R(a + I)}$.

Dieß gilt auch für jeden Bogen des Cylindermantels.

3° Später gefchichtete Körner wachsen zu einem Volum heran, dessen Radius einem Multiplum der Schichtendicke entspricht, ohne daß die geforderte Schichtenzahl vorhanden wäre. Die Schichtung in Schalen verschiedenen Wassergehaltes tritt als eine nachträgliche Differenzirung in bestimmter Wachstumsphase auf.

4° Die Anzahl der Schichten wird durch wasserentziehende Mittel vermindert, durch Wasserzufuhr vermehrt.

5° In der Stammzelle der Caulerpa wächst die Cylinderwand mit größerer Intensität, wie der Zellstoffbalken, jene differenzirt sich mit vielen, 20, 50, 100, dieser nur mit 3—4 Schichten. Fig. 89.

Nach den Anforderungen der Apposition müßte der Zellstoffbalken im Durchschnitte die doppelte Anzahl der Schichten zeigen, welche in der Cylinderwand abgezählt werden.

6° Aus den Messungen von NÄGELI (f. oben S. 104 ff. und Fig. 120) ergibt sich in wachsenden Stärkekörnern die größere Massenzunahme im Innern des Kornes.

Die Flächenkraft der Spannung ist nun $K = q \cdot \frac{D}{2R(a+1)}$. Die radiale Komponente nach der Formel $K = \frac{KD}{R}$ (f. oben) ist nun $K = \frac{D}{R} q \frac{D}{2R(a+1)} = \frac{D^2}{2(a+1)} q \frac{1}{R^2}$ für den inneren Cylinder. Für den äußeren ist er $(R+D) \left(1 + \frac{1}{a}\right)$ ohne und $(R+D) \left(1 + \frac{1}{a}\right) - \frac{D}{2a}$ mit Spannung. Der Ausdehnungscoefficient ist mithin

$\frac{\frac{D}{2a}}{(R+D) \left(1 + \frac{1}{a}\right)} = \frac{D}{2(R+D)(a+1)}$. Die durch die Spannung erzeugte Flächen-

kraft ist $K = q \frac{D}{2(R+D)(a+1)}$. Die radiale Componente ist nach früheren

$K = \frac{D}{R} q \frac{D}{2(R+D)(a+1)} = \frac{D^2}{2(a+1)} q \frac{1}{R^2 + RD}$ und kann gesetzt werden $\frac{D}{2(a+1)} q \left(\frac{1}{2R^2} + \frac{1}{2(R^2 + RD)} \right)$ oder $\frac{D}{2(a+1)} q \left(\frac{1}{R^2 + \frac{1}{2}RD} \right)$.

Die Cylinder verhalten sich also wie die Kugelschalen, d. h. die durch gleichmäßige Einlagerung bewirkte Spannung wirkt in radialer Richtung mit einer Kraft, die annähernd umgekehrt proportional dem Quadrat der Radien ist.

Aus den bisherigen Betrachtungen ergibt sich:

1° daß das Wachstum im Stärkekorn eine Spannung hervorbringt, welche die Schichten von einander zu trennen strebt,

2° daß dann die Kraft, mit der sie sich zu trennen streben, um so größer, je kleiner der Krümmungsradius ist.

Nimmt man in einem kugeligen Korn die Schichtendicken gleich für alle Schichten, so verhalten sich die Kräfte in den Schichten:

Von dieser Theorie der Differenzirung in Schalen verschiedenen Wassergehaltes muß auseinander gehalten werden die Schalenbildung durch Apposition neu entstehender Membranen, welche den älteren Membranen dicht angrenzen, an diesen im Laufe der Entwicklung selbst vorbeigefchoben werden können. Dahin gehören die Zellwände der *Cedogonien* und der *Diatomeen* (f. oben S. 61. 62).

D. Chemische Reactionen der Cellulose und deren Derivate¹⁾.

Die jugendliche Pflanzenmembran verändert mit der Zeit ihre Textur und chemische Beschaffenheit. Die chemischen Proceffe hierbei sind

¹⁾ v. MOHL, Botan. Ztg. 1847. — NÄGELI, Sitzungsber. der Münchener Acad. der Wissenschaften. 1863. — FRÉMY, *Compt. rend.* 1859. — KABSCH, PRINGSHEIM's Jahrb. III. über die chemische Beschaffenheit der Pflanzgewebe.

Schichten, von innen gezählt. Radienlänge.	Kraft.
5	10000
10	2500
50	100
100	25
250	4
500	1

NÄGELI nahm dabei an, daß das Wachstum durch Einlagerung neuer Theile in tangentialer Richtung die Einschlebung in radialer überwiege.

Hypothese über Molecularconstitution.

Das Stärkemolecul besteht aus $C_{10} H_{10} O_{10}$. Dieses Substanzelement zieht das Substanzelement an, ebenso aber auch das Wasser. Der Substanzkern hat eine Wasserhülle. Nehmen wir an, die Anziehung von Molecul zu Molecul der Substanz sei A und abhängig von ihrer Masse, die Anziehung der Substanz zum Wasser sei B , dann haben wir $\frac{B}{Dp + q} = \frac{A}{Dp}$ als Gleichgewichtsgleichung. Hierin bedeute D die Entfernung zweier Substanzelemente; die Kraft, mit welcher zwei Substanzelemente sich anziehen, wird direct proportional sein der Masse (BA) und umgekehrt proportional der Entfernung D . Die Gleichung drückt dann aus, daß die Anziehung zwischen Substanz und Wasser höheren Potenzen der Entfernung umgekehrt proportional sei, als die Anziehung von Substanz zu Substanz. Bei der zweiten Annahme, die Kerne seien ungleich groß, muß ein Kern alsdann ein Complex mehrerer Molecule sein. Es folgt daraus, daß, wenn dieselben wachsen, die Wasserhüllen dünner werden und die Entfernungen zwischen den Schwerpunkten etwas wachsen. Die weichen wasserreichen haben kleine, die dichten wasserarmen haben größere Substanzkerne.

Hieraus folgert nun NÄGELI, daß in den dichteren Parthieen mit bloß 14 % Wasser die Kerne nicht kugelig sein können (für kugelige Kerne bei dichter Berührung werden 26 % Wasser verlangt), sondern polyedrisch sein müssen.

In der dichten Substanz von 14 % Wasser beträgt die Entfernung zwischen den Kernen unter allen Umständen weniger als $\frac{1}{20}$ des Durchmessers eines derselben, in der

fo gut wie unbekannt. Von dem Stärkemehl unterfcheidet fih die Zellmembran durch die Jodreaction nicht abfolut. Die jugendliche Zellmembran bläut fih mit Jod, wenn eine Säure vorher angewandt wird, welche die Membran auflockert, zum Quellen bringt, z. B. Jodwafferftoff, Schwefelfäure. Bei Behandlung mit englifcher Schwefelfäure quillt die Membran, bei Zufatz von Jod bläut fie fih. Reine fäurefreie Jodlösung erzielt die Bläuung nicht.

Die Cellulofe ift nun aber ficherlich ein Derivat des Stärkemehls oder einer Verbindung, welche, je nach Umftänden, in Form von Stärke oder Cellulofe niedergefchlagen wird. Wir müffen uns vorftellen, daß die feften Gebilde, Gewebe und Niederfchlagskörper Gemifche verfchiedener Verbindungen von hohem Moleculargewicht find. Die hauptfächlichen Gemifche diefer Art find dem entfprechend:

weichen von 70 % Waffer weniger als $\frac{1}{2}$ des Durchmeffers und in der weichften von 98 % ficher nicht über das Dreifache des Durchmeffers.

Wenn in Subftanzen von 14 %, 70 %, 98 % Waffer die Subftanzkerne ähnlich gefaltet und angeordnet find, fo verhalten fih die Durchmeffer der Molecule

für 14 %	70 %	98 %
wie 30	: 10	: 1

und die Volume

für 14 % Waffer	70 % Waffer	98 % Waffer
wie 9000 (30) ³	: 100 (10) ³	: 1 (7) ³ .

Das Stärkemolecul ift nämlich gleich groß. Der größte Kern enthält fomit 9000 Molecule, während der kleinfte eines enthält.

Der Subftanzkern ift undurchdringlich und wächst durch Auflagerung neuer Molecule.

Das Quellen in Säuren, Alkalien und heißem Waffer ift wahrſcheinlich Folge des Zerfalls des Kerns in Molecule.

Bedeutet M die Maffe eines Subftanzkerns, m die Maffe eines Moleculs, fo ift $\frac{M m A}{D p}$ die Anziehung zwifchen beiden. A ift die Attraction der Maffeineinheit (also eines Moleculs), D die Entfernung der Schwerpunkte. Da der Subftanzkern und das Molecul gleich dicht find, fo kann die Anziehung auch durch das Volum ausgedrückt werden, also $\frac{V v A}{D p}$. Bezeichnet B die Attraction des Stärkemoleculs zu demjenigen Maffeenelement Waffer, welches gleiches Volum einnimmt, fo ift die Anziehung des Kerns und Moleculs zu den von ihnen verdrängten Waffermaffen $\frac{V v B}{D p + q}$, hieraus die Gleichung $\frac{V v A}{D p} = \frac{V v B}{D p + q}$. Diefes Gleichung hat indeß blos symbolifche Bedeutung und ift überdieß unrichtig. Denken wir uns zwei kugelige Kerne, jeden aus zwei Moleculen von Halbkugelgeftalt fo gelagert, daß die Molecule in einer Reihe liegen. Die Anziehung ift dann $\frac{4 A}{D p}$, wo D den Abstand der beiden Mittelpunkte bezeichnet. [Aus der Gleichung (fiehe oben) ergibt fih $\frac{V v A}{V v B} = \frac{D p}{D p + q}$ oder $\frac{A}{B} =$

Die Stärke: Gemenge von Granulose und Cellulose. Befchränkte Quellung in kaltem, unbegrenzte Quellung in heißem Wasser. Mit Jod und schwacher Jodwasserstofflösung gebläut. Nach der Fermentation mit Speichel ist die Granulose gelöst, ein Skelett von Cellulose bleibt zurück. Die Bläuung tritt nicht mehr ein.

Die Substanz der verholzten Gewebe: Gemenge verschiedener Cellulosefederivate.

Der Kork. Unlöslich in conc. Schwefelsäure. Nach dem Kochen mit Kalilauge tritt die Cellulosefereaction ein.

Cuticularschichten und Cuticula: Gemenge in conc. Schwefelsäure unlöslich mit Jod gebräunt (infiltrirt mit Wachs und Harz).

Masse des Flechtenascus: mit Jod direct gebläut, in Wasser beschränkt quellend.

Masse einiger Algengewebe: in kaltem Wasser begrenzt, in heißem Wasser zur Gallert quellend.

FRÉMY unterscheidet diese Verbindungen:

$\frac{I}{Dq}$, d. h. die Entfernung der Schwerpunkte zweier Molecule ist unabhängig von dem Volum derselben und bloß bedingt durch das Verhältniß der Anziehung von Stärke zu Stärke und von Stärke zu Wasser.

In gleichem Maße, wie die Molecule wachsen, nimmt die Wasserschicht zwischen ihnen ab und verschwindet zuletzt ganz. Wir könnten statt D setzen $R + r + \delta$, wo R und r die Radien der Kerne vom Schwerpunkt zur Oberfläche, δ den Abstand beider Oberflächen bedeutet, dann hat man $\frac{VvA}{(R+r+\delta)^p} = \frac{VvB}{(R+r+\delta)} p + q$ und $\frac{A}{B} = \frac{I}{(R+r+\delta)^q}$. Der Abstand δ wird nur kleiner, wenn R und r größer werden. Er wird $= 0$, wenn $R + r = D$. Diese Folgerung ist indeß unmöglich, da die Anziehung von Stärke zu Wasser mit der Abnahme der Entfernung in stärkerem Verhältniß wächst, als die Anziehung von Stärke zu Stärke.]

Die Summe der Attraction der einzelnen Molecule (f. oben) ist $\frac{A}{(D-d)p} + \frac{2A}{Dp} + \frac{A}{(D+d)} p$, wenn D die Entfernung vom Schwerpunkt des Kerns bis zum Centrum eines der Molecule ist und diese gegen D verschwindend klein wird. Dieß ist aber nicht der Fall, es muß also die Summe aller Attractionen aller einzelnen Molecule genommen werden. Sie ist eine Reihe von der Form

$$\frac{A}{(D+d_0)} p + \frac{A}{(D+d_1)} p + \frac{A}{(D+d_2)} p + \frac{A}{(D+d_n)} p.$$

Für die Anziehung der Substanzkerne sind

$$\frac{B}{(D+d_0)} p + q + \frac{B}{(D+d_1)} p + q + \frac{B}{(D+d_2)} p + q + \frac{B}{(D+d_n)} p + q$$

für die Anziehung von Substanz und Wasser. $D + d_0$ ist hier die Entfernung von dem Molecule des einen Kerns bis zu dem nächsten Molecule des anderen Atoms, es wird in der Regel $= D$ sein. $D + d$, $D + d_2$, $D + d_n$ bezeichnen die Entfernung aller übrigen Molecule je des einen zu den Moleculen des anderen Kernes. Die Zahl der Glieder

Cellulose: löslich in Kupferoxydammoniak, in concentrirter Schwefelsäure, in kochender Kalilauge.

Paracellulose: unlöslich in Kupferoxydammoniak, löslich in Schwefelsäure und Kalilauge.

Fibrose (Vasculose): löslich in Schwefelsäure, unlöslich in Kalilauge und Kupferoxydammoniak.

Pectose der Früchte: mit Kupferoxydammoniak bildet sich pectinfaures Kupferoxyd.

Cutine: in Schwefelsäure und Kupferoxydammoniak unlöslich, verseift sich mit Alkalien.

NÄGELI und SCHWENDENER (f. das Mikroskop, S. 471) untersuchten die Pflanzengewebe in Hinsicht ihrer Löslichkeit (beziehungsweise Quellung), ihres Verhaltens zu Jodlösung und zur Lösung von Kupferoxydammoniak. Es möge anbei eine Zusammenstellung der Resultate folgen:

jeder Reihe ist gleich derjenigen der möglichen Combinationen zwischen jedem Molecul des einen und derjenigen des anderen Kernes, also NN^1 , wo NN die Anzahl der Molecul der Kerne darstellen. Die Gleichgewichtslage ist also durch diese Gleichung ausgedrückt:

$$\frac{A}{(D+d_0)} p + \frac{A}{(D+d_1)} p + \dots + \frac{A}{(D+d_n)} p = \frac{B}{(D+d_0)} p + q + \frac{B}{(D+d_1)} p + q + \dots + \frac{B}{(D+d_n)} p + q.$$

Diese Gleichung ist nur richtig, wenn die Anziehungen alle parallel wirken oder wenn die Abweichungen von der parallelen Richtung als verschwindend klein angesehen werden dürfen. Dieß ist aber nicht der Fall, daher ist eine Correctur für jedes Glied nöthig. Zwei Kerne mit je zwei Moleculen haben den Abstand $D + dm$, die Attraction zwischen beiden ist $\frac{A}{(D + dm)} p$, hiervon wirkt aber, insofern es sich um die Anziehung der Kerne handelt, die Componente, welche parallel ist mit der Verbindungslinie beider Schwerpunkte. Construiren wir, um diese zu finden, ein rechtwinkeliges Dreieck, wo die Hypothenuse = $(D + dm)$, so ist

$$x^2 + em^2 = (D + dm)^2 \\ x + \sqrt{(D + dm)^2 - em^2};$$

nun verhält sich die Anziehung zwischen den zwei Moleculen MM^1 zu der wirkamen Componente y , wie die Hypothenuse zu den Catheten, also $\frac{A}{(D + dm)} p : y = D + dm :$

$\sqrt{(D + dm)^2 - em^2}$ und hieraus $y = \frac{A}{(D + dm)} p \frac{\sqrt{(D + dm)^2 - em^2}}{D + dm}$; auf gleiche

Weise verändern sich alle Glieder der ersten und zweiten Reihe. em bezeichnet den Abstand eines Moleculs des einen Kernes von einem Molecul des anderen Kernes. Ist derselbe o , so wird

$\frac{\sqrt{(D + dm)^2 - em^2}}{D + dm} = 1$. Wir setzen diesen Werth ein und erhalten somit die Gleichung

Löslichkeit.	Bläuung mit Jod.	Verhalten gegen Kupferoxydammoniak.
<p>1° In kaltem Wasser aufquellend, in kochendem gelöst: Pflanzenfchleim: Salep. Cacteen. Cydonia. Linum. Salvia.</p>	<p>1° durch Jod und Wasser allein: Flechtenascus. 2° durch Jod und Wasser allein, nicht erst durch Einwirkung eines die Quellung bewirkenden Mittels, wie JH, ClH, SO₄H.</p>	<p>1° Weder Färbung noch Quellung. Oscillatoria viridis. Flechten. Kork. Zellstoffkeulen der Ficus cystolithen.</p>
<p>2° Löslich in SO₄H und in Cuoxam: Baumwolle. Baftfaser der Bäume. Perisperm von Phytelphas.</p>	<p>a) Bläuung tritt ein nach längerem Liegen in der Jodlösung, welche JH bildet und fauer reagirt: Samenlappen: Hymenæa Curbaril. Mucuna ureus. Endosperm: Gladiolus. Iris. Cyclamen.</p>	<p>2° Färbung ohne Quellung: Caulerpa. Fucus. Holzzellen von: Quercus, Taxus, Pinus.</p>
<p>3° Löslich in conc. SO₄H, unlöslich in Cuoxam, wird aber löslich durch vorherige Behandlung mit ClH oder SO₄H und Alkalien: Mark. Markstrahlen d. Hölzer.</p>	<p>b) Bläuung tritt ein nach mehrmalig. Eintrocknen des Präparates in Jodlösung: Dünnwandiges Rindenparenchym der meisten Pflanzen.</p>	<p>3° Zuerst Bläuung, dann Quellung: Die meisten Algen. Holzzellen von Acer vitis. Alle Parenchym- und Epidermis-Zellen.</p>
<p>4° Löslich in SO₄H, unlöslich in Cuoxam, wird in letzterem löslich durch vorhergehende Behandlung mit chlorfaurem Kali und Salpeterfäure (SCHULTZE'sche Lösung). Holzzellen von: Pinus, Quercus, Taxus. Steinzellen der Birne, ebenso im Mark v. Hoya.</p>	<p>c) Bläuung tritt ein bei gleichzeitiger Behandlung mit J + SO₄H conc. Aeltere Parenchymzellen. Innerer Theil der verdickten Holzzelle: Pinus, Abies, Hanffaser. 3° Bläuung tritt ein nach Behandlung mit NO₆H, Auswaschen, mit Jod und</p>	<p>4° Zuerst Quellung, dann Lösung: Baumwolle, Baftfasern, Phytelphas Perisperm.</p>

$$\frac{Afo}{(D+do)} p + \frac{Afi}{(D+di)} p + \dots + \frac{Afn}{(D+dn)} p = \frac{Bfo}{(D+do)} p + q + \frac{Bfi}{(D+di)} p + q + \dots + \frac{Bfn}{(D+dn)} p + q.$$

In dieser allgemeinen Gleichung stellen *A* und *B* unverwandbare Werthe dar, während *f*, *D* und *d* von der Zahl und Stellung der Atome in den Moleculen bedingt werden. Besteht der Kern aus einem Molecul, so hat man

$$\frac{Afo}{(D+do)^p} = \frac{Bfo}{(D+do)^{p+q}} \text{ oder } \frac{A}{Dp} = \frac{B}{Dp+q}.$$

Denken wir uns zwei Kerne, jeden mit zwei Moleculen, so ist die Bedingung für die Gleichung:

Löslichkeit.	Bläuung mit Jod.	Verhalten gegen Kupferoxydammoniak.
Baftzellen der Rinde. » » Chinarinde. Spiralfaser der Mamillaria. Pilz- u. Flechten-Hyphen.	SO ₄ H. Alle Zellen im Inneren der Pflanze, welche sich durch J und SO ₄ H allein nicht bläuen: die fogen. primäre Membran und Inter-cellular-substanz der Holzzelle und Gefäße; die braunen Gefäßbündelscheiden der Farrenkräuter. 4° Die J- und SO ₄ H-Bläuung tritt erst ein nach vorherigem Kochen in Kali und: Kork, Cuticula, Periderma.	Zellgewebe der Früchte und Wurzeln.

§ 17. Molecularstructure der Membran und der festen Niederschläge ¹⁾.

Alle pflanzlichen, ja alle organischen Häute und festen, nicht krystalinischen Niederschläge kommen darin überein, daß sie nicht homogen elastisch und dicht sind.

Die Folge davon ist, daß sie die Molecularbewegungen, welche von außen durch ein System von Zellen hindurchgehen, Wärme, Electricität, auch den Schall, nicht nach allen Richtungen gleichschnell fortleiten. Aus der Leitungsgeschwindigkeit, welche experimentell für solche Gewebe bestimmt wurde, kann man indeß nicht direct auf die Widerstände in den einzelnen Zellen schließen, da in dem Gewebe in verschiedener Richtung eine Verschiedenheit in der anatomischen Structur herrscht, welche an sich schon eine ungleiche Anzahl von Membranen für gleiche Länge der Bahn in verschiedenen Richtungen mit sich bringt.

¹⁾ H. VON MOHL, Die Untersuchung des Pflanzengewebes mit Hilfe des polarisirten Lichtes. Botan. Ztg. 58. S. 9. (373.) 93. Einige nachträgliche Bemerkungen zu dem Aufsätze: Die Untersuchung des Pflanzengewebes mit Hilfe des polarisirten Lichtes. 373. Botan. Ztg. 58. H. VON MOHL.

$$\frac{Af_0}{(D+d_0)^p} + \frac{Af_1}{(D+d_1)^p} + \frac{Af_2}{(D+d_2)^p} + \frac{Af_3}{(D+d_3)^p} = \frac{Bf_0}{(D+d)^{p+q}} + \frac{Bf_1}{(D+d_1)^{p+q}} + \frac{Bf_2}{(D+d_2)^{p+q}} + \frac{Bf_3}{(D+d_3)^{p+q}};$$

A. Geschwindigkeit der Leitung des Schalles im Holze.

	Längsrichtung parallel der Fafer.	Querrichtung	
		senkrecht zu Fafer und Jahrring.	senkrecht zur Fafer, parallel den Jahrringen.
Eiche	12,622	5,0366	4,229
Kiefer	15,218	4,382	2,572
Tanne	10,900	4,611	2,605
Afpe	16,677	5,297	2,987

Wärmeleitung im Holz¹⁾.

Die Zahlen sind gleich der Ablenkung der Magnetnadel im Galvanometer bei gleicher Lage des Holzstückes, welches zwischen der Wärmequelle und der Thermofäule eingeschaltet ist.

	Parallel der Fafer.	Senkrecht zur Fafer, parallel den Jahrringen.	Senkrecht zu Fafer und Jahrringen.
Eiche . . .	34	9,5	11
Buxbaum .	31	9,9	12
Nußbaum .	28	11	12
Sandelholz .	28	10,9	11
Ulme . . .	24	10,0	11,0

B. Verhalten im polarisirten Lichte²⁾.

Die Doppelbrechung und Polarisation des Lichtes in organischen Membranen und nicht krytallinischen organischen Niederschlägen gewähren einen Einblick in die Molecularstructur der Einzelzelle, der Membran-

¹⁾ TYNDALL, Wärme, überf. von HELMHOLTZ. S. 280 ff. Braunschweig. Vieweg und Sohn. 1867.

²⁾ H. v. MOHL, Bot. Ztg. a. a. O., f. oben S. 121. — VALENTIN, Untersuchungen der Gewebe im polarisirten Licht. Leipzig. Engelmann. 1861. — C. NÄGELI u. S. SCHWEN-DENER, Das Mikroskop, Theorie und Anwendung. 1867. Leipzig. W. Engelmann. — C. NÄGELI, Beiträge zur wissenschaftl. Botanik. 4 Hefte. 1858—68. Leipzig. W. Engelmann. N. J. C. MÜLLER, Bot. Unterf. I. Bd. S. 132 ff., ebend. S. 206 ff.

fallen die vier Moleküle in eine Linie, so ist die Gleichung

$$\frac{A}{Dp} + \frac{2A}{(D+\delta)p} + \frac{A}{(D+2\delta)p} = \frac{B}{Dp+q} + \frac{2B}{(D+\delta)p+q} + \frac{B}{(D+2\delta)p+q}$$

δ drückt die Entfernung der Moleküle in dem einen und dem anderen Kern aus.

Es folgt aus dieser Abhandlung, daß mit dem Heranwachsen der Substanzkerne die Anziehung für Wasser sinkt. Große Kerne, welche aus zahlreichen Stärkemolekülen zusammengesetzt sind, werden eine dünne Wasserhülle besitzen, wie kleine Substanzkerne.

lamelle und' des Niederschlagsindividuum, welchen die Messungen unter A nicht zuließen, weil die experimentellen Schwierigkeiten, in der Kleinheit der Zellen begründet, nicht überwunden werden können.

Zu diesen Studien ist ein praktischer Curfus unerlässlich. Der Interesse wird, ausgerüstet mit einem guten Polarisationsmikroskop (f. NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroskop), beschaffen müssen: dünne Glimmer, Gyps, Kalkspathplättchen, einen dünnen Gypskeil und eine größere Anzahl von natürlichen Membranpräparaten: Durchschnitte durch die Hölzer, Epidermis der Aloë, Haare, Fasern, Stärkemehl, Inulinsphäroide der Dahliaknolle, Schraubenbänder der Gefäße und Tracheiden. Künstliche Membranen mögen hergestellt werden, indem man Stärkekleister (*S*), ebenso Traganth- (*T*)schleim, Collodium (*C*) auf Glasplatten erhärten läßt. Man stelle ferner her: Membranlamellen, welche auf Objectträgern erhärtet und durch wechselnde Schichtung entstanden sind, aus *S, T, S, T* u. f. f., aus *S, C, S*, aus *T, C, T* Endlich tauche man kleine Wackskügelchen, welche an einer Nadel aufgespießt sind, abwechselnd in *S, C, C, T* u. f. f., und ebenso stelle man Röhren aus diesen künstlichen Membranogenen her, indem man ganz dünne Grashalme in die Flüssigkeiten *S, T, C* taucht und um das Modell trocknen läßt, bis eine merklich dicke cylindrische Membran entstanden ist.

1. Versuche mit dem Doppelspath.

Bei gewissen krySTALLINISCHEN Körpern ändert sich die Lichterscheinung eines durchgehenden Strahles je nach der Lage des Körpers zum einfallenden Strahl.

Der Kalkspath z. B. krySTALLISIRT im hexagonalen System, er ist ein Rhomboëder, und die optische Axe ist die Hauptaxe des KrySTALLS, sie verbindet zwei gegenüberliegende stumpfe Ecken. Alle Ebenen durch die kurzen Diagonalen zweier gegenüberstehenden Rhomben sind Hauptschnitte. Läßt man einen Lichtstrahl parallel der optischen Axe durch den KrySTALL gehen, so erleidet derselbe keine Veränderung. In dieser Richtung verhält sich der KrySTALL wie ein isotroper Körper. Der Lichtstrahl aber wird in zwei Strahlen zerlegt, wenn er auf eine Rhombenfläche senkrecht auffällt. Die Ebene, welche durch beide Strahlen gelegt werden kann, liegt im Hauptschnitt. Man nennt denjenigen der beiden Strahlen den ordentlichen, der so durch den KrySTALL geht, wie wenn dieser ein isotroper Glasrhomboëder wäre; der andere, der sogenannte extraordinäre, ist gegen seine ursprüngliche Richtung im Hauptschnitt verschoben.

Sei \sphericalangle eine Figur auf weißem Papier. Wird auf dieses der KrySTALL mit einer feiner Rhombenflächen gelegt, so sehen wir $\sphericalangle \sphericalangle$, das eine derselben dreht sich und macht alle Lagen durch um das andere herum, wenn wir den KrySTALL drehen.

Bezeichnen wir den ordinären Strahl mit \sphericalangle , den extraordinären mit \sphericalangle' , so hat letzterer je nach der Stellung des Hauptschnittes bei einer Drehung des Krystalls um den einfallenden Strahl als Axe folgende Lagen: Fig. 128.

Der Hauptschnitt ist bei dieser Drehung des Krystalls (von rechts nach links) leicht zu erkennen. Er geht von der Ecke α nach der entsprechenden, welche unter β liegt.

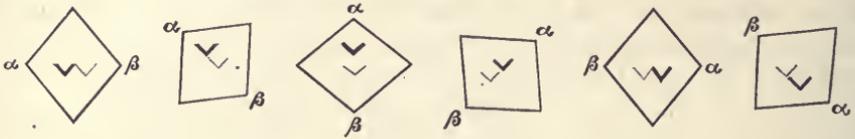


FIG. 128.

Legt man einen zweiten Krystall so, daß er mit seinem Hauptschnitt dem des ersten parallel ist, so beobachtet man bei der Drehung derselben um den Strahl als Axe folgende Erscheinungen:

Wir sehen, wenn die Krystalle parallel liegen, Fig. 129 A, 1, daß dann keiner der beiden aus dem ersten in den zweiten eintretenden Strahlen durch den zweiten Krystall zerlegt wird. Verschieben wir den Haupt-

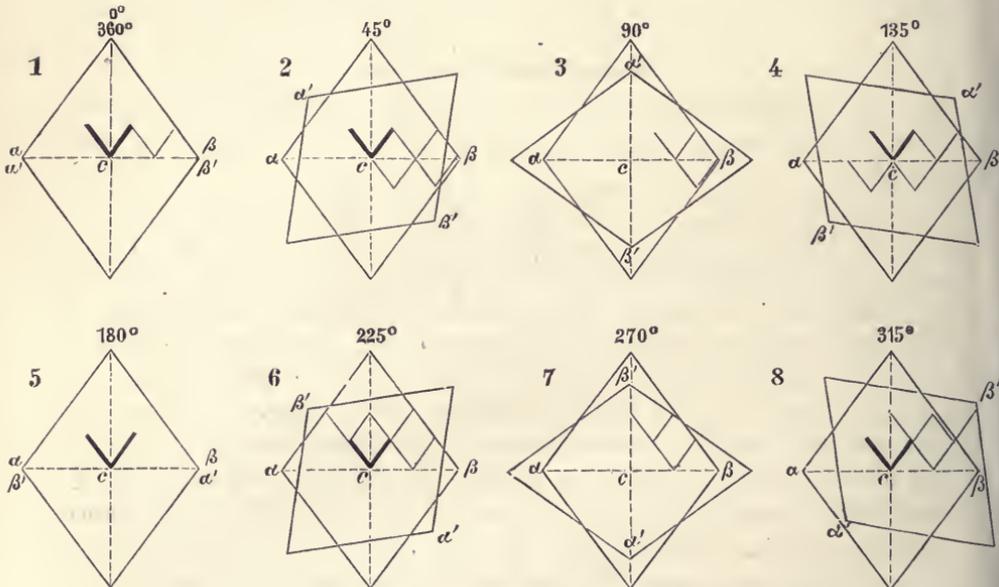


FIG. 129 A. Zur Analyse der hier einschlägigen Phänomene kann man zunächst die Rotation eines Kalkspathes um einen Strahl als Axe, sodann aber auch die Rotation eines solchen Krystalles $\alpha' \beta'$ um einen gleich dicken $\alpha \beta$, welcher bezogen auf den Strahl \sphericalangle festliegt, anwenden. Bei dieser Drehung nach $\overline{12}$ (45°) findet eine Uebertragung beider in dem festliegenden gebrochenen Strahle in den zweiten Krystall statt. Bei einer Drehung um 180° (1 nach 5) wird hingegen nur der ordinäre Strahl durchgelassen. Man nennt den gewöhnlichen Strahl im Hauptschnitt $\alpha \beta$, den außergewöhnlichen senkrecht zum Hauptschnitt polarisirt. Das Schema zeigt dann die Brechung und den Durchgang von \sphericalangle und \sphericalangle' , und da sich \sphericalangle und \sphericalangle' leicht, bezogen auf den Ort c , orientiren lassen, die Lage der Brechungsebenen für \sphericalangle und \sphericalangle' .

schnitt des zweiten Krytalls um 45° , so werden die beiden einfallenden zerlegt, Fig. 2. Schließen die Hauptschnitte Winkel von 90° ein, Fig. 3, so geht nur der extraordinäre durch den zweiten Krytall. Daraus geht im Vergleich mit Fig. 5 hervor, daß die Schwingungen des extraordinären Strahls fenkrecht zum Hauptschnitt stehen. Bei 135° gehen beide, bei der Stellung von 180° , Fig. 5, geht nur der ordinäre Strahl hindurch. Bis auf die Richtung der Verschiebung entsprechen sich dann weiter:

Figur 6 und Figur 2,

» 7 » » 3,

» 8 » » 4 in dem Holzchnitte Figur 129 A.

Das Licht erfährt in dem ersten Krytall eine Veränderung, welche darin besteht, daß es sich nicht mehr allseitig um seine Fortpflanzungsrichtung gleich verhält. Der zweite Krytall ist in seinen kleinsten Theilchen so beschaffen, daß er die neue Eigenschaft des aus dem ersten kommenden Lichtes verräth.

Wir schließen aus den Erscheinungen, daß das Licht im ersten Krytall den zweiten nur in einer Lage unverändert durchsetzt, Fig. 129 A 1. Hier wirkt aber der zweite Krytall nur wie eine Verdickung des ersten.

In zwei anderen Lagen, Fig. 2, 6 und 4, 8, gehen beide Strahlen, der ordentliche und der außerordentliche, in den zweiten Krytall und werden in diesem nochmals zerlegt.

Als ordentlicher Strahl geht das Licht nur in einer Lage durch den zweiten Krytall, nämlich wenn die Ebene, welche wir durch $\vee \vee$ legen, parallel steht zu der Ebene des Hauptschnittes im zweiten Krytall.

Der Hauptschnitt ist die Polarisationsebene des ordentlichen Strahles.

In zwei Lagen, Fig. 3 und 7, stehen die Hauptschnitte fenkrecht und nur der extraordinäre des unteren Krytalls geht durch den oberen. Wir fagen daher: der extraordinäre ist in einer Ebene polarisirt, welche fenkrecht zum Hauptschnitt steht. Steht der Hauptschnitt des zweiten Krytalls zu demjenigen des ersten fenkrecht, so geht der ordentliche Strahl im ersten nicht, der außerordentliche im ersten aber als ordentlicher durch den zweiten Krytall, d. h. er wird zerlegt wie der ursprüngliche Strahl im ersten Krytall.

Bei der Annahme, das Licht bestehe in Transversalschwingungen, müssen dann die Schwingungsebenen der beiden Strahlen im ersten Krytall fenkrecht zu einander stehen. YOUNG und FRESNEL nehmen an, die Schwingungsebene falle mit der Polarisationsebene nicht zusammen, dann gehen die Transversalschwingungen des extraordinären Strahls in dem Hauptschnitt, die des ordinären in einer dazu fenkrechten Richtung vor sich.

Polarisationsapparat.

Um nun einen polarisirten Strahl in's Gesichtsfeld eines optischen Instrumentes zu lassen, wird ein Kalkspathrhomboëder so geschliffen, daß die Flächen $abcd$ und $a'b'c'd'$ senkrecht zu $bb'dd'$ stehen, aber \sphericalangle von 68° mit den Kanten cc' und aa' einschließen. Hierauf wird das so erhaltene Prisma durch eine Ebene in zwei Stücke gefügt, welche senkrecht auf den Schliffflächen $abcd$ und $a'b'c'd'$ und senkrecht auf dem Hauptschnitt $bd d'b'$ steht. Parallel der letzten Schnittfläche werden die beiden Stücke mit Canadabalsam zusammengeklebt. Der ordentliche Strahl erleidet bei der Canadabalsamfläche eine totale Reflexion und wird an der geschwärzten Wand der Fassung verschluckt. Mit zwei solcher Prismen [NICOL'sche Prismen]¹⁾ stattet man ein Mikroskop aus und behandelt die Phänomene, welche bei gekreuzter Stellung beider Polarisationsebenen beobachtet werden. Isotrope Körper sind dann im Gesichtsfeld dunkel, anisotrope hell²⁾.

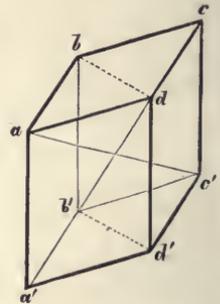


FIG. 129 B.

2. Isotropie und Anisotropie³⁾.

Der Gegenstand, welcher jetzt zu behandeln ist, verdient deswegen ein großes Interesse, weil er optische Eigenschaften behandelt, die allen organischen festen Häuten zukommen, den thierischen sowohl, wie den pflanzlichen.

Es mögen hier nun, ehe zur Theorie der Phä-

¹⁾ NICOL, Lehrer der Physik in Edinburgh. (1768—1851.)

²⁾ Die Literatur, welche in den nachfolgenden Abhandlungen benutzt ist, findet sich in A. BEER, Einleitung in die höhere Optik. Braunschweig bei Vieweg. 1852. — WÜLLNER, Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. I. Leipzig. Teubner. 1853. — MÜLLER (-POUILLET), Lehrbuch der Physik. Bd. I. Braunschweig. Vieweg. 1862. — NÄGELI, Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik. Leipzig. Engelmann. 1858. 3. Heft. — NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroskop. S. 292 ff. Leipzig. Engelmann. 1867.

³⁾ Huighens' Princip und Snell'sches Gesetz.

Die theoretische Physik lehrt die Lichtecheinung als die Bewegung eines unendlich

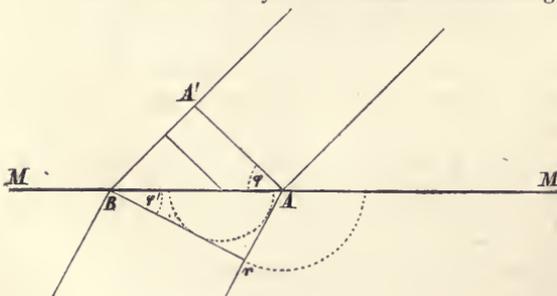


FIG. 130.

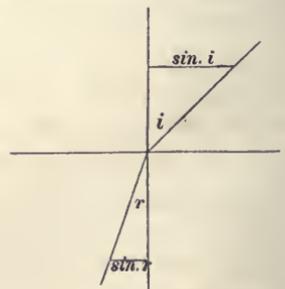


FIG. 131.

nomene gefchritten wird, zunächst die Beobachtungen abgehandelt werden, welche zum Verständniß der Theorie unerlässlich sind. Isotrope Körper, d. h. solche, in welchen das Licht sich nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt, sind: das gleichmäßig abgekühlte und erstarrte Glas, alle Flüssigkeiten, alle Kryttalle des regulären Systems.

Anisotrope Körper sind alle Kryttalle der übrigen Kryttallsysteme, alle organischen Membranen, Zellgewebe, alle sphärischen festen Niederschläge in der Pflanzenzelle, Aleuron, Amylum, die Inulinsphäroide u. a. m., endlich alle künstlichen Membranen, welche unter dem Einflusse der Adhäsion oder unter Zug-, beziehentlich Druckkräften aus einem flüssigen Colloid erstarren. Solche Membranen können hergestellt werden aus Collodium, Tragantfchleim, Gummi arabicum, aus Leim und Stärkekleister, aus Kirschgummi, Salepleim u. a. m.

Alle diese Körper reagiren im Polariskop. Die optischen Phänomene sind aber so mannigfach, daß eine Analyse derselben am besten von den einfachsten Erscheinungen am dünnen Kryttallplättchen ihren Ausgang nimmt. Beschränken wir hierbei die Zahl der Beobachtungen auf das geringste Maaß.

feinen Körpers, des Aethers. Die Richtung, in welcher eine kugelige Welle in diesem Körper fortschreitet, ist der Strahl. Senkrecht zu dieser stellen wir uns undulatorische Bewegungen, der kleinsten Aethertheilchen vor.

Bei der Brechung des Lichts, von welcher Erscheinung aus die Doppelbrechung verstanden wird, haben wir die Beziehung zwischen Ablenkung und Lichtgeschwindigkeit festzustellen. Sei AA' , Fig. 130, ein Theil einer kugeligen Welle (mit der Geschwindigkeit v), die auf das Medium MM auftrifft. In A wird zuerst eine Welle im Medium MM erregt, die sich mit der bestimmten Geschwindigkeit v' durch dasselbe fortpflanzt.

Da die Strecken, durch welche sich die Lichtbewegung fortsetzt, sich wie die Geschwindigkeit verhalten, so wird sich der Weg in einem Mittel ($A'B$) zum Weg im anderen Mittel in derselben Zeit verhalten, wie $v : v'$, und es ist:

$$Ar = A'B \frac{v}{v'}$$

AB aber ist der Sinus des Winkels φ , Ar der Sinus von φ' , mithin

$$\sin \varphi' = \sin \varphi \frac{v}{v'}$$

hieraus ergibt sich:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} = \frac{v}{v'}$$

Da nun für die gegebenen Medien die Geschwindigkeiten v und v' constante sind, so muß das Verhältniß der beiden Sinus auch constant sein, unter welchem Winkel auch die ankommende Welle das Medium trifft.

Ist nun beim Uebergang aus dem einen Mittel in's andere die Quadratwurzel aus der Elasticität durch die Dichte $\sqrt{\frac{e}{d}}$ für letzteres kleiner, wie für's erste, so nähert sich der gebrochene Strahl dem Einfallslot, Fig. 131; ist dagegen $\sqrt{\frac{e}{d}}$ größer, so entfernt er sich.

3. Verhalten dünner Gypsplättchen.

Erfter Versuch.

Wenn die Polarisationsebenen, beziehentlich Schwingungsebenen der beiden Nicols sich unter rechtem Winkel kreuzen, das Gesichtsfeld des Mikroskops dunkel erscheint, legen wir ein dünnes Gypsplättchen, Fig. 132, welches wir aus dem Marienglas abspalten, in das Gesichtsfeld und drehen daselbe um die optische Axe des Instrumentes. Das Plättchen erscheint dann in feiner Interferenzfarbe viermal hell und viermal dunkel. Dieses Phänomen wird ohne Weiteres verständlich aus dem Verhalten der beiden Nicols selbst. In dem unteren Nicol gehen alle Schwingungen nur nach einer, in dem oberen gehen dieselben alle nach der dazu senkrechten Richtung. In dem Plättchen entstehen ebenfalls zwei zu einander senkrecht schwingende Strahlen. Daher muß daselbe bei seiner Drehung in dem Instrument viermal in die Lage gerathen, wo es lediglich wie eine Verdickung der Krytallmasse der beiden Nicols wirkt, Ap , Fig. 135. Diese Stellung nennen die Polarisationsmikroskopiker die orthogonale.

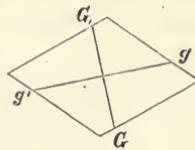


FIG. 132. Gypsplättchen aus dem Marienglas gespalten. G Axe der größten, g Axe der kleinsten Elasticität.

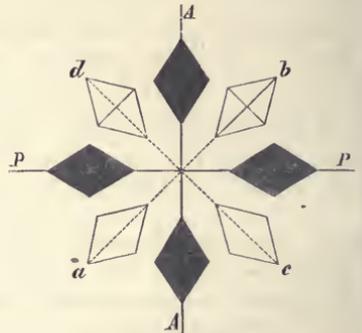


FIG. 133.

Aus der Behandlung der Wellenbewegung in festen, elastischen Körpern ergibt sich (f. Elasticitätslehre) $c = C \sqrt{\frac{e}{d}}$, d. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtbewegung ist der Quadratwurzel aus der Elasticität direct, derjenigen aus der Dichte umgekehrt proportional.

In dem Glas ist, wenn daselbe allseitig gleichartig erstarrt, die Begrenzungsfläche einer von einem im Glas befindlichen leuchtenden Punkt ausgehenden Welle eine Kugel.

Bei isotropen Mitteln ist die Brechung eines einfachen Strahls, wie oben gezeigt, immer dem Gesetz unterworfen, daß

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} = \text{Const.},$$

wie man das Licht auch auffallen lassen mag.

Anders bei den Krytallen, z. B. Kalkspath, hier ist nun in einer Richtung (der Axe) $\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} = \text{Const.}$, in allen anderen veränderlich.

Berechnet man bei verschiedenen Krytallen für alle Einfallswinkel das Verhältniß $\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'}$ und hieraus die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, so findet man in verschiedenen Krytallen die Wellenfläche für den extraordinären Strahl als ein zweiaxiges oder als ein

Jedesmal, wenn das Plättchen bei feiner Drehung von einer orthogonalen Stellung nach der nächsten übergeht, leuchtet es in feiner Interferenzfarbe. Die größte Lichtintensität erhält es, wenn es den halben Weg von einer orthogonalen Lage zur zweiten erreicht hat, wenn feine Polarisations-, beziehentlich Schwingungsebenen Winkel von 45° mit denjenigen der Nicols einschließen. Diese Stellung wird die diagonale genannt. Fig. 133, *adbc*.

Beachten wir nun, daß das Plättchen bei feiner Bewegung einen Ring beschreibe, welcher überall gleich dick mit der Kry stallmasse ausgefüllt ist, so muß dieser Ring das Phänomen des Polarisationskreuzes zeigen. Er besitzt vier helle Quadranten, welche durch vier dunkle Radian von einander getrennt sind. Denken wir uns diese Scheibe bei sonst unveränderter Lage aller Theile des Instrumentes in ihrer eigenen Fläche rotiren,

dreiaxiges Ellipsoid, die des ordentlichen Strahls ist eine Kugel. Das Ellipsoid ist nun zur optischen Axe zu orientiren.

Wellenbewegung.

Wir haben die Aufgabe, eine Gleichung für die Bewegung eines Punktes zu finden, welche uns den Ort und die Bewegungsgröße des Punktes ergibt.

Dabei wird vorausgesetzt, daß die Kraft im Punkt proportional seiner Entfernung von der Gleichgewichtslage sei. Ist diese Kraft im Abstand y von der Gleichgewichtslage ψ und p eine Constante, so ist

$$\psi = -p y.$$

Das negative Zeichen deshalb, weil der Punkt sich der Richtung entgegen zu bewegen strebt, in welcher er aus der Gleichgewichtslage entfernt wurde.

Ist K die Beschleunigung durch ψ , m die Masse des Punktes, so ist

$$K = \frac{p}{m},$$

und ist φ die Beschleunigung im Abstände y , so ist

$$\varphi = -K y.$$

Daraus geht hervor, daß die Amplitude ohne Einfluß ist auf die Dauer einer Oscillation, denn mit dem Abstand wächst die Geschwindigkeit.

Bedeutet α Amplitude, T Schwingungsdauer, t Zeit für die Bewegung aus der Gleichgewichtslage nach dem Orte y , so ist nach der analytischen Mechanik

$$y = \alpha \sin 2 \pi \frac{t}{T},$$

und wenn wir die Geschwindigkeit für den Punkt suchen, müssen wir y differenziren

$$\frac{dy}{dt} = v \left(\begin{array}{l} \text{f. Mechanik} \\ \frac{\Delta y}{\Delta t} = v \end{array} \right)$$

$$v = \alpha \frac{2 \pi}{T} \cos 2 \pi \frac{t}{T} = \beta \cos 2 \pi \frac{t}{T}.$$

Die Beschleunigung ist $\frac{dv}{dt} = \varphi = -\alpha \frac{4 \pi^2}{T^2} \sin 2 \pi \frac{t}{T}$, worin

$$K = \frac{4 \pi^2}{T^2}, \varphi = -\frac{4 \pi^2}{T^2} y \text{ ist.}$$

fo ändert sich die Lichtercheinung in keiner Weise. Die Lage der hellen Quadranten und des dunkeln Radienkreuzes bleibt dieselbe. Genau fo würde sich ein Ring verhalten, den wir beschreiben mit demselben Gypsplättchen, indem wir eine oder die andere feiner Diagonalen als eine feste Axe, als

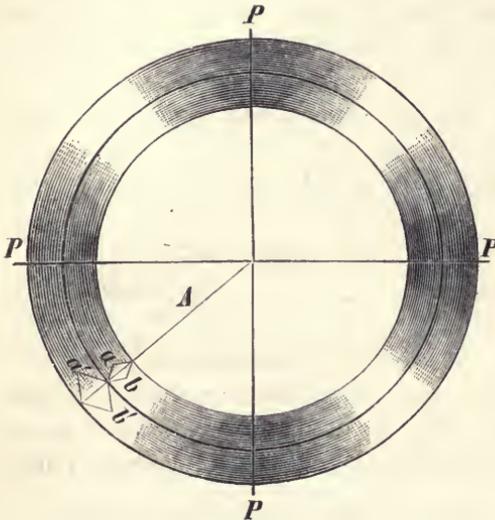


FIG. 134. Das Polarisationskreuz, aus zwei rotirenden Gypskristallen konstruiert, welche Weiß oder Bläulichweiß der ersten Ordnung zeigen.

Leitstrahl benutzen, welcher das Plättchen um den Mittelpunkt eines Kreises führt, in welchem der Leitstrahl drehbar gedacht wird.

Zweiter Versuch.

Wir können den Leitstrahl einmal in die Diagonale der stumpfen Winkel an unserem Gypsplättchen legen, den vorbeschriebenen Ring herstellen, sodann aber einen zweiten Ring beschreiben, indem wir den Leitstrahl in die Diagonale der spitzen Winkel legen, Fig. 134. Bei der bis jetzt herrschenden Anordnung des Instrumentes werden beide Ringe genau die-

Der Punkt ist nach $y = a \sin 2\pi \frac{t}{T}$ in der Gleichgewichtslage, wenn $y = 0$, $t = \frac{1}{2} T$, $t = T$, $t = \frac{3}{2} T$, $t = \frac{5}{4} T$. Ist $y = a$, so ist $t = \frac{1}{4} T$, $\frac{5}{4} T$, $\frac{9}{4} T$. Der Punkt ist im Wellenberg nach der einen Seite. $y = -a$, $t = \frac{3}{4} T$, $\frac{7}{4} T$, $\frac{11}{4} T$. Der Punkt ist im Wellenberge nach der anderen Seite (Fig. 135).

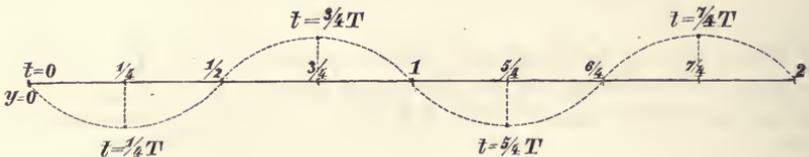


FIG. 135.

Die Oscillationsdauer T ist aus einer der Gleichungen

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{K}} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}} = 2\pi \sqrt{\left(\frac{I}{m}\right)}$$

für das Medium m eine constante.

Der Aetherpunkt oscillirt zwischen a a' (C , Fig. 136, ist seine Gleichgewichtslage), nach $\frac{1}{2} T$ der Oscillationsdauer ist er in y' . Der Kreisumfang ist in 12 Theile getheilt und bedeutet die Dauer der Oscillation T .

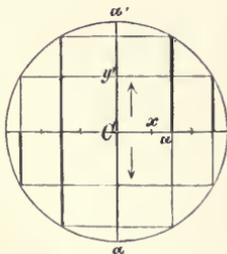


FIG. 136.

Die Cosinus der \sphericalangle sind dann die Geschwindigkeiten nach

felbe optische Reaction zeigen, wiewohl doch ihre moleculare Structur wesentlich verschieden ist. Um den Unterschied in der molecularen Anordnung zu studiren, beachten wir zunächst das Folgende:

Die Interferenzfarben an der Schneide eines Gypskeiles sind in diagonalen Stellung derselben für die erste Ordnung Eifengrau, Graublau, Weiß, Gelb, Roth und für die zweite Blau, Grün, Gelb, Roth.

Mit Leichtigkeit kann man nun ein solches Gypsplättchen von der Dicke a , Fig. 140, spalten, welches die Interferenzfarbe Roth I in diagonalen Stellung zeigt. Ein solches Plättchen legen wir auf den unteren Nicol einmal für allemal fest. Wir spalten nun ein zweites Plättchen, welches, zu dem ersten addirt, die Interferenzfarbe Blau IIter Ordnung, vom ersten Plättchen subtrahirt, Gelb Iter Ordnung ergibt.

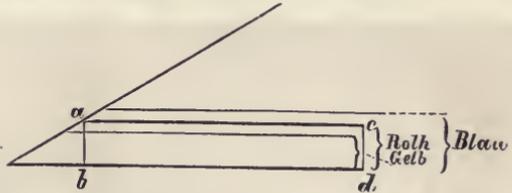


FIG. 137. Gypskeil. Schematisch. Die durch die drei Klammern bezeichneten Dicken ergeben Gelb, Roth I, Blau II.

Dieses Additionsplättchen zeigt aber für sich allein im Polarisirkop und in diagonalen Stellung etwa Bläulichweiß der ersten Ordnung. Führen

$v = \beta \cos 2 \pi \frac{t}{T}$ und die Sinus sind die Orte, in denen sich der Punkt befindet.

Nach $y' = \alpha \sin 2 \pi \frac{t}{T}$ ergibt sich alsdann aus den trigonometrischen Functionen:

$$v = 0 \quad y = \alpha \quad \text{für} \quad \frac{t}{T} = 1/4,$$

$$v = \beta \quad y = 0 \quad \text{»} \quad \frac{t}{T} = 1/2,$$

$$v = 0 \quad y = -\alpha \quad \text{»} \quad \frac{t}{T} = 3/2,$$

$$v = \beta \quad y = 0 \quad \text{»} \quad \frac{t}{T} = 2.$$

Optisch einaxige positive Krystalle werden diejenigen genannt, bei welchen die optische Axe mit der Axe eines flachen Rotations-Ellipsoïds zusammenfällt, AA , Fig. 138.

FIG. 138. Optisch einaxig positive Wellenfläche. AA optische Axe.

Die Geschwindigkeit der außerordentlichen Strahlen ist hier größer wie die der ordentlichen. Der Brechungsexponent $\frac{\sin i}{\sin r}$ der ordentlichen ist größer als der der außerordentlichen (Kalkspath).

Das Ellipsoïd der Dichte aber ist nach $c = \sqrt{\frac{e}{d}} C$ das reciproke Elasticitätsellipsoïd der Substanz.

Optisch einaxig negative Krystalle zeigen die Wellenfläche der beistehenden Fig. 139. Die Geschwindigkeit der ordentlichen ist größer als

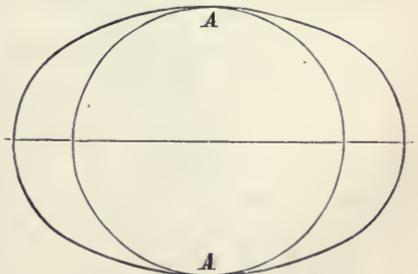


FIG. 139. Optisch einaxig negative Wellenfläche. AA optische Axe.

wir nun mit diesem Plättchen jene beiden Rotationen aus, während $ABCD$, das rothe Plättchen, in diagonaler Stellung festliegt, so erhalten wir zwei Ringe. Im inneren steht die Diagonale der stumpfen, α , im äußeren Ring steht die Diagonale der spitzen Ecken im Leitstrahl, β , Fig. 140.

Dritter Versuch.

Wir legen nun auf dasselbe Plättchen $ABCD$, Fig. 140, einen Glasring, welchen wir von einer 3—4 mm dicken Glasröhre abgespalten

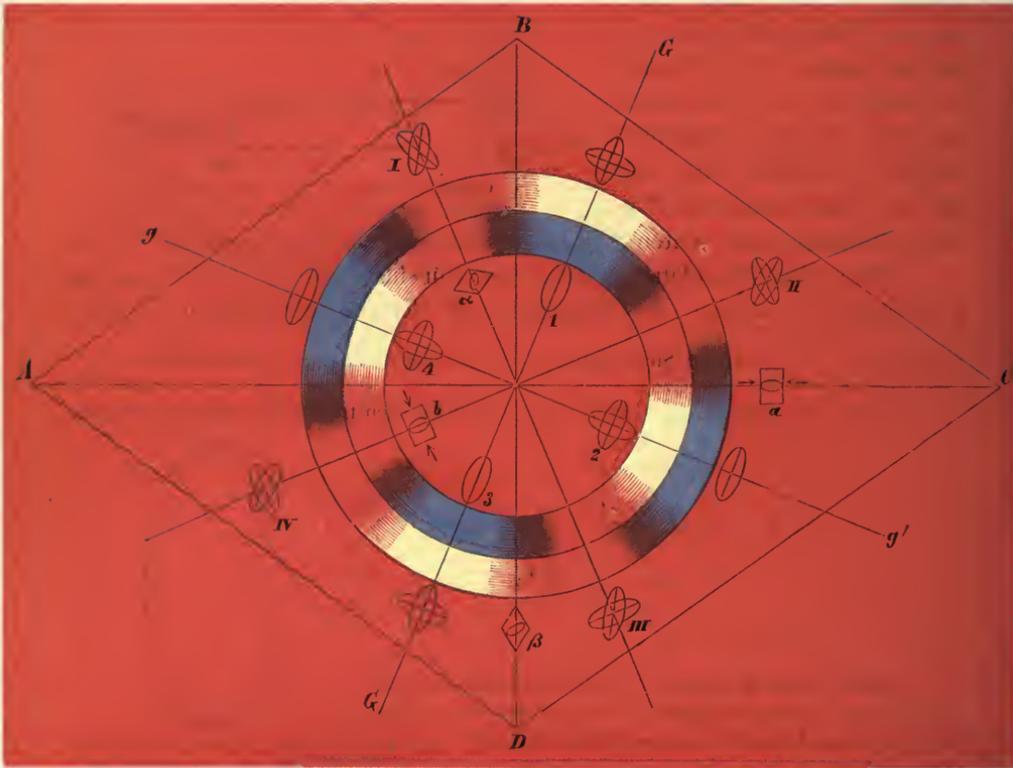


FIG. 140. $ABCD$ ist ein Gypsplättchen von Roth I. G ist die Richtung der größten, g die Richtung der kleinsten Elasticität. Im inneren Farbenring rotirt ein Gypsplättchen Bläulichweiß erster Ordnung α oder ein in Richtung der Pfeile comprimirtes Glaswürfelchen b . Im äußeren Farbenring rotirt ein gleiches Gypsplättchen β oder ein Glaswürfelchen, welches in Richtung der Pfeile a comprimirt ist. 1, 2, 3, 4 die Lage der Elasticitätsellipsen im festliegenden Gypsplättchen zu denjenigen des rotirenden. Im äußeren Ring haben diese die umgekehrte Lage, in allen diesen Quadranten aber schneiden sich die ungleichnamigen Elasticitätsachsen unter rechtem Winkel oder sie fallen zusammen, 1, 3 innen, 2, 4 außen. In den mit I, II, III, IV bezeichneten Stellen schneiden sich die Elasticitätsellipsen unter Winkeln von 45° .

die der außerordentlichen (BIOT 1814). Der Brechungsexponent der außerordentlichen ist größer als der der ordentlichen Strahlen. AA ist die optische Axe, das innere Ellipsoid ist das Ellipsoid der Dichte. Das Ellipsoid der Elasticität liegt umgekehrt, die große Axe senkrecht zu AA .

Die Lichtbewegung steht nun, wie nachweislich, in enger Beziehung zur Elasticität. Denken wir uns einen elastischen Stab von elliptischem Querschnitt, so werden zu-

haben. In demselben erscheinen die Additions- und Subtractionsquadranten genau so vertheilt, wie unsere Figur 140 zeigt. Es geht daraus hervor, daß der Glasring ähnliche Spannkkräfte besitzen muß, wie die Kryfallmasse des Gypses selbft. Dieß beruht darin, daß in dem Glasringe Compressions- und Expansionskräfte herrschen, welche nun zu unterfuchen find.

4. Verhalten gepreßter Glasplatten.

Wird mit Hilfe einer Schraubenklammer ein isotropes Glaswürfelchen

nächst zweierlei Schwingungen möglich sein, je nachdem der Stab parallel seinem großen oder parallel seinem kleinen Durchmesser gezerrt wird. Ein solcher Anstoß bringt aber zwei Wellen parallel dem großen und dem kleinen Durchmesser zu Stande, wenn er in einer Richtung zwischen beiden Hauptdurchmessern erfolgte.

Für die Lichtbewegung wird daher der mit der Wellenfläche parallel gehende

Querschnitt des Ellipsoïds maßgebend sein, d. h. die einfallende Lichtwelle wird bei den einaxigen Krytallen nicht in zwei zerlegt, wenn sie parallel der Hauptaxe geht, denn der Querschnitt des Elasticitätsellipsoïds ist in beiden Fällen ein Kreis. (Fig. I in 141 Elasticitätsellipsoïd der optisch einaxig negativen, Fig. II Elasticitätsellipsoïd der optisch einaxig positiven. Die Ebene RR ist ein Kreis.)

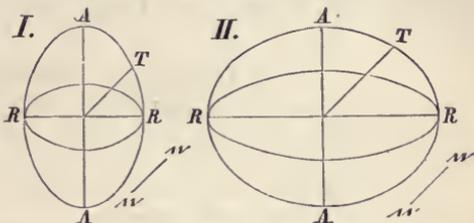


FIG. 141.

Fällt aber die Welle parallel einer anderen Richtung in den Körper, so wird sie in zwei zerlegt; der Diametralschnitt (Durchschnitt durch das Ellipsoïd parallel der Oberfläche der einfallenden Welle) ist dann eine Ellipse. Die Schwingungsebenen beider Wellen stehen zu einander senkrecht, wie im Stabe. Die durch die Schwingung erregte Elasticität ist proportional dem Quadrat von ot , Fig. 142, sie ist, wenn m eine Constante:

$$e = m \overline{ot}^2 = m \rho^2, \quad \rho \text{ der Leitstrahl in der Ellipse,}$$

und nach der Gleichung für die Ellipse ist die erregte Elasticität

$$E = m (\beta^2 \cos^2 \varphi + a^2 \sin^2 \varphi).$$

Fällt nun eine ebene Welle $w w$, Fig. 142, auf das doppelbrechende Medium AA , dessen Elasticitätsellipsoïd in die Masse construirt ist, so kommt der den Winkel φ mit der Axe AA machende Diametralschnitt für unsere Welle zur Wirkung, weil die Elasticität in der Richtung der Schwingungen und nicht die Elasticität in der Richtung des Strahles maßgebend ist.

os ist die Richtung kleinster, ot die Richtung größter Elasticität.

Die beiden entstandenen Wellen haben ihre resp. Schwingungsebene in os und ot , zwei Richtungen, die zu einander senkrecht in einer Ebene liegen, welche um den Winkel ψ von der Axe abweicht.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit beider Wel-

len ist aus $c = C \sqrt{\frac{e}{d}}$ leicht zu finden.

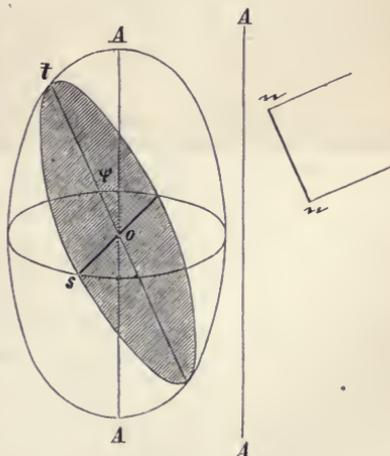


FIG. 142.

von zwei Seiten gepreßt, so nimmt die Annäherung der Theilchen in der Richtung der Pressung zu. Die Dichte wird in dieser Richtung größer fein, wie in der dazu senkrechten. Ein solches Würfelchen wird sich wie ein Gypsplättchen verhalten, und durch die Größe des Druckes, beziehentlich die Dicke der Glasmasse haben wir es in der Hand, bei der Rotation deselben im Polariskop genau dieselben Interferenzphänomene hervorzurufen, welche wir bei der Rotation des Additionsplättchens auf dem festliegenden Plättchen von Roth I beobachteten. Wir lassen das gepreßte Würfelchen zuerst, rotirend, einen Ring beschreiben, so daß der Leitstrahl senkrecht steht zur Richtung, in welcher die Compression erfolgt, *b*, Figur 140. Sodann beschreiben wir mit demselben Glaswürfel einen zweiten Ring, indem wir den Leitstrahl mit der Richtung der Compression zusammenlegen, *a*, Figur 140. Dieser entspricht dem äußeren Farbenring der Figur 140.

5. Verhalten von Glasringen und Glasröhrchen.

Wie schon angedeutet, zeigen dünne Glasröhrchen, im Querschnitte betrachtet, immer deutliche Reaction auf das polarisirte Licht, welche

Die Elasticität im Aequatorialdurchmesser *os* sei α , die Welle, die parallel *os* schwingt, erregt somit die Elasticität

$$e = m \alpha^2,$$

und ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist

$$\omega = C \sqrt{\frac{m \alpha^2}{d}}, \text{ und wenn } C \sqrt{\frac{m}{d}} = A, \text{ so ist } \omega = A \alpha.$$

Wird die Lichtbewegung vom Punkt ω ausgehend gedacht, so ist ihre Wellenfläche nach der Zeit *t* eine Kugel, deren Radius ωt ist.

Die Schwingungsrichtung der zweiten Welle geht mit *ot* parallel und macht den Winkel $90 - \varphi$ mit der Axe. Die durch sie erregte Elasticität ist

$$e = m \omega^2 t^2$$

und hieraus ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit

$$c = C \sqrt{\frac{m \omega^2 t^2}{d}} = A \omega t.$$

Die Wellenfläche nach dem Elasticitätsellipsoid zu construiren, ist nunmehr leicht möglich; die der ordinären ist eine Kugel oder ein Ellipsoid, die der extraordinären ein Ellipsoid oder eine Kugel, wir construiren nur die ellipsoïdische.

Ist *AA*, Fig. 143, ein Hauptschnitt, *ot* die Schwingungsrichtung, so ist

$$ot = \sqrt{\beta^2 \cos^2 (90 - \varphi) + \alpha^2 \sin^2 (90 - \varphi)} = \sqrt{\beta^2 \sin^2 \varphi + \alpha^2 \cos^2 \varphi}.$$

Der Abstand *d* ist aber aus der Geschwindigkeit *c* und der Zeit *t* leicht zu finden:

$$d = ct,$$

und hierin ist (nach früherer Gleichung):

$$d = A \sqrt{\beta^2 \sin^2 \varphi + \alpha^2 \cos^2 \varphi} t,$$

und für die Zeiteinheit

$$d = \sqrt{A^2 \beta^2 \cos^2 \varphi + A^2 \alpha^2 \cos^2 \varphi}.$$

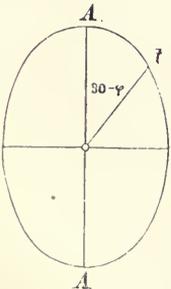


FIG. 143.

außerordentlich verstärkt wird, wenn man ein Gypsplättchen (Roth I) über dem Polarifator einschaltet. Stets findet sich dort im Glasring eine comprimirte innere, eine expandirte äußere Schale. Es entstehen somit die Additions- und Subtractionsquadranten zu dem Roth I mit Gelb und Blau mit wechselnder Lage in den beiden Schalen. Durch Erwärmen wird die Spannung vergrößert und es nimmt die Intensität der Interferenzfarbe zu.

Aa ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes parallel der Axe AA Fig. 143, β^2 ist der Elasticität in Richtung der Axe proportional. $A\beta$ ist also die Geschwindigkeit senkrecht zur Axe, sie ist dem reciproken Werth des Brechungsexponenten proportional; bezeichnen wir sie mit ε , so wird

$$d = \sqrt{\varepsilon^2 \cos^2 \varphi + \omega^2 \sin^2 \varphi}.$$

ω und ε sind die Halbaxen des Ellipsoïds, welches die Wellenfläche darstellt, und zwar ist

ω gleich der kleinen Halbaxe der Ellipse TT , Fig. 144,
 ε gleich der großen Halbaxe OT .

Nennen wir x die Abstände der Punkte der liegenden Ellipse, TT , Fig. 144, von der kleinen Axe, y die von der TT -Axe, so besteht für die Lage eines Punktes die Gleichung

$$\frac{x^2}{\varepsilon^2} + \frac{y^2}{\omega^2} = 1 \quad (I).$$

Ist br die ot parallele Tangente, die mit der Axe AA den $\sphericalangle 90 - \varphi$ macht, so besteht die Gleichung für die Punkte der Tangente:

$$y = \tan \varphi \cdot x + q \quad (II).$$

Wird $x = 0$, so wird $y = q$; hieraus folgt

$$q = oR.$$

oR ist gleich dem Abstand des Punktes, in welchem die Tangente die Axe der aufrechten Ellipse schneidet. Für os , welches senkrecht auf br steht, erhalten wir:

$$\frac{o s}{o R} = \sin oRs,$$

$$Os = q \cdot \cos \varphi.$$

Sind die Ordinaten des Berührungspunktes $b \cdot x' y'$, so ist (analyt. Geometrie)

$$y = -\frac{\omega^2 x'}{\varepsilon^2 y'} x + \frac{\omega^2}{y'} \quad (III).$$

Diese Gleichung geht in (I) über, wenn x zu x' und y zu y' wird, wodurch ihre Richtigkeit erwiesen ist. Wir können nun aus (I) und (II) die folgende Gleichung erhalten:

$$-\frac{\omega^2 x'}{\varepsilon^2 y'} = \tan \varphi; \quad q = \frac{\omega^2}{y'}, \quad \text{und somit } os = \frac{\omega^2}{y'} \cdot \cos \varphi.$$

Wird der Abstand os durch den Winkel φ und durch die Halbaxen ω und ε ausgedrückt, so erhalten wir aus den Werthen für y' und $\tan \varphi$:

$$\frac{1}{\varepsilon^2} = \frac{y'^2}{\omega^4} \left(\tan^2 \varphi + \frac{\omega^2}{\varepsilon^2} \right) \quad \text{oder} \quad \frac{\omega^2}{y'} = \sqrt{\varepsilon^2 \tan^2 \varphi + \omega^2}$$

und endlich:

$$os = \frac{\omega^2}{y'} \cos \varphi = \sqrt{\varepsilon^2 \sin^2 \varphi + \omega^2 \cos^2 \varphi}.$$

Dieser Ausdruck ist dem für d gefundenen identisch. Hieraus folgt, daß die Wellenfläche, welche von einer in dem Erregungspunkt o entstehenden Lichtbewegung ausgeht, ein Rotationsellipsoïd ist, welches um die Richtung oR , Fig. 144, als Axe beschrieben wird.

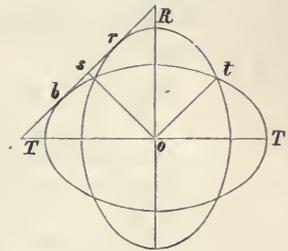


FIG. 144.

Es geht aber aus der optischen Analyse hervor, daß die Theilchen im inneren Ringe so durch den Druck afficirt sind, daß sie, sich selbst überlassen, in tangentialer Richtung von einander fliehen würden, f. b, Figur 140; in radialer Richtung würden sie sich einander nähern. Umgekehrt liegt die Sache in der äußeren Schale. Dort würden sich die Theilchen (siehe a, Figur 140) in radialer Richtung fliehen und in tangentialer

Elasticitätsfläche in zweiaxigen Krystallen.

FRESNEL macht hier die Annahme, daß die Elasticität des Aethers nach allen durch einen Punkt gelegten Richtungen verschieden sei. Nach drei zu einander senkrechten Richtungen werden die Axen der Elasticität ungleich sein.

Sind ox, oy, oz diese Axen, so wird die Elasticität, die erregt wird durch eine Schwingung, die parallel OR geht, wenn α, β, γ die \sphericalangle dieser Richtung mit der xyz -Axe sind, sein:

$$r^2 = a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \cos^2 \beta + c^2 \cos^2 \gamma \quad (\text{f. analyt. Geometrie}),$$

und wenn α, β, γ alle möglichen Werthe annehmen, erhalten wir die Elasticität nach allen durch O gelegten Richtungen.

Die Endpunkte von r liegen auf einer rings geschlossenen Ebene, deren Axen abc sind, wo $a > b > c$ ist (dreiaxiges Ellipsoïd).

Ein durch den Schnittpunkt der Axe gelegter Diametralschnitt wird, wenn er rotirt, zweimal das Ellipsoïd in einem Kreis schneiden.

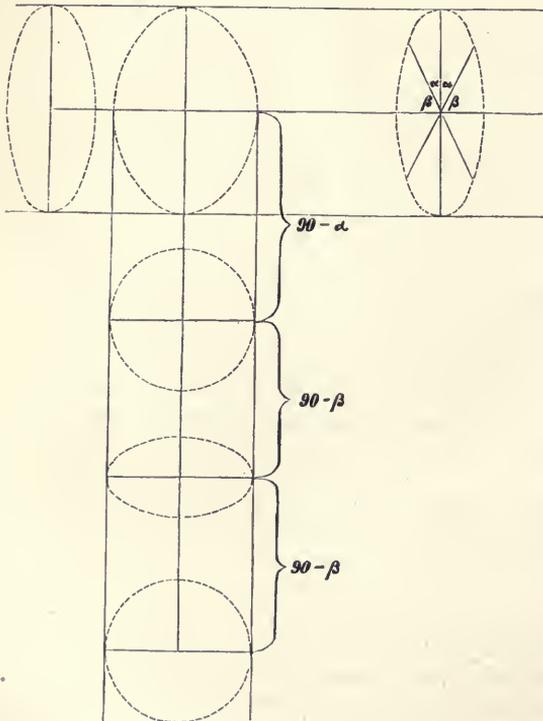


FIG. 145.

Möge das Licht senkrecht zur Ebene des Papiers, Figur 145, durch ein optisch zweiaxiges Medium fallen, dessen Elasticitätsellipsoïd in dieselbe Ebene projectirt sein soll. In der oberen Figurenreihe kommt dann links die Axe der größten und der kleinsten Elasticität zur Wirkung. Drehen wir das Object um die große Axe, so kommt diese und die mittlere und endlich wieder die große und die kleinste Elasticitätsaxe zur Wirkung. Drehen wir aber in der mittleren Lage der in der Figur von links nach rechts verzeichneten Rotation das Object um die mittlere Axe um 90° , so kommt eine Ellipse zur Wirkung, welche die Axen der kleinsten und mittleren Elasticität aufnimmt. Ehe diese Lage erreicht wird und nachdem die Rotation die Werthe $(90^\circ - \alpha)$ oder $90^\circ - \beta$ (f. die Figur rechts oben) zurückgelegt hat, wird die wirk-

nähern. Da aber der Ring eine Verlöthung aller Molecularschalen ist, so halten sich die antagonisfischen Zugkräfte das Gleichgewicht, d. h. die Cohäsion der Theilchen überwindet die Zugkräfte, welche den Ring in concentrische Schalen zu zerlegen streben.

Wirkt der innere Ring dort durch einen radialen Druck gleichmäßig expandirend auf den äußeren, so wird der erstere positiv, der letztere negativ gespannt. Beide mögen in dem Zeitpunkt der Entstehung isotrop und nicht völlig erhärtet sein; in dem Momente aber, wo sie erhärten, möge die vorgenannte Spannung noch herrschen. Nach diesem Uebergang aus dem plastischen in den starren Zustand muß alsdann das System anisotrop sein, wie es das Schema für die radiale Vertheilung wirklich doppeltbrechender Krytalle darstellt.

Beim Abmustern zahlreicher Glasröhren fand ich einen Ring, welcher so gekühlt war, daß er, bezogen auf ein Gypsplättchen Roth I, genau die Erscheinungen des Schema Fig. 140 zeigte. Er muß somit aus zwei Schalen bestehen, von welchen die innere positiv, die äußere negativ gespannt ist. In der inneren herrschen Abstoßungskräfte, in der äußeren Anziehungskräfte.

Wird der Ring einmal erkältet und einmal erwärmt, so verhält er sich bezüglich der inneren Spannung wie die trockene Membran, wenn wir sie einmal in Canadabalsam, einmal in Wasser legen. In unserem Glasringe, in welchem, wie schon gesagt, die beiden Schalen, Fig. 140, zusammen verschmolzen sind, wachsen wechselnd die blauen oder gelben Quadranten. Wächst die Temperatur, so wachsen die gelben Quadranten und es wandert der Lichteffect über die blauen. Sinkt die Temperatur, so wächst Blau und es wandert der Lichteffect über die gelben Quadranten. Man sieht somit, daß bei dem starren Glase durch die Temperatur

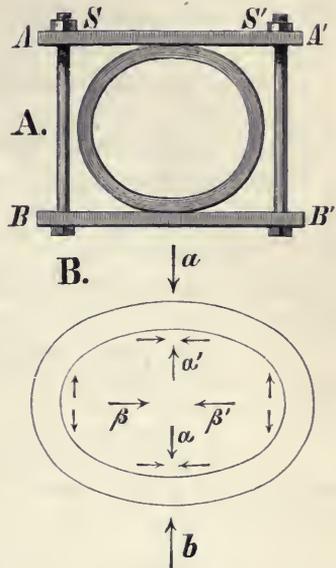


FIG. 146. In dem Glasringe sind die Anziehungs- und Abstoßungskräfte bei einer einseitigen Compression in Richtung der Pfeile $a\ b$ durch den im Text beschriebenen Klammer-Apparat A so vertheilt, wie die Pfeile andenten. $\alpha\ \alpha'$ die Abstoßung. $\beta\ \beta'$ die Anziehung in dem ganzen Ringe. In jedem Theile der Wand sind diese Kräfte nochmals polarisirt, wie man aus der Addition und Subtraction sieht, wenn der Ring in das Polarisationsmikroskop gelegt wird.

fame Ellipse zum Kreis mit der mittleren Axe der Elasticität als Radius. Zweimal kann dieses Ellipsoid durch Kreisflächen geschnitten werden. Die Normalen zu diesen Flächen werden optische Axen genannt. Der Winkel, welchen beide einschließen, wird von der Axe der größten Elasticität halbirt. Bei verschiedenen doppeltbrechenden Massen ist dieser sehr verschieden groß. Man theilt aber alle Krytalle nach dem Werth dieses Winkels in zwei Klassen:

ähnliche Spannkkräfte erregt werden, wie in den Membranen durch präexistirende, während der Evolution entstandene Molecularkräfte. In unferem Glasring muß mit wachsender Temperatur, mit Vergrößerung der Molecularabstände die Intenfität des Lichteffectes wachsen, weil die Spannung zunimmt.

Man kann diese optischen Phänomene noch deutlicher mit Hilfe des Apparates Fig. 146 studiren. Ziehen wir die Schrauben, welche den Glasring Fig. 146 in eine Ellipse verwandeln, an, so steigert sich im Polarisirte die Interferenzfarbe. Jetzt ist aber im Großen und Ganzen die Dichte in der Richtung der Pfeile *a b* größer, während die Ellipse der Elasticität mit ihrer großen Axe senkrecht zu *a b* steht, d. h. die Elasticitätsellipse fällt, da sie den reciproken Werth der Dichtigkeitsellipse hat, mit der Ellipse *B*

Ist der von der Axe größter Elasticität halbirte Winkel der beiden Kreisflächen ein spitzer, so ist derselbe Winkel zwischen den optischen Axen ein stumpfer; solche Krytalle heißen:

Zwei axig positive.

Ist der von der Axe größter Elasticität halbirte Winkel der beiden Kreisflächen ein stumpfer, so ist derselbe Winkel zwischen den optischen Axen ein spitzer; solche Krytalle heißen:

Zwei axig negative.

Sind durch Beobachtung die Winkel zwischen den optischen Axen gegeben, so kann die Wellenfläche construirt werden.

Sind in Fig. 147 die Axe größter Elasticität und die Kreischnitte verzeichnet, und *c c* die Axe kleinster }
 und *c c* die Axe kleinster }
 und schneidet man aus der Substanz ein Prisma, dessen Grenzflächen senkrecht zur Ebene der Zeichnung, also senkrecht zur Ebene der optischen Axen stehen, so nimmt die brechende Kante die Axe der mittleren Elasticität auf. Ein senkrecht zur brechenden Kante durch das Prisma gehender Strahl wird in zwei zerlegt, von welchen einer den gewöhnlichen Brechungsgesetzen folgt, dessen Brechungscoefficient = *const* ist.

Ist *const* = β , so wird die Geschwindigkeit im Krytall *v_c* gefunden (nach S. 126)

$$\beta = \frac{v}{v_c}, \text{ wo } v \text{ die Geschwindigkeit des Lichts in Luft bedeutet.}$$

v_c ist aber = *Ab* und daraus *b* die mittlere Elasticität

$$b = \frac{v}{A\beta} = \frac{c}{\beta}.$$

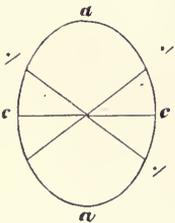


FIG. 147.

Schleifen wir ein zweites Prisma, dessen Seiten der ersten Mittellinie parallel sind, so bestimmen wir den Brechungsexponenten γ und daraus die kleinste Axe *c*, wenn die brechende Kante dieses Prisma's die Axe kleinster Elasticität aufnimmt.

In ähnlicher Weise wird *a* bestimmt, wenn in dem nach der ersten Mittellinie orientirten Prisma die große Elasticitätsaxe parallel geht, mithin wenn $\alpha \beta \gamma$ die Brechungsexponenten, so verhalten sich

$$a : b : c = \frac{1}{\alpha} : \frac{1}{\beta} : \frac{1}{\gamma}.$$

Zu diesen experimentellen Bestimmungen ist nur die Kenntniß der Ebene erforderlich, welche die optischen Axen aufnimmt.

des gepressten Ringes zusammen. Daher erscheint der Glasring, wenn er auf einem Gypsplättchen Roth I rotirt, dann additionell, wenn seine größere Axe mit der großen Elasticitätsaxe im Plättchen zusammenfällt.

Wenden wir uns nun zu jenen beiden Ringen Fig. 140 zurück. Stellen wir uns vor, dieselben feinen Membrandurchschnitte aus pflanzlichen oder thierischen Zellen, so geht aus den Versuchen hervor, daß das Phänomen auf zweierlei Weise erklärt werden kann:

I^o Die Ringe sind aus krySTALLINISCHEN Moleculen zusammengesetzt, welche streng gefetzmäßig um das Centrum des Durchschnitts geordnet sind, derart, daß immer für alle die gleiche KrySTALL-, beziehungsweise Elasticitätsaxe mit dem Radius zusammenfällt.

II^o Die gedachten Membranringe bestehen aus erhärteter colloïdaler Masse, in welcher die Compression, beziehentlich Expansion, allgemein die Spannung in allen Membranelementen gleichmäßig vertheilt ist.

Construction der Wellenfläche der zweiaxigen Krystalle.

Nehmen wir zunächst an, die Lichtbewegung pflanze sich in einer Richtung fort, welche in der Ebene der optischen Axe liegt, also auch in der Ebene der größten und kleinsten Elasticität, so wird der Diametralschnitt der Elasticitätsfläche die Ellipse mit den Axen b und a oder c sein. Eine Elasticitätsrichtung wird unveränderlich b sein, eine andere der beiden kann aber den Werth a oder c oder einen zwischen beiden erhalten.

Wenn das einfallende Licht nicht polarisirt ist, so wird es in zwei Wellen zerlegt, von welchen die eine eine Kugel, die andere ein Ellipsoid ist.

Die Kugel ist mit dem Radius b , das Ellipsoid ist mit den Axen c und a beschrieben; daraus folgt, da $a > b > c$, daß die Rotationsfläche dieser beiden Wellenflächen folgende Gestalt hat:

$$\frac{1}{I_2} = \frac{a}{2}, \quad \frac{1}{I_3} = \frac{b}{2}, \quad \frac{1}{I_4} = \frac{c}{2}, \quad \text{Fig. 148 bis 150.}$$

Geht die Lichtbewegung parallel einer Ebene, welche die Axe mittlerer b und kleinster c Elasticität aufnimmt, so werden zwei Wellen gebildet, von welchen eine den constanten Werth der größten Axe a hat, während die andere, als in der Schwingungsrichtung belegen, Elasticität b oder c oder eine der zwischen b und c liegenden haben wird. Die erste wird eine Kugel mit dem Radius Aa , die andere ein Ellipsoid mit den Axen b c sein und die Gestalt der Rotationsfläche ist wie in Fig. 149.

Pflanzt sich endlich die Lichtbewegung parallel der Ebene der Axen a und b fort, so zerfällt sie in eine, die nach allen Richtungen den constanten Elasticitätswerth in der Richtung der Schwingungen c gibt; die eine Wellenfläche wird daher eine Kugel sein mit dem Radius Ac , die andere kann, je nach der Richtung, alle Werthe zwischen Aa und Ab erhalten, sie wird eine Ellipse sein mit den Axen a und b und die Rotationsfläche wird die in Fig. 150 angedeutete Gestalt besitzen.

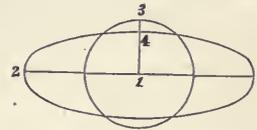


FIG. 148.

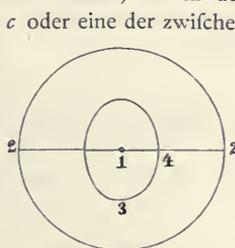


FIG. 149.

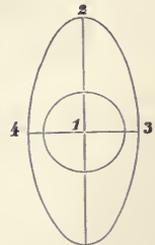


FIG. 150.

6. Verhalten pflanzlicher Gewebedurchschnitte.

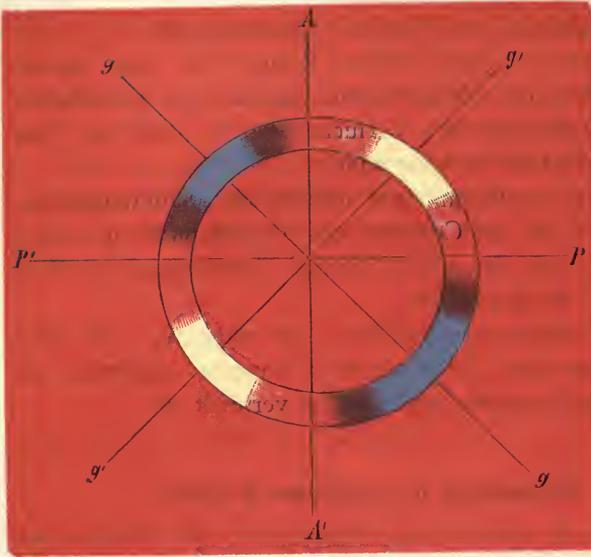


FIG. 151. Querschnitt der Caulerpaftammzelle im polarisirten Licht.

Von der Erklärung der Polarisationsphänomene in pflanzlichen Geweben soll hier zunächst ganz abgesehen sein. Wir vergleichen zunächst lediglich die kreisförmigen oder polygonen Durchschnitte durch die Zellen der verschiedenen Gewebe mit den Ringen der Figur 140, indem wir das Gypsplättchen Roth I im Instrument festliegen lassen.

So wie der innere Ring verhalten sich alle Querschnitte durch Gefäße und Holzzellen, durch das Markgewebe, die Flächenansicht der Tüpfel in der radialen Längswand der Nadelhölzer, ebenso Querschnitte durch Holzcyliner, welche aus Collodium, aus Gelatine erstarrt sind, die Endospermzellen von Phytelephas, die Intine der äußeren Zellmembran aller Epidermen.

Dem äußeren Ringe entsprechen die Zellen des Korkes, die Cuticu-

Interferenz.

Beginnt ein Punkt seine Bewegung später, wie ein Gegebener, so wird die Lage des ersteren zu finden sein durch

$$y = a \sin 2 \pi \frac{\tau}{T};$$

τ aber kann sein $t = \tau - t'$, also ein bestimmter Theil der Oscillationsdauer des ersten Punktes

$$y = a \sin 2 \pi \frac{t - t'}{T}.$$

Wenn c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle, so ist

$$c t' = x,$$

worin x die Entfernung des zweiten Punktes vom ersten bedeutet,

$$t' = \frac{x}{c}$$

und

$$y = a \sin 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{c T} \right).$$

Während der Zeit T pflanzt sich das Licht um eine Wellenlänge fort:

$$c T = \lambda,$$

larfschichten und die Cuticula, der Querschnitt der Stammzelle von *Caulerpa*, Fig. 151, und einiger Meeresalgen, die Stärkekörner, die Inulinsphäroide und der Querschnitt einer Zelle, welche aus Tragantfchleim um ein Cylindermmodell entstanden ist.

Dem Verhalten der beiden verwachsenen Ringe entspricht die äußere cuticularifirte Membran der Epidermis.

Bei allen Längsschnitten durch Pflanzenzellen hat man zu beachten die Lage des Schnittes; dieser wird fein ein radialer oder ein tangentialer Längsschnitt. Die Wirkung für den letzteren wird auch erreicht, indem

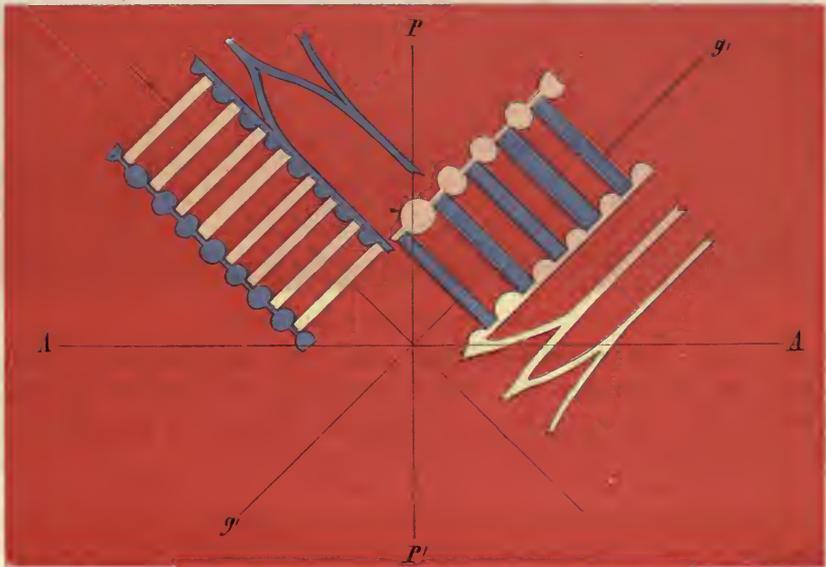


FIG. 152. Gefäße von *Impatiens* im polarisierten Licht. $A A' P P'$ die Schwingungsebenen der Nicols, $g' g''$ diejenigen im Gypsplättchen Roth I.

daher wird die obige Gleichung geschrieben werden können:

$$y = \alpha \sin 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$v = \beta \cos 2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right).$$

Nach der Figur 156 ist also die Lage aller Punkte und ihre Geschwindigkeit aus diesen letzten zwei Gleichungen zu bestimmen.

x wird in Wellenlängen zu bestimmen sein, der Punkt ist in der 0- oder α - und $-\alpha$ -Lage nach folgenden Werthen von x :

$$\text{Ist } t = n T, \text{ so ist } x = 0 \text{ und } y = \alpha \sin 2 n \pi = 0.$$

$$\text{Ist } x = m \lambda; \frac{x}{\lambda} = m, \text{ so ist } y = \alpha \sin 2 (n - m) \pi = 0.$$

Alle Punkte, die ganze Wellenlängen von einander entfernt sind, sind in der Gleichgewichtslage. (Fig. 135, f. oben S. 130.)

man die Membran zu einer Ebene ausbreitet. Handelt es sich um ifolirte Zellen, Holzfasern, Bastzellen, Haare u. f. f., fo ist bei dem Einschalten in das Polarifkop zu beachten, daß das Object, je nach der Einstellung, zweierlei zeigt: die obere und untere Cylinderwand (diese Flächen ent-

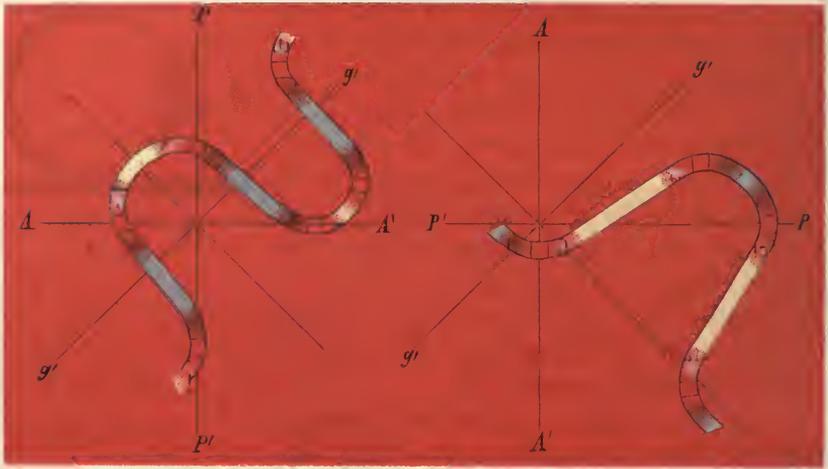


FIG. 153. Impatiens, Spiralfaser im polarisirten Licht.

sprechen dem Tangentiallängsschnitt oder der aufgewickelten Membranfläche) und die Streifen der Wand, welche ihren optischen Durchschnitt darstellen, da, wo nämlich die cylindrische Wand von der Unter- nach

Alle Punkte, die eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen von einander entfernt sind, sind in der Gleichgewichtslage. (Fig. 135, f. oben.)

Ist nämlich
$$x = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad \frac{x}{\lambda} = \frac{2m + 1}{2},$$

fo ist
$$y = a \sin (2n - (2m + 1)) \pi = 0.$$

Alle Punkte, die ungerade Anzahlen von $\frac{\lambda}{2}$ von einander entfernt sind, besitzen entgegengesetzte Geschwindigkeiten.

Wären zugleich an mehreren Stellen der Punktreihe Wellen erregt, fo pflanzen sich diese über die Punktreihe fort und setzen sich zusammen; y wird dann aus den an einzelnen Bewegungen zukommenden Entfernungen bestehen, fo daß

$$Y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots$$

Ist der Abstand des zweiten Erregungspunktes vom ersten x und α' die Amplitude der zweiten Bewegung, fo ist für diese die Lage der Punkte gegeben durch

$$y' = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right).$$

Ist a die Entfernung des zweiten Erregungspunktes, fo ist

$$\begin{aligned} X' &= x - a \quad \text{und} \\ &= a' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x - a}{\lambda} \right). \end{aligned}$$

der Oberseite umbiegt. Alle diese Schnitte, beziehungsweise Streifen, erscheinen im Polarisfokop wie homogene, dünne Gypsplättchen. Sie erscheinen auf dem Gypsplättchen Roth I additionell oder subtractionell gefärbt, also gelb oder blau, und die bisher geschilderte Methode läßt lediglich die eine Bestimmung zu: in welcher Richtung liegt die Axe der größten oder kleinsten Elasticität im gegebenen Streifen?

Legen wir z. B. die tangentialen Längsstreifen eines Gefäßes oder einer Holzzelle in das Polarisfokop, so finden wir additionelle Färbung, wenn die Axe parallel mit $g'g'$ im Gypsplättchen Figur 154 steht; daraus und aus den Ringen Fig. 154 folgt die Axe größerer Elasticität. Sie steht im Querschnitt radial ($r > t$), im Längsschnitt steht die größere tangential ($t > l$). Wir erhalten somit $r > t > l$, damit aber ist die Lage des Ellipsoïdes bestimmt.

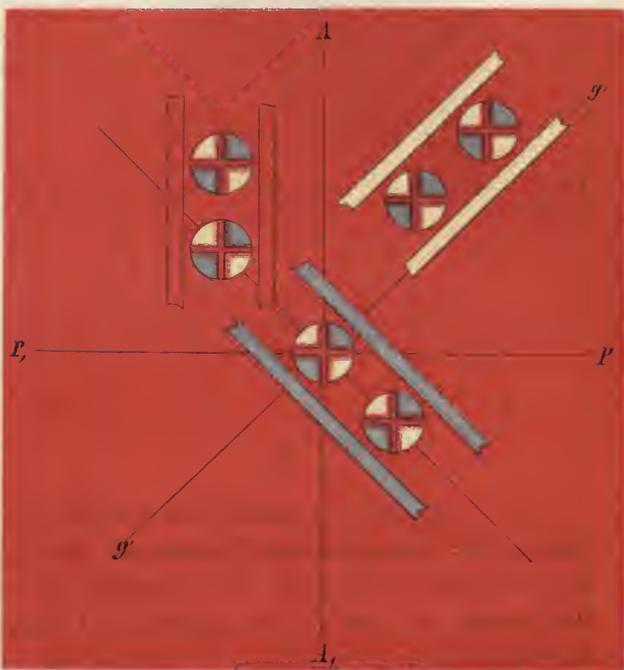


FIG. 154. Pinus, Holzzelle (Tüpfel) im polarisierten Licht.

Ein Cylinder von Tragantgummi zeigt im Querschnitt die große

Gehen beide Bewegungen gleichzeitig über die Punktreihe, so wird

$$Y = y + y' = \alpha' \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x-a}{\lambda} \right) + \alpha \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$= \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \alpha + \alpha' \cos 2\pi \frac{a}{\lambda} + \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \alpha' \sin 2\pi \frac{a}{\lambda}.$$

Bestimmen wir zwei Größen A und D , so daß

$$A \cos 2\pi \frac{D}{\lambda} = \alpha + \alpha' \cos 2\pi \frac{a}{\lambda},$$

$$A \sin 2\pi \frac{D}{\lambda} = \alpha' \sin 2\pi \frac{a}{\lambda},$$

so wird

$$Y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} + \frac{D}{\lambda} \right).$$

Es resultirt somit aus beiden einzelnen Wellenbewegungen eine neue, deren Am-

Elasticitätsaxe tangential, die kleine radial orientirt. Im Radiallängsschnitt ist die große Axe parallel der Cylinderaxe, die kleine radial gestellt. Daselbe ergibt sich aber auch für den Tangentiallängsschnitt. Nennen wir

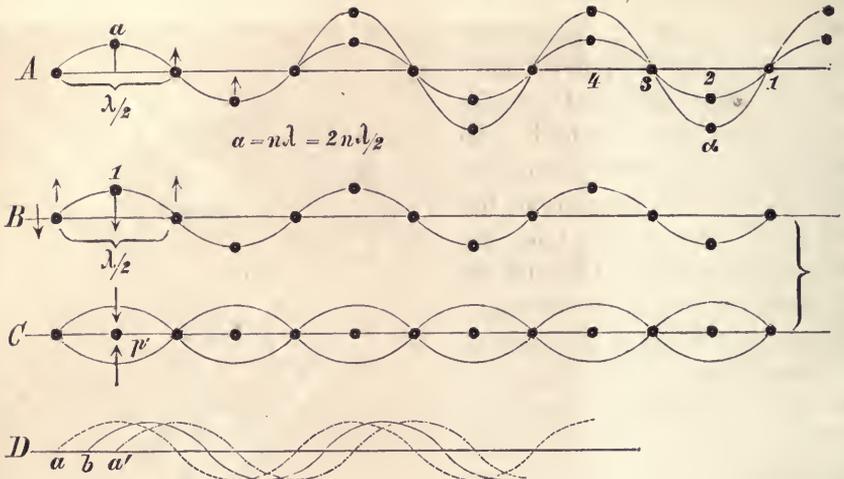


FIG. 155. In *A* ist eine Punktreihe in Schwingung mit der Amplitude *a*. Geht nun eine zweite Welle über die Reihe, nachdem die erste Welle um ganze Wellenlängen fortgeschritten ist, so werden die Anstöße sich summiren und die Amplitude vergrößern, so daß z. B. der Punkt 2 die Amplitude α erhält. — In *B* ist der Durchschnitt eine Wellenbewegung; ist der Gangunterschied der zweiten Welle eine halbe oder ungerade Vielfache einer halben Wellenlänge, so wird der Punkt 1 von der ersten Bewegung im Sinne des Pfeiles *p*, von der zweiten im Sinne des Pfeiles *p'* afficirt; die Bewegung wird dadurch. — *C* Durchschnitt der beiden Wellen, welche sich in diesem Sinne gegenseitig vernichten; rücken wir die eine Curve um $\frac{\lambda}{2}$ fort, so geht *C* in *A* über. Endlich ist in *D* die Interferenz zweier Wellen dargestellt, welche um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge von einander entfernt sind. Die resultirende Welle ist um $\frac{1}{4}$ verschoben.

plitude *A* ist und deren Phase gegen die erste um *D*, gegen die letzte um $a - D$ verschieden ist.

Schwingungsdauer und Wellenlänge haben sich nicht geändert. Aus obiger Gleichung erhalten wir:

$$A = \sqrt{a^2 + a'^2 + 2 a a' \cos 2 \pi \frac{a}{\lambda}}$$

$$\sin 2 \pi \frac{D}{\lambda} = \frac{a'}{A} \sin 2 \pi \frac{a}{\lambda}.$$

ab ist die componirte Amplitude

Fig. 156. *A* wird nun zur Summe der Theilamplituden $a a'$, wenn in

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2 a a' \cos 2 \pi \frac{a}{\lambda}.$$

$a = n \lambda$, d. h. wenn der Phasunterschied *o* oder das Vielfache einer ganzen Wellenlänge wird, dann ist nämlich

$$\cos 2 \pi \frac{a}{\lambda} = \cos n \pi = 1,$$

mithin

$$A^2 = a^2 + a'^2; A = a + a'.$$

Ist aber $a = \frac{\lambda}{2}$ oder $= (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$, so wird

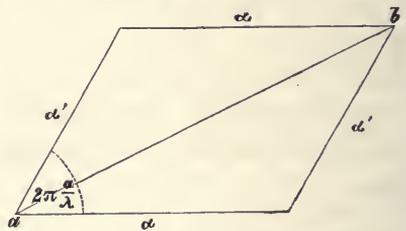


FIG. 156.

r die Elasticität in radial-transversaler, t in tangential-transversaler und l in der Längsrichtung, so erhalten wir für die drei Ebenen:

- Querschnitt $t > r$,
- Radiallängsschnitt . . . $l > r$,
- Tangentialschnitt . . . $l > t$.

Aus den beiden ersten Ungleichungen ergibt sich t und l größer wie r . Nun könnte t gleich oder kleiner oder größer wie l sein. Aus der letzten Ungleichung ergibt sich aber $l > t$. Somit liegt die Axe größter Elasticität im Längsschnitt, die mittlere liegt transversal-tangential und die kleinste liegt radial.

Ganz in derselben Weise ergibt sich das Elasticitätsellipsoid im Collodiumcylinder, die radiale als größte, die tangentiale als mittlere, die Längsrichtung als kleinste. Drehen wir eine Nadelholzzelle in dem gedachten Sinne, Fig. 154, so wirkt der Tüpfel genau so, wie der Querschnitt oder wie ein conisches Loch, welches wir uns in die Zellwand gebohrt denken, die Längswand aber bekommt, wie vorher die Spiralleisten, bei der Drehung nach und nach die Farben eines Additionsplättchens, Gelb Subtraction, Blau Addition, Roth neutrale Lage (f. Farbenringe Fig. 140).

Die Cuticula der Aloë zeigt eine entgegengesetzte Lage des wirkamen Elasticitätsellipsoides, wie die mit ihr verwachsene Cellulose-

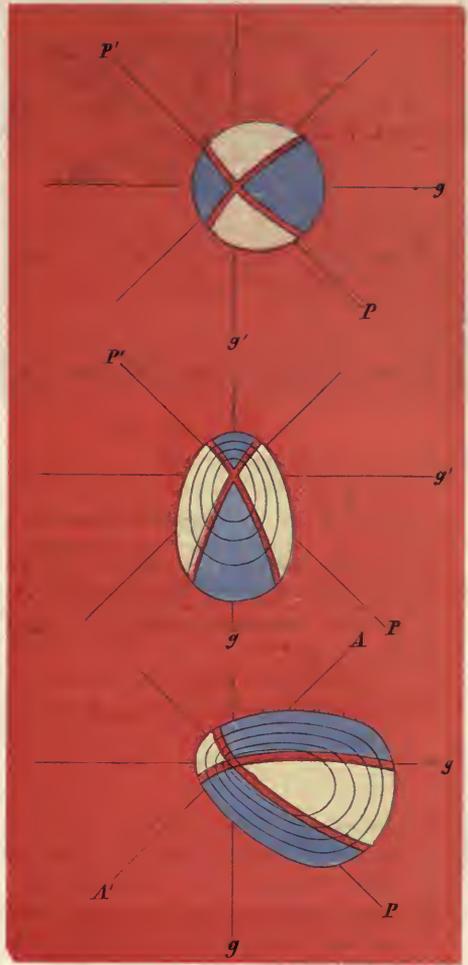


FIG. 157. Im nicht erleuchteten Gesichtsfeld, bei gekreuzter Stellung der Nicols entsprechen den dunklen Stellen im Amylunkorn die Polarisationsebenen der gekreuzten Nicols. Bei Gegenwart eines Gypsplättchens Roth erster Ordnung entspricht das Roth im Amylunkorn den Polarisationsebenen der Nicols. A die große Elasticitätsaxe im Amylunkorn ist senkrecht zur Schichtung.

$\cos 2 \pi \frac{a}{\lambda}$ zu $\cos 2 \pi (2 n + 1)$ oder zu $\frac{3 \pi}{2}$, also -1 , und wenn $a = \alpha$, so wird $A = 0$, d. h. es tritt keine Bewegung ein.

Erhält a irgend einen anderen Werth, z. B.

$a = (n + 1/4)$, λ mithin $\cos 2 \pi (n + 1/4)$; $\cos (2 n + 1/2) \pi = 0$, mithin $A^2 = a^2 + a'^2$, so wird das Parallelogramm ein Quadrat, wenn $a' = a$,

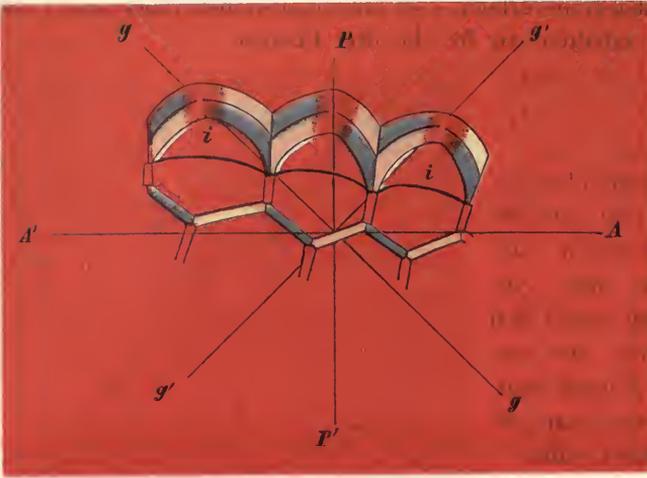


FIG. 158.

(Intine)-wand. Figur 158. Bei dem Durchschnitt durch die Epidermis, Figur 158, steht die wirkfame Ellipse innen radial, außen tangential. Hier hat man eine der halbkugeligen Wölbungen, Fig. 158, zu vergleichen mit dem Farbenring Figur 140; der innere Ring dort entspricht der Intine, der äußere

Ring entspricht der Exine.

7. Argumente für und gegen die Annahme krystallinischer Moleculc in der Membran.

NÄGELI folgerte in dieser Weise, daß die Moleculc der pflanzlichen Membran krystallinisch fein müffen:

1^o Die Membran ist im gequollenen wie im trockenen Zustande doppelbrechend.

$$A' = \alpha \sqrt{2}$$

$$2 \pi \frac{D}{\lambda} = 45^\circ = \frac{1}{4} \pi,$$

$$D = \frac{1}{8} \lambda;$$

die Resultirende ist somit um $\frac{1}{8} \lambda$ von den beiden Interferirenden verschoben.

Die Farben dünner Plättchen' (Seifenblase, Glas, Oelfchicht) kommen bekanntlich durch Interferenz dadurch zu Stand, daß der refl. Strahl von der vorderen und hinteren Fläche einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge erfährt. Fig. 159.

Hat das Blättchen die Dicke von $\frac{1}{2} \lambda$ oder das Vielfache für den gegebenen homogenen Lichtstrahl, so wird es in der Farbe deselben leuchten. Wird das Licht, aus einem dichten Medium kommend, an ein weniger dichtes übertragen, so schwingen die Punkte der Grenzschicht im dünnen Medium gerade so, wie wenn sie die Fortsetzung der Punktreihe im dichteren wären. Es geht aber von ihnen in's dichtere Medium die Bewegung zurück. Fig. 160. Nach $T/4$ einer $\frac{1}{4}$ Schwingungsdauer ist der Grenzpunkt in m und ein halbes Wellenthal ist in's erste Medium zurückgefandt. Nach $T/2$ ist ein

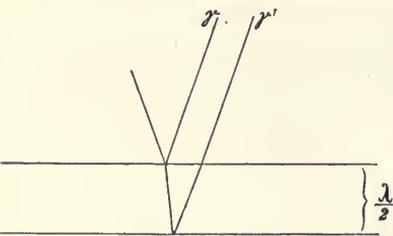


FIG. 159.

ganzes Wellenthal zurückgefandt u. f. f., während die ankommende Welle im dünneren Medium mit größerer Amplitude fortschreitet. An einem dichteren Medium wird die

2^o Zug und Druck auf die Membran bringen eine Steigerung der Interferenzfarbe nicht hervor.

3^o Die Molecule der Membran sind doppelbrechende Krystalle, welche

lebendige Kraft des letzten schwingenden Theils nicht ausreichen, die Bewegung auf den Punkt der Grenzschicht zu übertragen. Kommt die Welle wie vorher mit einem Wellenthale in der Grenzschicht, Fig. 161, an, so wird der Punkt *m* die entgegengesetzte Bewegung ausführen und die reflectirte Welle geht mit einem halben Wellenberg nach $T/4$ in's erste Medium zurück; nach $T/2$ ist ein ganzer Wellenberg zurückgelegt u. f. f.

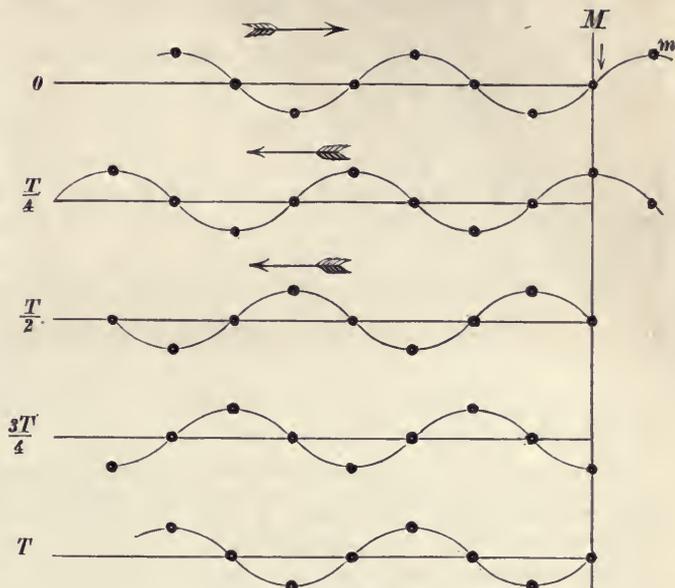


FIG. 160. Reflexion an einem dichteren Medium.

Beachten wir nach den beiden Tafeln, daß derselbe Strahl an der Grenze eines dünneren nach einem dichteren anders reflectirt wird, so erhalten wir den Gangunterschied nach den zwei Tafeln in folgender Abbildung.

Wir wenden Licht von bestimmter Wellenlänge λ an und wählen die Dicke der Luftschicht $d = \frac{\lambda}{2}$, dann macht der Lichtstrahl in I den Weg bis zur Luftschicht. In II, nach $\frac{1}{4}$ Oscillationsdauer ist er auf dem Rückweg in's Glas und hat einen Weg von $\frac{T}{2}$ Wellenlänge in die Luftschicht gemacht, wird dort reflect-

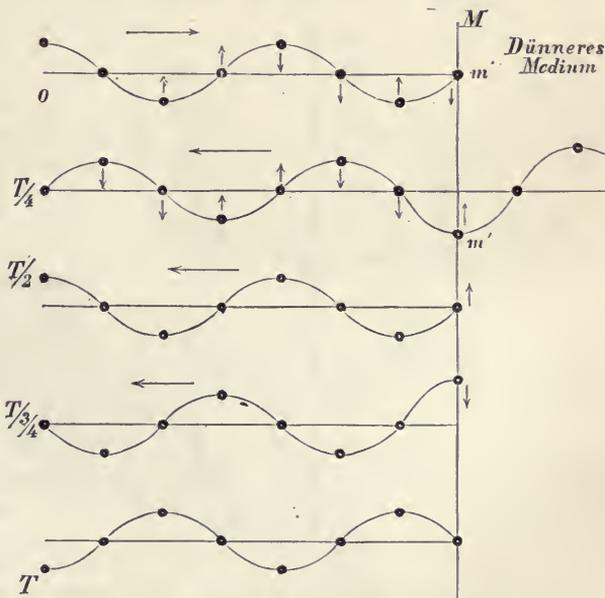


FIG. 161. Reflexion an einem weniger dichten Medium.

verschiebbare Wafferhüllen besitzen. Zug und Druck beeinflussen daher den Grad der Doppelbrechung nicht, wiewohl sie eine Verschiebung, even-

tirt, verliert aber wiederum $\frac{1}{2}$ Wellenlänge. In III und IV tritt also Vernichtung der Bewegung im ersten Mittel (Glas) ein. Dieß muß eintreten, wenn

$$\begin{aligned} 1^0 \delta &= \frac{\lambda}{2}, & \text{dann ist der Gangunterschied } 2 \delta &= \lambda, \\ 2^0 \delta &= \lambda, & \text{» » » » } 2 \delta &= 2 \lambda, \\ 3^0 \delta &= \frac{3 \lambda}{2}, & \text{» » » » } 2 \delta &= 3 \lambda. \end{aligned}$$

Von jedem Gangunterschied geht den beziehentlichen Wellenlängen eine halbe Oscillation verloren, die beiden Strahlen interferiren daher mit dem Phasenunterschied von $\frac{1}{2}$ Oscillation.

Wird aber die Dicke der Luftschicht bei gleicher Wellenlänge

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{3 \lambda}{4}, & \text{so wird der Gangunterschied } \frac{6 \lambda}{4} &= \frac{3 \lambda}{2}, \\ \delta &= \frac{5 \lambda}{4}, & \text{» » » » } \frac{10 \lambda}{4} &= \frac{5 \lambda}{2}, \\ \delta &= \frac{7 \lambda}{4}, & \text{» » » » } \frac{14 \lambda}{4} &= \frac{7 \lambda}{2}. \end{aligned}$$

Die Dicke der Luftschichten in den aufeinanderfolgenden hellen Ringen ist, wenn die Dicke der hellen Mittelfelder gleich 1 gesetzt wird, gleich 3.5.7.

Ist die Dicke des dunkeln Mittelfeldes bei dem NEWTON'schen Experiment gleich 0, so ist die der dunkeln Ringe 2.4.6.8.

Bei einem Keil, einem dünnen Plättchen, einem NEWTON'schen (Linfen-Planglas-) Apparat werden die resp. Erscheinungen auch dann eintreten, wenn die der dünnen Schicht

stärker brechende sind, als die Grenzflächen, nur werden die hellen Streifen die Dicken 0.2.4.6, die dunkeln dagegen die Dicken 1.3.5.7.8 besitzen.

In einem Keil aus Luft oder Gyps werden alle möglichen Lichtstrahlen interferiren können, weil hier δ alle Werthe der $\frac{\lambda'}{2}, \frac{\lambda''}{2}, \frac{\lambda'''}{2}, \frac{\lambda''''}{2}$ der verschiedenen Lichtstrahlen annehmen kann.

Genauere Beachtung für unseren Zweck verdient der Gypskeil und das Gypsplättchen im polarisirten Licht.

1° Wir wissen, daß in gekreuzten Nicols Gypsplättchen oder Keil in vier Lagen hell, in vier dunkel sind (Fig. 133, f. oben).

2° Ein Plättchen von bestimmter gleichmäßiger Dicke leuchtet in den vier Lagen mit gleicher bestimmter

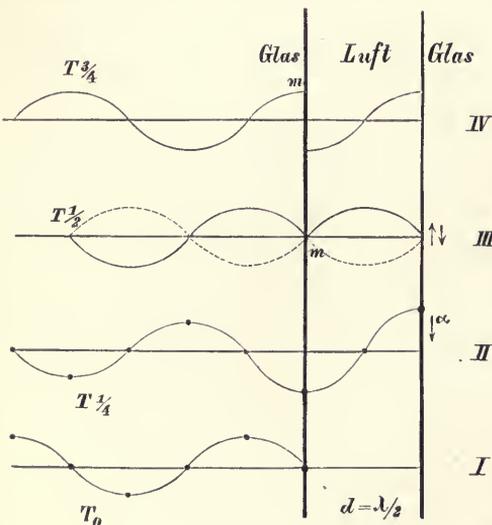


FIG. 162.

Farbe, in den vier anderen Lagen (f. Fig. 140) ist es dunkel wie das Gesichtsfeld.

tuell auch eine Annäherung oder Entfernung der doppelbrechenden Kry-
stallmoleculen bewirken mögen. Die trockene Membran aber reagirt in dem
geforderten Sinne, wie beim Glase auf Druck oder Zug.

Gegen diese Vorstellung läßt sich mit einiger Berechtigung folgender
Einwurf erheben:

1^o Die Membranen sind, mit Wasser gefättigt, weniger doppelbrechend,
weil sie eine geringere Dichte besitzen. Die Intensität der Interferenzfarbe
steigt instantan, wenn sie mit Flüssigkeiten wie Alkohol, ätherische Oele,
Canadabalsam imbibirt werden, welche das Volum zusammenziehen. Hieraus
folgt aber:

2^o Zug und Druck können nicht eine Annäherung der festen Theile
hervorbringen, wie wenn ein Glaswürfel zwischen zwei Schrauben gepreßt
wird. Wohl aber ist jene Annäherung der Moleculen durch Flüssigkeiten
möglich (f. S. 112), welche die Membran zusammenziehen, und von den
geforderten Folgen begleitet.

3^o Zerriebene Membranen und Stärkekörner verlieren jede Einwir-
kung auf das polarisirte Licht. Der feinste Staub doppelbrechender Kry-
stalle ist aber in jedem Staubindividuum noch doppelbrechend.

Versuche von MAXWELL haben eine wesentliche Erweiterung unserer
Vorstellung über Molecularstructure der flüssigen und festen Körper herbei-
geführt. MAXWELL zeigt, daß jede zähe Flüssigkeit durch Zug oder Druck
sich vorübergehend wie ein fester Körper verhalten kann, daß somit Span-
nung zwischen den kleinsten Flüssigkeitstheilchen möglich ist. (Ueber Doppel-
brechung in einer bewegten zähen Flüssigkeit. MAXWELL, POGGEND. Ann.

3^o Bei Kreuzung gleichdicker Gypsplättchen oder Drehung eines Plättchens um
das andere festliegende treten zwei neue Farben, wenn das eine dicker wie das andere,
auf; sind beide gleichdick, so tritt nur eine Farbe oder Dunkelheit ein, je nach der Lage.

Zunächst ist klar, daß, da die Farbe von der Dicke abhängt, der Gangunterschied
bei durchgelassenem Licht mit in Betracht kommt. Betrachten wir zunächst ein Plättchen
von gleicher Dicke und einen Keil. Das Plättchen und der Keil erscheinen in diagonaler
Lage (Fig. 133) hell. Mit einem einfarbigen Glas betrachtet, erscheint das Plättchen hell,
der Keil hat helle und dunkle Streifen.

Die Dicke bewirkt also hier wie in den NEWTON'schen Ringen den Gangunter-
schied. Hier beim Gyps allgemein, bei den doppelbrechenden Kry-
stallen kommt aber kein Reflexionsphänomen, sondern ein Brechungsphänomen in Betracht. Die beiden inter-
ferierenden Strahlen im Gypsplättchen bestimmter Dicke müssen daher beim Eintritt in den
Gyps ungleiche Geschwindigkeit erhalten.

Die Geschwindigkeit zweier Strahlen verhält sich aber (f. oben S. 127) nach dem
HUGHENS'schen Princip umgekehrt wie die Brechungsverhältnisse:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n \quad v : v' = n' : n \quad v = \frac{v' n'}{n},$$

$$\frac{\sin i'}{\sin r'} = n' \quad v : v' = \frac{1}{n} : \frac{1}{n'} \quad v = v \frac{n'}{n}.$$

d. Physf. 1874, Nr. 1.) MAXWELL weist nach, daß durch die Reibung an einem starren Stabe, welcher durch eine zähe Flüssigkeit bewegt wird, Polarisationsercheinungen wahrnehmbar sind, daß mithin thatsächlich eine solche Flüssigkeit vorübergehend einem starren Körper gleich wird. Nach meinen Versuchen kann man nun in solchen Flüssigkeiten, welche sonst zu anisotropen Körpern erstarren, die Elasticität in jedem Sinne vertheilen, wenn man in dem Momente des Erstarrens durch Umrühren, Zug oder Druck die Theilchen in Bewegung setzt.

8. Künstliche Membranen aus Cellulosederivaten.

Es ist bekannt, daß isotropes Glas durch Druck anisotrop gemacht werden kann; man könnte aus einem Glaselement durch Druck ein Element herstellen, welches dem Gyps in seinen Wirkungen auf das polarisirte Licht ganz gleich ist. Hört der Druck auf, so geht das Glas wieder in den isotropen Zustand über.

Schlecht gekühltes Glas ist aber an sich schon in Folge der Spannung in ihm anisotrop. Eine anisotrope Glasröhre bis zu gewissem Grade zertrümmert, verliert mit der Spannung die Wirkung auf polarisirtes Licht.

In optischer Hinsicht und in der Entstehung haben die Glasröhre und die Pflanzenzelle die folgenden Züge gemein.

Man kann in dieser Zusammenstellung noch das Marienglas, den Gyps mit in Betracht ziehen, und es mögen alsdann die drei Körper in ihrer Umwandlung verglichen werden:

Wir wissen nun, daß der Gyps nach drei zu einander senkrechten Richtungen ungleich elastisch ist, daß eine in ihn eindringende Lichtbewegung in zwei nach den Richtungen der größten und kleinsten Elasticität orientirte Schwingungen zerlegt wird.

Der polarisirte Lichtstrahl im Polarifator wird auf diese Richtungen im Gyps übertragen, dort entstehen zwei zu einander senkrecht polarisirte Strahlen, diese zwei Strahlen pflanzen sich ungleich schnell fort und werden auf die Schwingungsebene des Analyfators übertragen. Sie erhalten Gangunterschied im Gyps und Phasenunterschied bei der letzten Uebertragung auf eine Schwingungsebene, daher muß das Plättchen bei Anwendung homogenen Lichtes, je nach dem letzten Phasenunterschied, hell oder dunkel erscheinen.

Bei einem Plättchen bestimmter Dicke, wo also nur Farben bestimmter Art zum Vorschein kommen, interferiren (d. h. erhalten den zur Stärkung der Intensität nöthigen Phasenunterschied) Strahlen bestimmter Wellenlänge.

Der Strahl in der G -Ebene, Fig. 163, eilt dem Strahl in der g -Ebene um eine bestimmte Anzahl halber Wellenlängen voraus. Die Amplitude der beiden Strahlen in Gg wird abhängen von den Winkeln $\varphi \varphi'$. Die Intensität des Lichts (der bestimmten Wellenlänge beim Gypsplättchen von gleicher Dicke) wird abhängen von der Amplitude; es ist leicht einzusehen, daß das Maximum der Helligkeit eintreten wird, wenn $\varphi = \varphi' = 45^\circ$. Fig. 163.

An dem Polarisationsmikroskop liegt, bei der von uns der Einfachheit halber gewählten Stellung aller Theile (nämlich gekreuzte Stellung der Nicols und diagonale Lage des Gypsplättchens Roth I), die Sache so: In dem unteren Nicol entsteht eine linear po-

Gyps.	Glas.	Zellmembran.
Zu f a n d:		
a) In Lösung.	a) Geschmolzen.	a) Im zäh-schleimigen Plasma.
b) Ein Kryftall schießt an und ist doppelbrechend.	b) Wird in eine Form gegossen oder geblasen, fest. Diese zeigt Polarifationserscheinungen oder nicht, je nach dem Vorgang der Kühlung, und ist durchsichtig.	b) Wächst in eine feste Hülle, Cylinderzelle der Caulerpa oder massive Kugel, Stärkekorn, im Beginn der Evolution isotrop und ist und bleibt durchsichtig.
c) Der Kryftall wächst durch Apposition doppelbrechender Molecüle. Ist nach drei Richtungen geschichtet und spaltbar, zeigt keine Quellung.	c) Die Glasröhre zeigt im Querschnitt concentrische Ringstreifen, zeigt keine Quellung.	c) Wächst durch Intusfuspception, wird anisotrop und zeigt drei Quellungachsen. Zeigt im Querschnitt concentr. Schichten, welche wechselnd stärker und schwächer quellen.
d) Wird zum feinsten Pulver zertrümmert, jedes Staub-Individuum zeigt Doppelbrechung.	d) Die anisotrope Röhre zertrümmert, die Trümmer haben die Anisotropie verloren.	d) Ueber den Caulerpaquer-schnitt geht ein Achatpistill unter dem Druck der Muskelkraft — das Amylumkorn wird zertrümmert. Die Anisotropie wird dadurch in beiden vernichtet.

larifirte Welle, welche sich im Gypsplättchen in zwei senkrecht zu einander polarifirte Strahlen zerlegt. Die Schwingungsebenen dieser schließen Winkel von 45° mit der Schwingungsebene des Analyfators ein. Sie werden bei dem Eintritt in den oberen Nicol auf dessen Schwingungsebene übertragen und kommen dort zur Interferenz.

Wenn in C ein schwingender Aetherpunkt in der Schwingungsebene des Polarifators PP , Fig. 163, durch eine Welle afficirt wird und zwischen $a a'$ oscillirt, $g g'$ die Schwingungsebenen des Gypsplättchens bedeuten, so wird nach dem Parallelogramm der Kräfte die Schwingung in g nach $\alpha \alpha'$, in g' nach $\beta \beta'$ erfolgen. In derselben Weise, aber umgekehrt, werden die beiden Schwingungen $\alpha \beta$ auf die Schwingungsebene des Analyfators AA' übertragen; sie kommen auf die gleiche Amplitude $\gamma \gamma'$, unter der Voraussetzung, daß sie in g und g' die gleiche Amplitude, also Schwingungsintensität, befaßen. α und β müssen bei dem Eintritt in die Kryftallmasse des oberen Nicols oder beim Austritt aus gg einen Gangunterschied erhalten. Es ist zu untersuchen, wie die Aetherpunktreihen in solchen Ebenen sich verhalten, welche senkrecht zu $\alpha \alpha'$, $\beta \beta'$, $\gamma \gamma'$ orientirt liegen. Die beiden Wellen $\alpha \alpha'$, $\beta \beta'$ schreiten, da sie ungleiche Elasticität in der Transverfalerichtung antreffen, mit ungleicher Geschwindigkeit fort, sie erhalten einen Gangunterschied von $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$, $\frac{5\lambda}{2}$, beziehungsweise $\frac{2\lambda}{2}$, $\frac{4\lambda}{2}$. Wenn die

Schwingung im unteren Nicol von a nach a' geht, so wird sie, wenn wir das Gypsplättchen in die Lage g, g, g', g' bringen, nunmehr nach $a a'$ in der einen und nach $b b'$ in der anderen Schwingungsebene übertragen; sie kommt nach $c c'$ in der Schwingungsebene

Von unferen drei Körpern kann nur die Zellmembran nach der Vollendung der Form noch Spannkkräfte anhäufen, welche unabhängig von der Temperatur find. Es find dieß eben die Anziehungskräfte zu Flüssigkeiten.

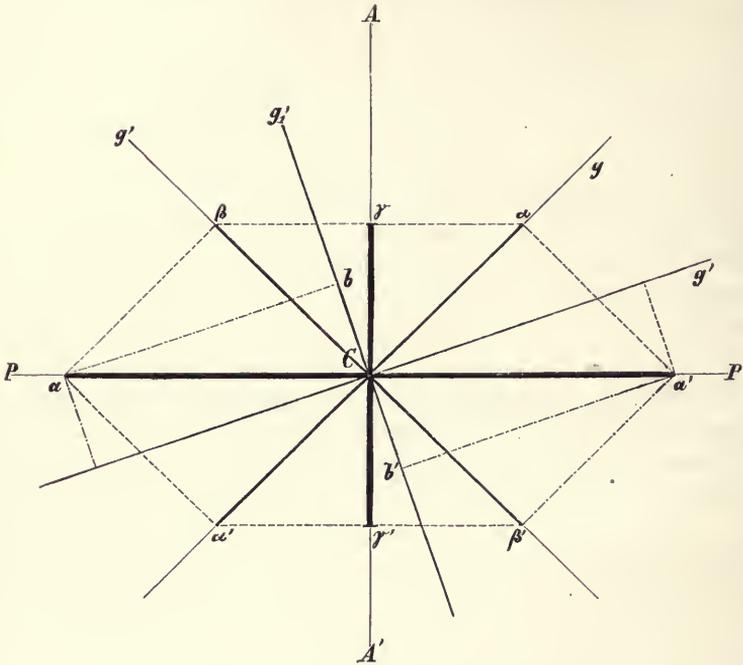


FIG. 163.

des Analyfators, die Intenfität ift gefunken. Sie wird gleich Null, wenn $g g', g, g',$ mit $A A' B P'$ zufammenfallen.

Liegt nun das Plättchen genau in der diagonalen Stellung, fo wird die Amplitude $C a C a'$ in der Ebene g des Plättchens $= c a, c a'$ und in g' wird fie $C \beta, C \beta'$, beide auf $A A'$ übertragen, wird dort die Amplitude $C \gamma, C \gamma'$. Ift φ der Winkel, welchen $g g'$ mit P einfchließen, fo ift $C a = \cos \varphi \cdot C a$. Ift $\varphi = 45^\circ$, fo find die Amplituden in g und g' die gleichen. Bei der Uebertragung der beiden Schwingungen auf $A A'$ wird dort

$$C \gamma = \cos C a.$$

Interferiren die Strahlen in $\gamma \gamma'$, fo erhält der componirte Strahl die Intenfität

$$J = \sqrt{C \gamma^2 + C \gamma'^2 + 2 C \gamma^2 \cos (\delta \pm 180^\circ)}$$

Hier bedeutet nach Früherem δ den Phafenunterschied der beiden Wellen. Diefes Ausdruck ift aber

$$J = \sqrt{2 a^2 \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi - 2 a^2 \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi \cos \delta}.$$

Die Lichtintenfität entspricht dem Werthe

$$J^2 = 2 a^2 \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi (1 - \cos \delta).$$

Wird φ gleich Null, fallen $g g'$ mit $A P$ zufammen, fo wird der Sinus gleich 0, das Gefichtsfield erfcheint dunkel. In dem gleichen Sinne werden die beiden Wellen in $g g'$ nach einem zweiten doppelbrechenden Medium, welches über $g g'$ eingefchaltet ift, und von dort endlich auf die Schwingungsebene des oberen Nicols übertragen.

In jedem Massenelemente der Membran herrschen solche spezifische Anziehungskräfte für verschiedene Flüssigkeiten; Wasser entfernt die festen Theile am weitesten. Alkohol, Canadabalsam, ätherische Oele ziehen sie selbst viel näher zusammen, wie im trockenen Zustande. Eine trockene Membran ist in Bezug auf Wasser in positiver, in Bezug auf Canadabalsam aber in negativer Spannung; werden diese Spannkkräfte befriedigt, so nähern sich die Theilchen, so beim Canadabalsam, wodurch die Reaction auf das polarisirte Licht in der auffallendsten Weise verstärkt wird, oder sie entfernen sich so beim Wasser, wodurch die besagte Reaction merklich geschwächt wird.

Zur Analyse dieser Erscheinungen beachte man, daß, wenn ein anisotroper fester Körper plötzlich so stark quillt, daß die Theilchen auf große Entfernungen aus ihren Kraftcentren hinaus in's Wasser gelangen, dann die Anisotropie verschwinden muß, ehe die Körper vollständig flüssig sind; haben sie unter dem Einfluß dieser Kräfte ihre Doppelbrechung verloren, sind sie gar flüssig geworden, wie der Traganthschleim, der Stärkekleister, das Collodium, so haben sie ihre Anisotropie verloren. Es schien aber auch, daß es nunmehr nicht mehr möglich sei, die Theilchen wieder so zu nähern, daß ihre Wirkungssphäre eine andere wie eine Kugel werde, daß sie eben isotrop werden. Diese Voraussetzung ist falsch. Man kann Bedingungen herstellen, unter welchen die genannten flüssigen Membranogene so erstarren, daß sie eine voraus zu bestimmende ellipsoidische Wirkungssphäre erhalten.

Wenn man auf eine ebene Glasfläche ein flüssiges Colloid gießt, welches verdunstend schrumpft und zur glasartigen Haut erhärtet, so entsteht an und für sich schon mindestens ein optisch einaxiger Körper in Form einer Platte, weil die Molecularkräfte in der Ebene der Glasfläche andere sind, wie in einer Ebene senkrecht zu dieser. Bei dem Schrumpfen ist die moleculare Kraft in der Ebene des Glases nach allen Richtungen gleich, daher ist für den Strahl, welcher senkrecht zur Ebene des Plättchens aus erhärtetem Colloid daselbe durchgeht, die Ellipse der Elasticität ein Kreis, das Plättchen erscheint isotrop. Ist aber eine Luftblase in der Schicht aus Collodium, Traganthschleim, Stärkekleister und wird dieselbe während des Erhärtens eingeschlossen, so müssen zellenartige, luftführende Hohlräume, welche von einer optisch einaxigen Colloidischicht eingeschlossen sind, entstehen.

In der That zeigt der optische Durchschnitt einer Luftblase in den erhärteten Colloiden zu einem Gypsplättchen Roth I alle Phänomene, welche eine isodiametrische Zelle des Grundgewebes in der Pflanze zeigt. Dabei ist es offenbar einerlei, ob die Blase in Collodium, Traganthschleim oder Stärkekleister liegt, sie wird in allen Fällen optisch einaxig sein.

Es ist daher in hohem Grade wahrscheinlich, daß diejenigen Gewebe in der Pflanze, welche während ihrer ganzen Evolution nach allen Richtungen des Raumes gleichmäßige Streckung erfahren, in ihren optischen Eigenschaften solchen Luftblasen gleichkommen.

Die Phänomene in den auf Glasplatten erhärtenden Colloïden sind so lehrreich, daß ich hier noch einige zu besprechen wünsche:

Erfcheinungen in künstlichen Collodium-, Traganth-, Stärkekleister-Membranen.

Wir gießen auf mehrere Objectträger die Flüssigkeiten, bezogen auf die Glasfläche in der folgenden Reihenfolge:

I. Glasfläche.	II. Glasfläche.	III. Glasfläche.
Stärkekleister.	Traganthschleim.	Collodium.

Wir lassen erhärten und fertigen mit einigen der Objectträger noch die folgenden Combinationen an:

IV. Glasfläche.	V. Glasfläche.	VI. Glasfläche.	VII. Glasfläche.
Stärkekleister.	Traganth.	Collodium.	Collodium.
Collodium.	Collodium.	Stärkekleister.	Traganth.

Bei allen nachfolgenden Beobachtungen liegt der Objectträger über einem Gypsplättchen Roth I bei gekreuzter Stellung der Nicols.

Erfcheinung an I und II.

Die Colloïdschicht erscheint in der Fläche isotrop, zeigt äußerlich keine Spannung. Zieht man mit einer scharfen Nadel im Momente des Erhärtens Namenszüge, Zickzacklinien hinein, so erscheinen die Ränder der Züge, welche dem Querschnitt der Membranlamelle entsprechen (man beachte den Nadelholztüpfel Fig. 154), additionell oder subtractionell.

Orientirt man sie zur großen Elasticitätsaxe des Gypses, so findet man, daß diese senkrecht zum Rande des Zuges steht. Hieraus ergibt sich die große Axe der Elasticität senkrecht zur Membranfläche, die kleine in der Membranfläche oder umgekehrt.

Die eingeschlossene Luftblase zeigt merkwürdiger Weise eine verschiedene Lage der Elasticitätsellipse in dem optischen Durchschnitt. Bei Collodium und Stärke steht die große Axe tangential, bei Traganthschleim steht sie radial. Hieraus geht hervor, daß auch in flüssigen Colloïden durch die bloße Adhäsion die Spannkkräfte in gleichem Sinne polarisirt werden, wie in der erhärtenden Membran in der Pflanze.

Erfcheinungen an III.

Die Colloïdschicht erscheint in der Fläche isotrop, zeigt außer der

areolenartigen, den Photographen bekannten Streifung äußerlich keine Spannung.

Die Ränder der Züge zeigen da, wo sie glatt abgeriffen, keine Veränderung oder nur äußerst schwache Addition und Subtraction, erstere, wenn der Rand parallel der großen Axe im Gyps, letztere, wenn er senkrecht dazu steht. Da aber, wo Falten sich gebildet, erscheint Subtraction und Addition. Läuft die Falte parallel der großen Axe im Gyps, so erscheint Addition.

Erscheinungen an IV bis VI.

In dünnen Schichten zeigen diese Membranen, wiewohl sie der Spannung nach von der Glasfläche ab \pm IV, V; \mp VI, VII gespannt sind, mit wenig kleinen Abweichungen dieselben Erscheinungen. V reißt schärfer und zeigt Addition und Subtraction in dem Rande der Züge. VII zeigt keine Veränderung im Rand des Zuges. Beide aber zeigen in den Orten der stärksten Pressung durch den Gang der Nadel die stärkste Addition und Subtraction. In dicken Schichten verhalten dieselben Membranen sich in den Rissen wie eine Cuticula Exine und Intine, so daß derselbe Rand des Zuges Addition und Subtraction zeigt.

Liegt dabei die positiv gespannte Schicht (Traganth oder Stärke) in der Glasfläche, Collodium außen, so kommt es meist zum Zerreißen der nach der Glasfläche concav gekrümmten Muschelflächen. In solchen Bruchstücken sind die Polarisationsercheinungen am brilliantesten. Fertigt man,

Bestimmung der Lage des Elasticitätsellipsoïds in der pflanzlichen Membran, wenn die Axen irgend welchen Winkel mit den Axen der Zelle bilden.

Unter Axen der Zellen soll die Cylinderaxe einer cylindrischen oder der Durchmesser einer kugeligen oder der Längsdurchmesser einer prismatischen Zelle verstanden sein, sowie die tangentiale und radiale Richtung durch die Membran; die drei Axen scheiden sich dann unter rechtem Winkel.

Bezogen auf dieses Axensystem, kann dann das dreiaxige Elasticitätsellipsoïd des rotirenden Krytalls eine beliebige Lage haben; diese Lage zu bestimmen, bezogen auf die Axen der Zelle, ist die eigentliche Aufgabe der Polarisationsmikroskopie.

Dieselbe läßt sich kurz dahin definiren: Es soll der Winkel zwischen den zwei optischen Axen gesucht und bestimmt werden, ob das Krytallelement ein optisch positives oder optisch negatives ist. Sind diese Daten gegeben, dann ist es leicht, das Elasticitätsellipsoïd in die Membran zu construiren.

Was die experimentellen Operationen zu dieser Aufgabe anbelangt, so ist klar, daß das zu untersuchende Object entweder geschliffen oder geschnitten oder gespalten werden muß, sollen die verschiedenen Normallagen der wirkfamen Ellipse zum einfallenden Strahl möglich sein.

Bedient man sich der Methode des Schneidens nach drei zu einander senkrechten Richtungen, so genügt ferner ein einfacher Goniometer, um Winkel in einer Ebene zu bestimmen.

ehe die Membran reißt, Querschnitte, nachdem man sie S-förmig aufgerollt hat, so entsprechen die S-Ringe den Querschnitten der Membran-Cylinder, welche an dem Federkiel entstanden sind¹⁾.

Die Untersuchung dieser Schnitte bietet zweierlei Interesse:

1^o zeigt sie uns die Wirkung der Adhäsion auf isotrope Colloide,
 2^o kann entschieden werden, ob eine begrenzte Quellung unserer künstlichen Lamellen die Spannung und Anisotropie vernichtet oder ob sie, wie bei den fertigen Pflanzhäuten, die Intensität der Polarisationserscheinung nur dämpft (s. oben Spannung zu Wasser und Canadabalsam).

Die wechselnd und mehrfach geschichteten Lamellen aus Collodium und Traganth lassen an Farbenpracht die pflanzlichen Membranen weit hinter sich.

Ich stelle die Beobachtungen in dem Nachfolgenden so zusammen, daß ich von den allgemeinen nach den besonderen Eigenschaften fortschreite:

I. Dünne Lamellen, aus wenig Schichten (mindestens zwei) nach IV bis VII angefertigt und aus S-förmigen Convoluten geschnitten, ferner dünne Ringe, verhalten sich, bezogen auf ein Gypsplättchen von Roth I, wie der Ring Intine.

Befchränkte Quellung in Wasser oder Alkohol ändert die Lage der Elasticitätsellipse nicht. Dabei ist es gleichgültig, ob die Fläche, welche in den Lamellen IV bis VII mit der Glasfläche zusammenfiel, durch das Rollen in der S-Figur positiv (concau), negativ (convex) gespannt wird bis

¹⁾ Streng genommen ist dieß nicht richtig, weil in den Cylindern die Colloide erhärteten unter der Einwirkung anderer Tangentialkräfte; in der aufgewickelten Cylinderfläche muß die Ellipse nicht wie in den auf der Glasebene erhärteten Membranen ein Kreis sein, weil im Cylinder die Tangentialspannung parallel der Axe eine andere ist, wie in einer Transverfalrichtung.

Man könnte auch den durch die obenbeschriebene Rotation entstehenden Cylinder der Länge nach aufschneiden und die Cylinderwand flach legen; das rechteckige Stück, welches so entsteht, verhält sich ganz wie ein Gypsplättchen.

Bei der Methode des Drehens des Objectes aber sind zwei Winkelmesser für zwei aufeinander senkrechte Ebenen absolut nöthig. Wir bedienen uns der letzteren Methode als der exacteren und behandeln zunächst die Aufgabe an einem Cylinder, an welchem zunächst ein Querschnitt senkrecht auf die Axe leicht hergestellt werden kann. Sind durch den Querschnitt und die beiden Hauptschnitte die Axen größter, mittlerer und kleinster Elasticität gegeben (s. S. 139), so dreht man das Object um eine horizontale Axe bei diagonaler Stellung des Gypsplättchens zu dem Nicol. Dabei aber muß die Axe mittlerer Elasticität mit befagter Drehungsaxe zusammenfallen. Das Object erscheint dann zweimal in der Farbe des Gesichtsfeldes und behält diese Färbung auch, wenn es um eine senkrechte Axe in diesen Lagen rotirt. Dreht man es aber aus der neutralen Lage um die horizontale Axe erst nach links, dann nach rechts, so muß es in beiden Fällen Addition und dann Subtraction oder Subtraction und dann Addition zeigen.

Dieß wird in den folgenden graphischen Darstellungen ersichtlich. *AA PP* die

zu der Grenze von 0,3 mm Diameter der Beugung bei einer Dicke von 0,25 mm der Membran.

II. Bei mehrfach aus Collodium und Traganth oder Stärkekleister geschichteten dicken Lamellen erscheinen im gewöhnlichen Lichte Schichten, im polarisirten Lichte aber nur zwei optisch differente Convolute, welche dem System der beiden verschmolzenen Ringe (Intine und Exine) entsprechen.

Ebenen der Nicols. a die Axe der größten Elasticität, b die mittlerer, c die Axe kleinster Elasticität in dem rotirenden Object. Wir drehen das Object um die mittlere Elasticitätsaxe, welche horizontal steht.

Das Object hat in I diejenige Lage, bei welcher ein Kreischnitt in der Ebene des Gesichtsfelds liegt; es ist dann in der Farbe dieses gefärbt. Die Elasticitätsellipse hat dann, bezogen auf die mikroskopische Axe ZZ , welche senkrecht zu der Ebene des Gesichtsfeldes $AA'PP'$ steht, die Lage in II. b ist in II zum Punkt verkürzt, ebenso die Axe $b b$ im Object.

Drehen wir jetzt das Object nach links um, so bekommt die wirkliche Ellipse, bezogen auf $AA'PP'$, die Lage Fig. III. Das Object erscheint zuerst in bestimmter Lage additionell und bei noch weiterer Drehung von dieser letzteren Lage (bis um 90° weiter) subtractionell. Fig. IV.

Drehen wir hingegen das Object aus den Anfangslagen, Fig. I und II, nach rechts um b , so wird es zuerst in eine Lage kommen, in welcher es subtractionell erscheint; bei weiterer Drehung um dieselbe Axe erscheint es dann additionell. Hat das Object die zweite neutrale Lage erreicht, so wird es, nach links gedreht, zuerst subtractionell und weiter additionell, nach rechts aber. zuerst additionell, dann subtractionell gefärbt erscheinen.

(Um wie viel Grade gedreht werden muß, ist von den Winkeln, welche die optischen Axen mit den Axen der größten resp. kleinsten Elasticität einschließen, abhängig.)

Ist nun wieder, wie vorausgesetzt war, die Lage von b bekannt, so ist es auch leicht, aus diesen Beobachtungen auf die Lage des Elasticitätsellipsoïdes in dem Object zu schließen; möge z. B. die Holzzelle von Pinus mit zwei gekreuzten Streifenystemen in der Membran dienen. Stellen wir zunächst das Object mit seiner mittleren Elasticitätsaxe $b b$ auf die größte Elasticitätsaxe im Gyps ein.

Steht erstere querradial, so rotiren wir um den Querdurchmesser der Wand;

steht erstere tangentialquer, so rotiren wir um den Tangentialdurchmesser der Wand;

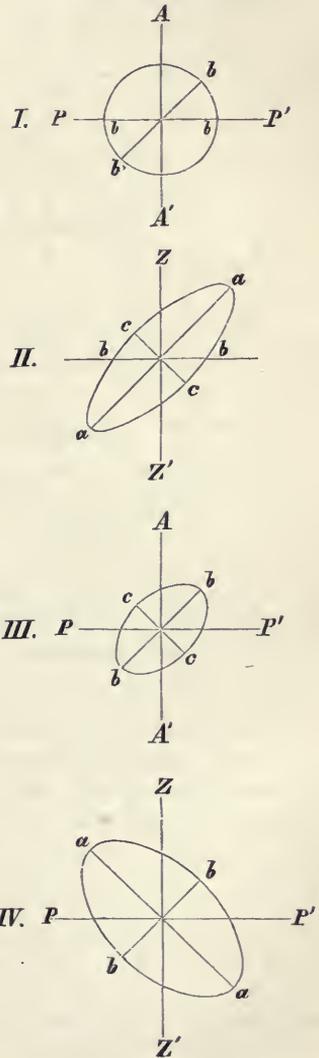


FIG. 164.

chen. Es liegt in dem inneren Ringe, welcher der Glasfläche angrenzt, die große Axe parallel der Schichtung, die kleine senkrecht dazu. In dem äußeren liegen sie umgekehrt. Partielle Quellung zerstört diese Anordnung nicht. Stärkeres Quellen, namentlich in Wasser, macht, daß das System «Intine, Exine» in den einfachen Ring (Intine) übergeht.

III. Nur bei einer Membran ist ein Einfluß der Quellung auf die Elasticitätsaxen merklich gewesen. Es war dieß eine nur aus zwei Schichten bestehende Lamelle, Collodium an der Glasfläche, Stärke außen.

		Collodium innen, Stärke außen.	
		Spannung.	Elasticitätsaxen.
I. Zusatz von Wasser bis zur begrenzten Quellung, sodann rasch in warmen Canadabalfam.	innen —	große: { innen radial. außen tangential.	
	außen +	kleine: { außen tangential. innen radial.	
II. Zusatz von Alkohol, ebenso in Canadabalfam.	innen +	große: ebenso.	
	außen —	kleine: ebenso.	
Trocken.	innen —	Trocken: große: { außen tangential. innen radial.	
	außen +		
III. Canadabalfam auf die trockene Membran.	innen —	große: { wie vorher alle Erfcheinungen verstärkt.	
	außen +		

Geht einer Pflanzenzelle durch Maceration ein Theil der festen Substanz verloren, so bleibt ein Skelet übrig, welches im Allgemeinen mit der Festigkeit seine Anisotropie deswegen verloren hat, weil jetzt die Kraftcentren der Substanzkerne auf zu große Distanzen vertheilt sind. Rothfaules Eichenholz ist korkartig, weich, plastisch, specifisch leichter, bröckelig, bezogen auf das gesunde, und wirkt äußerst schwach auf das polarisirte Licht. Ich versuchte solches Holz in verdünntem Collodium zu tränken, um zu entscheiden, ob bei dieser Imbibition die besagten Lücken so gefüllt werden, daß die frühere Vertheilung der Spannung wieder hergestellt wird. Das Resultat war ein negatives.

steht sie axial, so rotiren wir um die Längsaxe der Zelle.

In dieser Weise läßt sich wohl bei sehr schwachen Vergrößerungen verfahren. Für alle Objecte, welche eine stärkere Vergrößerung beanspruchen, läßt sich bei der Einrichtung des Mikroskopes, wie sie gegenwärtig besteht, diese Methode nicht anwenden, insofern das Object um eine Axe gedreht werden muß, welche in die Ebene des Objectisches fällt.

Wir können nunmehr bei der weiteren Betrachtung der Polarisationserscheinungen in natürlichen Pflanzenmembranen, sowie an künstlichen Membranen, welche aus Cellulose-Derivaten hergestellt wurden, von den folgenden Voraussetzungen ausgehen:

1° Beim Erstarren eines isotropen Collöides in einer Ebene entstehen Membranen, welche nur nach zwei Richtungen verschieden elastisch, resp. dicht sind: die eine Richtung ist die Ebene der Adhäsion selbst und die Anziehungskräfte in ihr müssen nach allen Richtungen gleich, die bei senkrechter Incidenz des Lichtes wirksame Elasticitätsellipse in ihr muß somit ein Kreis sein; die andere steht senkrecht zur Ebene der Adhäsion.

Dieses Element der Membran entspricht somit einem optisch einaxigen Krytall, seine Elasticitätsfläche ist ein Rotationsellipsoid, die Richtung senkrecht zur Ebene der Adhäsion ist die optische Axe.

Es ist mir (wie aus den Abbildungen Taf. IV, Botan. Untersuchungen, Verlag von C. Winter in Heidelberg, erhellt) gelungen, zu zeigen, daß

die Colloide sich beim Erstarren in einer Ebene je nach ihrer chemischen Natur oder derjenigen ihres Lösungsmittels verschieden verhalten, daß die aus ihnen entstehenden Membranen (wie die optisch einaxigen Krytalle) optisch positiv oder negativ sein können. Mögen $xy\zeta$, Fig. 165, rechtwinklige Raumkoordinaten bedeuten, $abcd$ ein Raumelement der Membran, welches in der Ebene yx an einer festen Glaswand erhärtet ist, so ist leicht einzusehen, daß, ob sich die Membranen in der Ebene xy schrumpfend losreißen von der Glasfläche oder nicht, die Spannung nach allen Richtungen um einen in der Ebene gewählten Punkt C dieselbe sein muß.

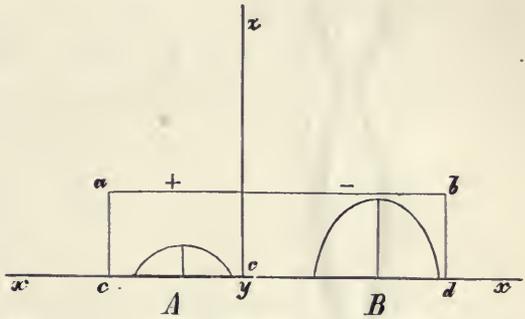


FIG. 165 A, B. A. 1° Collodium. 2° Stärkekleister. 3° Bergkrytall. 4° Cellulose Intine. — B. 1° Traganth. 2° Kalkpath. 3° Cuticula Exine.

Die Theilchen der Membran, durch die Verdunstung des Lösungsmittels bestrebt, sich zu nähern, werden in der xy -Ebene durch die Glaswand eine Zeit lang festgehalten, in allen Richtungen parallel der ζ -Axe aber können sie sich gegenseitig nähern, der Lichtstrahl, welcher senkrecht zur Ebene der Adhäsion die Membran durchheilt, wird nicht zerlegt. In dieser Richtung verhält sie sich wie ein isotroper Körper.

Geht derselbe aber in jeder anderen Richtung, so muß eine Zerlegung in zwei Strahlen und bei der Uebertragung dieser auf eine Schwingungsebene ein Interferenzphänomen eintreten.

Einaxig und optisch positiv nennen wir einen Krytall, dessen Elastizitätsellipsoid, bezogen auf die ζ -Axe, mit welcher die Richtung des Strahles parallel geht, die Lage Fig. 165 *A* hat; so verhält sich Bergkrytall und von unferen künstlichen Membranen die in der Ebene erfarrten, aus Collodium und Stärkekleister; fowie Gelatine.

Einaxig optisch negativ hingegen nennen wir ein Krytallelement, dessen Elastizitätsellipsoid, bezogen auf den mit der ζ -Axe parallelen Strahl, die Lage *B* Fig. 165 hat; so verhält sich Kalkspath und von den künstlichen Membranen diejenige aus Traganthschleim, welcher in der Ebene erfarrt.

Die Voraussetzung, daß die Elastizitätsellipse einer erhärtenden Colloïdmembran in der Fläche der Adhäsion ein Kreis sei, gilt

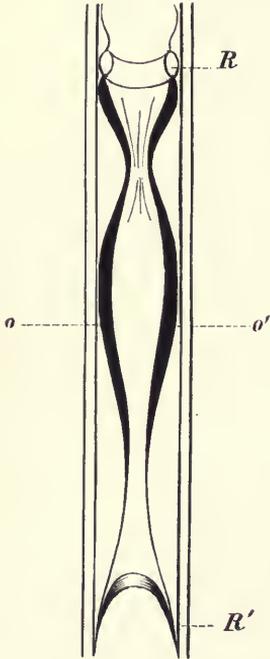


FIG. 166. Optisch zweiaxiger Cylinder von Collodium, in einer Glasröhre eingeschlossen.

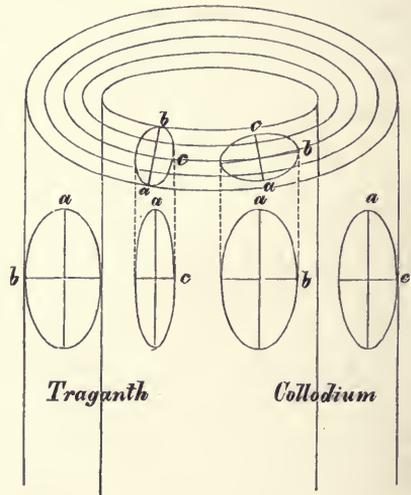


FIG. 167.

nur noch für die Kugelfläche, denn offenbar müssen, gleiche Dicke des erstarrenden Colloides vorausgesetzt, die Tangentialkräfte, welche ein Theilchen beim Erstarrten afficiren, nach allen Richtungen in der Kugelfläche gleich fein. Die Radialkräfte müssen ebenfalls für alle Elemente der Fläche gleich fein, sind aber verschieden von den Tangentialkräften. Wir können daher optisch positive und optisch negative kugelförmige Membranen erhalten, wenn wir die Membranelemente *A* und *B*, Fig. 165, mit der optischen Axe als Radius eine Kugelfläche beschreiben lassen, d. h. wenn wir die betreffenden Colloïde in oder über eine Hohlkugel gießen und erstarrten lassen. Stets müssen solche Kugeln für ein kleines Element in der Richtung des Radius neutral sein.

Daselbe muß, wenn wir von den künstlichen Membranen, welche in der Ebene erstarrten, ausgehen, auch für jede kugelige Membranhülle gelten, welche nicht an einer festen Form anhaftet, so etwa die von einem Colloid umschlossene Luftblase, welche im Sinne einer Seifenblase entstanden sein möge. Die TRAUBE'schen Zellen, die Inulin- und Stärkekörper, wenn sie genau kugelig gewachsen sind, werden ebenfalls hierher gehören, während bei den kugeligen Niederschlägen von kohlensaurem Kalk, die in der auffälligsten Weise die morphotischen Prozesse der Stärkebildung nachahmen, nicht erwiesen ist, ob nicht die Anordnung der Krytallmolecul die Ursache des hier betrachteten Phänomens ist.

2^o Erstarrt das Colloid in einer Cylinderfläche, etwa in einer Glascapillare, so entsteht ein optisch zweiaxiges Membranelement, weil die Theilchen in der Cylinderaxe sich nicht nähern können, während sie in den transversalen Richtungen des Cylinderquerschnittes eine Näherung erfahren.

Es kommt somit zu den vorher (für die Ebene und Kugel) besprochenen Zugkräften eine dritte hinzu, welche nur von der geometrischen Gestalt der Zelle abhängig ist. Mit Rücksicht auf die Gestalt der Pflanzenzelle können wir sagen: optisch zweiaxige Elemente in erstarrten Colloidmembranen müssen entstehen in jeder Fläche, welche nach verschiedenen Richtungen verschieden gekrümmt ist (Ellipsoidfläche, Kegel, Cylinder, elliptischer Kegel u. f. f.).

Legen wir einen dünnen Collodiumcylinder aus der Glascapillare (Fig. 166) horizontal (in Canadabalsam) in's Gesichtsfeld des Polarisationsmikroskopes über ein Gypsplättchen von Roth I in der diagonalen Stellung, so erhalten wir, wenn die optischen Durchschnitte $o o'$ der Cylinderwand mit der großen Axe der Elasticität im Gyps zusammenfallen, Addition. In den Ringquerschnitten $R R'$ erhalten wir Addition in denjenigen Quadranten, welche mit der großen Axe der Elasticität im Gyps zusammenfallen. Endlich in einem Flächenelement der Cylinderwand finden wir die große Axe der Elasticität parallel der Cylinderaxe. Wir erhalten somit:

1. Im Ringabschnitte große Axe der Elasticität tangential, kleine radial, Fig. 167 rechts.

2. Im radialen Längschnitt große Axe parallel der Axe, kleine senkrecht dazu, Fig. 167 rechts.

3. In der Fläche des Cylinders große Axe parallel der Cylinderaxe, kleine senkrecht dazu, Fig. 167 rechts, und hieraus:

1. Die große Axe der Elasticität parallel der Cylinderaxe.

2. Die kleine senkrecht zur Cylinderaxe und parallel dem Radius (senkrecht zur Schichtung).

3. Die mittlere senkrecht zur Cylinderaxe und senkrecht zum Radius (parallel der Schichtung).

Wir können nun statt Collodium dasjenige Colloid anwenden, welches für die Membran in der Ebene bezogen, auf Collodium optisch entgegengesetzt sich verhält: den Traganthschleim.

Der Cylinder aus Traganthschleim besitzt nach derselben Analyse, welche wir für den Collodiumcylinder vornahmen, das Elasticitätsellipsoid, welches wir in der Fig. 167 links darstellen:

1. Die große Axe ist parallel der Cylinderaxe.

2. Die mittlere ist senkrecht zur Cylinderaxe und senkrecht zur Schichtung (radial).

3. Die kleine ist senkrecht zur Cylinderaxe und parallel der Schichtung (tangential).

Leicht ist nun zu erweisen, daß in den aus Collodium und Traganth oder Stärkekleister geschichteten optisch zweiaxigen Cylindern durch Aufhebung eines Theiles der Spannung die Doppelbrechung nicht ganz vernichtet wird. Behandelt man den geschichteten Cylinder mit Alkohol, so wird das Collodium gelöst und es bleibt der Traganthcylinder übrig. Behandelt man mit Wasser, so quillt die Traganthschicht und es bleibt der Collodiumcylinder übrig. Beide so erhaltene Cylinder sind noch stark doppelbrechend.

Es stimmen somit unsere künstlichen Membranen auf das Genaueste mit den natürlichen überein, wenn man von der stärkeren Quellung eines Theiles der Colloide in den künstlichen Zellen absieht.

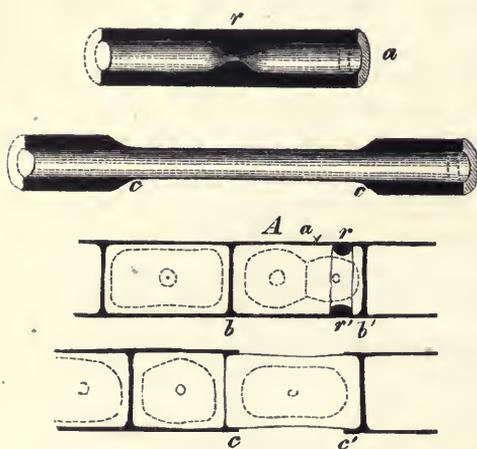


FIG. 168.

Auch in dem Glaszylinder in den gewöhnlichen Röhren selbst sind die Molecularkräfte in demselben Sinne vertheilt; und von denselben Betrachtungen ausgehend, welche wir für die in der Ebene und in der Kugel erstarrende Colloidmasse anstellten, können wir sagen: in einer Glas-hohlkugel, welche geometrisch genau und von gleicher Wandstärke geblasen ist, müssen die Spannkräfte sich so vertheilen, daß ein Flächenelement optisch einaxig \pm ist.

Wir finden in einer Operation der Glasbläuferei den Uebergang zu den Wachsthumserfcheinungen an der lebenden Pflanze und gelangen dadurch zur dritten Voraussetzung.

3^o Um an eine Glasröhre eine dünnere auszuziehen, verfährt man bekanntlich so, daß man an der Röhre *a* Fig. 168 in einem Querschnitt *r* die Glasmasse verflüssigt und zu einem Ring *r* zusammenfließen läßt. Hierauf zieht man mit beiden starren Enden die flüssige Masse zu dem dünneren Cylinder *c c'* aus. Solche Cylinder werden beim Erstarren optisch zweiaxig und zerfallen in zwei Cylinderschalen, deren große Axe der Elasticität mit der Cylinderaxe zusammenfällt, während die kleine und mittlere in dem Querschnitt des Cylinders und zwar so liegen, daß in der äußeren die mittlere radial, die kleine tangential, in der inneren Schale die mittlere tangential, die kleine radial liegt.

So wie durch Zug aus einer flüssigen Glasmasse durch Erstarren eine neue Cylinderwand entsteht, so bietet *Cedogonium*, eine Süßwasser-*Alge*, einen ähnlichen Proceß durch einen Druck auf die Zellwände. Die ausgewachsene Zelle *A*, Fig. 168, in der Cylinderkette durch die Wände *b b'* begrenzt, bildet bei *r* einen Ring flüssiger Cellulose, reißt bei *a* durch einen Ringschnitt und zieht den Ring *r* zu dem dünneren Cylinder *c c'* aus.

Offenbar müssen hier, wenn das Erstarren vor der Relaxation erfolgt, sowie beim Glas sich die Spannkkräfte nach dem herrschenden Zug oder Druck vertheilen.

Wir kommen nun zur vierten Voraussetzung.

4^o Bei der Vertheilung der Spannkkräfte in der Pflanzenzelle kommt nicht allein die Adhäsion, sondern auch die Spannung in Betracht, welche entsteht, wenn die plastische Masse der Wand aus einem Anfangsvolum der Zelle nach einem größeren Volum gezerrt wird. Wir unterscheiden hier:

a) Die Zelle war zur Zeit ihrer Entstehung isodiametrisch und wächst nach allen Richtungen des Raumes gleichmäßig.

b) Die Zelle war im Anfang isodiametrisch und wächst nach einer Richtung vorzugsweise (Haare und Fasern).

c) Die Zelle war schon im Anfang anisodiametrisch und wächst nach allen Richtungen näherungsweise gleichmäßig: Holzelemente, welche aus dem Cambium entstehen.

d) Die Membran ist in gewissem Sinne ein Secret, welches die freie Außenfläche überzieht und mit dieser gleichmäßig weiter wachsen muß (Cuticula, Cuticularschichten).

9. Beziehungen zwischen den Quellungssaxen und dem Elasticitätsellipsoid.

Soweit bestimmte Messungen vorliegen, giebt es Membranen mit drei verschiedenen Quellungssaxen; dahin gehören zum Beispiel die Holzzelle, die Gefäße. In Fig. 169 *A* sind 100 Theile in der Axenrichtung *a c* mit

einer Zunahme vom trockenen nach dem nassen Zustande von 0.8^o/₁₀₀. In *ab* sind 100 Längeneinheiten aus der Masse derselben Holzzeile in tangentialer

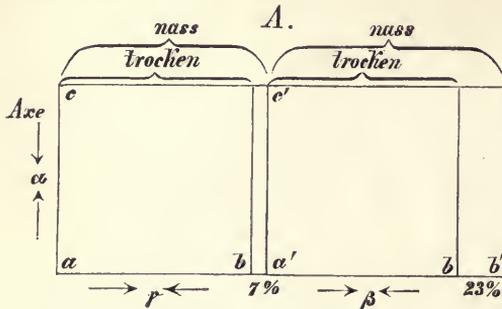


FIG. 169 A. Fichtenholzzeile. 100 Theile der Peripherie. 100 Theile des Radius.

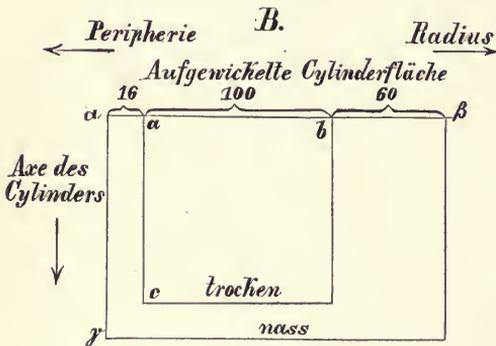


FIG. 169 B. Caulerpa-Stammzeile.

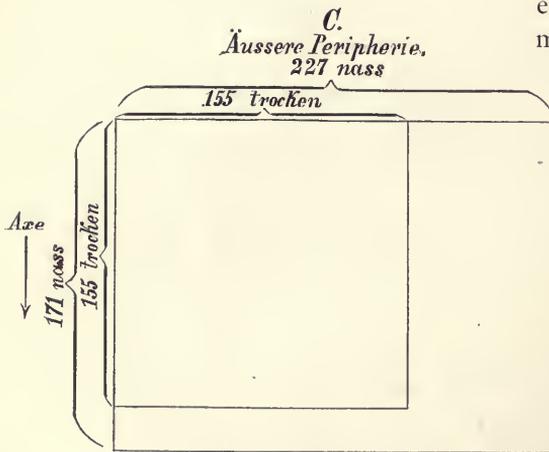


FIG. 169 C. Tragantzylinder.

Richtung gemessen; sie werden zu 107, wenn sie naß sind. Ein ebensolches quadratisches Plättchen von 100 Theilen Axenlänge in den Radius der Zellwand gelegt, quillt von *a'b'* nach *a'b'* um 23^o/₁₀₀.

Bei der Masse der Holz- und Gefäßzellen wirken also bei dem umgekehrten Vorgange des Quellens die Kräfte, welche die Volumveränderung herbeiführen, so: in Richtung der Axe (die Pfeile α) würde die kleinste, in Richtung der Pfeile β , in radialer Richtung, die größte Annäherung erfolgen, und endlich in der tangentialen (die Pfeile γ) würde die Compression eine mittlere sein.

Bei der Caulerpa-Stammzeile entspricht dieselbe Volumverminderung der Compression von $\alpha\beta$ auf ab in der Peripherie und in transversaler Richtung von $\alpha\beta$ auf ab in der radialen Längsrichtung und von $\alpha\gamma$ auf ac in der Längsrichtung. Der letzte Cylinder C verdient ein besonderes Interesse. Er besteht aus erhärtetem Tragantthschleim und wurde in einer Mischung von Alkohol (50^o/₁₀₀) und Wasser (50^o/₁₀₀) zum Quellen gebracht. Man

sieht, daß auch hier, ganz analog der Caulerpa, die Quellung nach den

drei Richtungen ungleich ist. Nun ist leicht einzusehen, daß in der gestaltlosen Masse des Tragantfchleimes die Molecule nach allen Richtungen gleichartig vertheilt waren. Im erhärteten Cylinder aber stimmen nicht allein die Quellungsgrößen, sondern auch die Polarisationerscheinungen auf das vollkommenste mit denjenigen der Caulerpazelle überein. Es liegt somit in diesem Falle mit Bestimmtheit das Bedürfniß nicht vor, den Sitz der Doppelbrechung in die Molecule der festen Substanz zu verlegen und diesen Moleculen krytallinische Natur zu vindiciren.

Bei den Betrachtungen über diesen Gegenstand wolle man beachten, daß alle isotropen Mittel durch Druck anisotrop werden. Man wird daher mit den Axen der Quellung resp. des Schrumpfens besser die Ellipsen und Ellipsoide der Dichte in anisotropen Krytallen der Vergleichung zu Grunde legen. Die Axen dieser haben den reciproken Werth der Elasticitätsaxen.

10. Allgemeine Folgerungen.

Es ist aus den Abhandlungen über die Zellbildung gewiß, daß die pflanzliche Membran aus dem Zustande einer plastischen und colloidalen Masse allmähig erhärtet, dabei Zug- und Druckkräften, sowie den Anziehungen unterliegt, welche in jedem capillar gespannten System herrschen, wie z. B. in der Schaummasse der Actinosphæra, in dem Schaum der Flüssigkeiten. Um die Doppelbrechung in der später festen, elastischen und quellungsfähigen Membran zu erklären, wird man daher nicht nöthig haben, krytallinische Substanzkerne anzunehmen. Zu erklären aber sind immer noch einige Phänomene:

1° Die Membran wirkt im nassen Zustande schwächer auf das polarisirte Licht, wie im trockenen oder im Canadabalsam (f. S. 158).

2° Die Membranen können als optisch einaxige und optisch zweiaxige entstehen. Die Erklärung fließt aus der früheren Schilderung (S. 159).

3° Die ungleiche Quellung nach den drei Richtungen des Raumes erlaubt den Schluß, daß die Masse nach den drei Richtungen ungleiche Dichte besitzt. Daher muß auch die Elasticitätsfläche ein dreiaxiges Ellipsoid sein.

4° Das dreiaxige Ellipsoid der Elasticität des Aethers muß für die beiden Lagen der wirkfamen Ellipse im Querschnitt der Caulerpa einerseits, in der Holzzelle andererseits, gleichsinnig aus dem Axensystem die Quellung erklärt werden können.

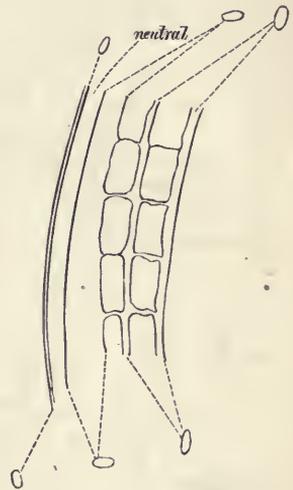


FIG. 170. *Ilex aquifolium*.
Längsschnitt durch die Epidermis des
Zweiges.

5° Die Structur der Aloëepidermis¹ muß aus Phänomenen der Spannung zweier ungleich stark quellender Membranplatten erklärt werden können.

Ein Längsdurchschnitt durch die Epidermis und die Peridermalagen des Zweiges von *Ilex aquifolium* zeigt die Ellipse der Dichte in der äußersten Cuticula so orientirt, wie es die Figur zeigt; dann kommt eine dickere homogene Haut (welche wohl der Cuticularschicht von SCHACHT entspricht), sie ist neutral, und endlich kommt die Schicht, welche der Intine entspricht. Hier ist die Ellipse umgekehrt orientirt, die große Axe steht senkrecht zur

Längsaxe. Die Wände des Binnengewebes, welche an der rechten Seite der Figur 170 liegen, zeigen die Ellipse so orientirt, wie die äußere Haut (Cuticula).

Ganz in gleicher Weise verfuhr ich mit den übrigen Durchschnitten, stellte dabei aber zuerst in das durch Sonnenlicht mit dem Heliofstaten beleuchtete Polarisationsmikroskop die Inulinsphäroide der Dahliaknolle ein, Figur 171 E, verzeichnete an ihnen die Additions- und Subtractionsquadranten, bezogen auf ein Gyps-

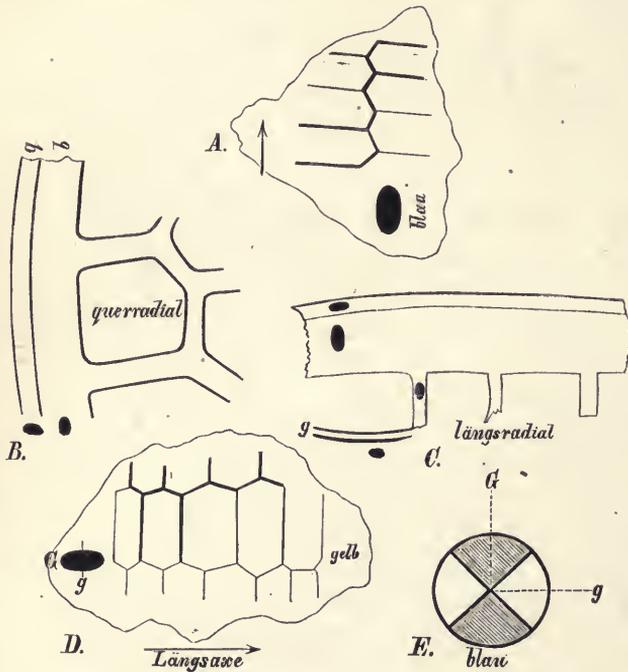


FIG. 171. *Ilex aquifolium*. Durchschnitte durch die Epidermis im Zweige im polarisirten Lichte.

A und D tangentielle Längsschnitte. B Querschnitt. C radialer Längsschnitt. E Inulinsphäroid aus der Dahlienknohle im Polarisfop.

plättchen von Roth der ersten Ordnung.

Betrachten wir zunächst die tangentialen Schalschnitte in Fig. 171 A und D; in der Lage der Längsaxe A ist der Abschnitt additionell; in der Lage D ist er subtractionell gefärbt. Der transversale Durchschnitt zeigt in Fig. 171 B die äußerste Haut (Cuticula), die Dichtigkeitsellipse radial, in der innern tangential orientirt. Im längsradialen Schritte, Figur 171 D, sind die beziehentlichen Ellipsen umgekehrt orientirt.

Im Periderm der Weide, welche ich hier noch in Figur 172 analy-

firen möchte, ist *a* die Cuticula, beziehungsweise die Cuticularschicht (SCHACHT'S), bis *b* die Epidermis, in *c* die ersten Korkzellen.

Für die äußerste Schicht ergibt sich die Ellipse der Dichtigkeit für den Querschnitt so orientirt, daß die größere Axe tangential steht.

Für den Radiallängschnitt steht die größere Axe radial, und im tangentialen Längschnitt, d. h. in der Fläche, steht die größere Axe parallel der Cylinderaxe des Zweiges. Hieraus ergeben sich drei Ungleichungen für die zwei, beziehentlich drei unbekanntenen Axen der Dichte, wenn *t* die quertangentiale, *r* die querradiale, *l* die Längsrichtung bedeuten:

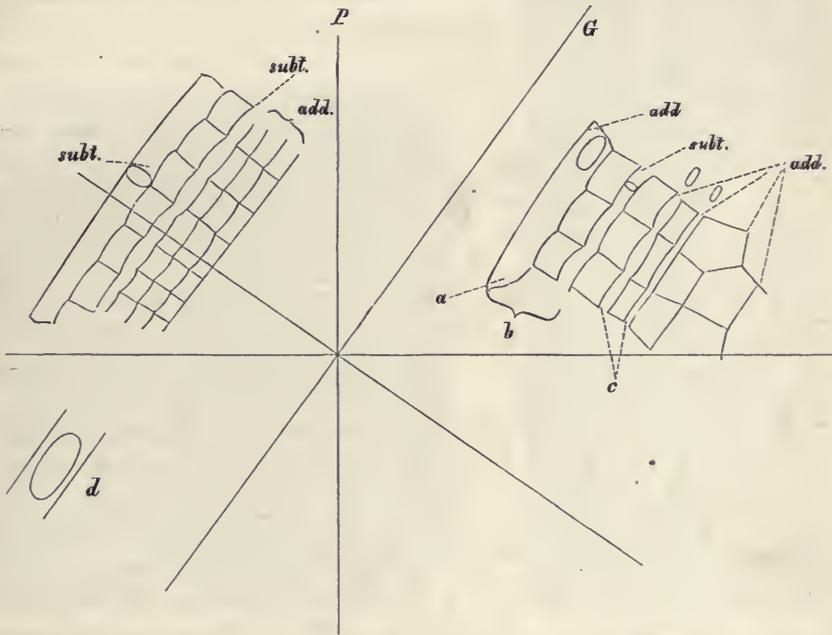


FIG. 172. *Salix fragilis*. Durchschnitte des Periderm und der Epidermis im polarisirten Licht. *d* Fläche der Cuticula. Links oben liegt der radiale Längschnitt, rechts oben der Querschnitt.

$$\begin{aligned} \text{Querschnitt} & \dots \dots \dots t > r, \\ \text{radialer Längschnitt} & \dots \dots \dots r > l. \end{aligned}$$

Nun kann offenbar $t > r > l$ sein, aber auch $t > l > r$; dieß ist aber nur möglich, da $l \gtrsim r$ sein soll; wenn $l = r$ ist, dann erhalten wir $t > r$ und das Element entspricht einem optisch einaxigen Krystalle.

Stellt man nach ganz genauen Bestimmungen die drei Ebenen zu einem Modell zusammen, Fig. 173, in welchem die Durchschnitte sich in dem Eck schneiden, welches dem Beschauer zugekehrt ist, so ist die obere Fläche der Querschnitt, die unter der *y*-Axe liegende die radiale, die unter der *x*-Axe liegende Ebene die tangentiale Flächenansicht.

Von außen nach innen kommt die Cuticula, es ist die Platte bei x . Die Ellipse der Dichte ist im Querschnitt tangential orientirt, sodann kommt die Cuticularschicht; die Ellipse Gg ist radial orientirt. Es sind nun noch drei tangential gestellte Zellhautplatten schraffirt dargestellt. In der ersten steht die Ellipse der Dichte tangential, in den beiden folgenden steht sie radial; diese letzteren sind die ersten Korkzellen.

§ 18. Bestimmungen der verschiedenen Lichtbrechung in Flüssigkeiten.

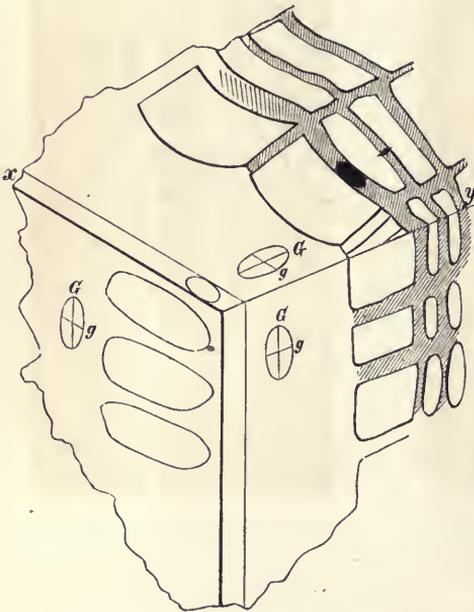


FIG. 173. *Salix fragilis*. Schema des Periderm aus drei Durchschnitten.
Nach der Natur gezeichnet und zusammengestellt.

Ein Theil, ja der größte Theil mikroskopischer Wahrnehmung ist darin begründet, daß das Mikroskop uns grobe Lichtbrechungsunterschiede in klaren, durchsichtigen, glashellen Membranlamellen oder capillaren Flüssigkeitsräumen zeigt. Feinere Brechungsunterschiede, wie es theoretisch gefordert ist, wahrzunehmen, entgeht uns, wenn nicht eine von TÖPLER vor einigen Jahren vorgeschlagene Einrichtung mit dem Mikroskop verbunden wird. TÖPLER¹⁾ nennt diese Einrichtung den Schlierenapparat. Eine Schliere ist ein unregelmäßig umschriebener Ort in einer isotropen Glasmasse, an welchem die Dichte der Masse von der Umgebung um ein We-

niges abweicht.

Die optische Beobachtungsmethode, Schlierenmethode, welche TÖPLER erfunden, beziehungsweise verbessert hat, beruht in folgenden physikalischen Principien: Die Lichtstrahlen, welche durch Luft, allgemein durch ein gleich dichtes Medium gehen, werden in den Linsensystemen eines Fernrohrs in

¹⁾ TÖPLER, Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode.

einem Punkt, dem Brennpunkt der regulären Strahlen, vereinigt. Die Strahlen aber, welche auf ihrem Wege durch stärker oder schwächer lichtbrechende Orte in einem durchsichtigen Medium gehen, werden, wenn schon nur um eine ganz geringe Distanz, vor oder hinter jenem Brennpunkt vereinigt. Es entstehen somit viele Brennpunkte, welche in der optischen Axe eines Fernrohres oder Mikroskops hintereinander gereiht sind. Freilich wird die Intensität des Lichtes in denselben, gegenüber dem Strahlenbüschel, welches in seiner Gesamtheit das Fernrohr oder Mikroskop durchleitet, sehr klein sein. Schaltet man nun, wie TÖPLER vorgeschlagen, einen Schieber an dem Orte ein, wo sich die regulären Strahlen vereinigen, so kann bewirkt werden, daß das



FIG. 174. Copulirende Spirogyrenzellen.

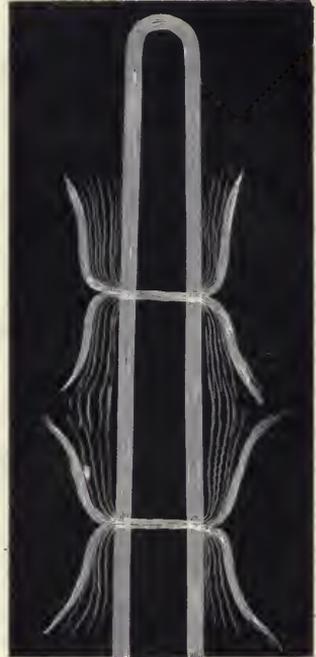


FIG. 175. *Diphyscium foliosum*.
Die Paraphysen der Fig. 181
im Schlierenmikroskop betrachtet.

Strahlenbüschel, welches das Gesichtsfeld erhellt, in seinem Brennpunkt abgeblendet wird, während die stärker oder schwächer gebrochenen in einem der zahlreichen Brennpunkte an dem Rande des Schiebers vorbeigehen.

Es erscheint dann das Bild der stärker brechenden Parthieen des Körpers auf dunklem Gesichtsfeld. TÖPLER konnte eine Menge der prächtigsten Beobachtungen machen. Er konnte mit seiner Methode die Ströme der Luft, welche sich um Flammen und erwärmte Körper bilden, die Strömung der Kohlenäure bei dem Uebergießen dieses Gases aus einem damit gefüllten Gefäß in ein luftgefülltes Gefäß beobachten. Selbst die Compressionen der Luft beim Durchgang der Schallwellen konnten zur Wahrnehmung gebracht werden.

Für die Pflanzenphysiologie scheint mir die Methode bedeutungsvoll. Die Strömungen um die Pflanze, die Beobachtungen über Dichtigkeitsverhältnisse an der Grenzschicht des Plasma bei den Strömungen deselben, die Theilungs- und Wachstumsvorgänge der Zelle könnten mit ihr vielleicht besser wie zuvor belangt werden.

Mit Hilfe der immerhin noch rohen Einrichtung erkennt man in den copulirenden Spirogyrenzellen, daß die Wanderung der Protoplasmamasse aus der Zelle I nach der Zelle II in der Folge oder mindestens gleichzeitig mit einer partialen Quellung der Membran erfolgt. Auch die quellenden Schichten in den Paraphysen von *Diphyscium foliosum*, Fig. 175, werden erkannt. Bis jetzt ist die Methode noch nicht weit genug für die mikroskopische Beobachtung gefördert.

Vierte Abtheilung: Flächenwachstum der Membranen. Streckung der Pflanzenorgane¹⁾.

§ 19. Umgrenzung des Gegenstands.

Es wurde oben angezeigt, daß die Disposition über Dickenwachstum und Flächenzunahme der Zellen und Organe eine künstliche ist, welche lediglich aus praktischen Rücksichten vorgenommen wurde. Beschäftigen wir uns nun mit der Volumzunahme von Zellen und Zellencomplexen, und möge an die Spitze der Discussion dieser Satz gestellt werden:

Das Wachsen ist eine allmälige Auslösung innerer (in der Zelle oder dem Zellencomplex) angehäufter Spannkräfte:

1^o osmotische Spannung wird verbraucht, das Volum der Zelle nimmt zu durch Wasseraufnahme;

2^o ihrer chemischen Natur nach verschiedene Körper gehen in einen

¹⁾ HALES, *vegetable statics*. 3^d edit. London 1738. vol. I. S. 344 giebt schon einige Methoden an, den Zuwachs an Pflanzen zu bestimmen. — Dr. N. J. C. MÜLLER, Untersuchungen über einige Wachstumsercheinungen. Bot. Ztg. 70. 793. 830. 852. — E. ASKENASY, Ueber den Einfluß des Wachstumsmediums auf die Gestalt der Pflanzen. Bot. Ztg. 70. 193. 209. 225. — Dr. N. J. C. MÜLLER, Ueber die Anwendung des Bildmikrofkops. Bot. Ztg. 71. 890. Die Wachstumsercheinungen der Wurzel. Bot. Ztg. 71. 693. 709. 725. — J. REINKE, Unterf. über Wachstum. Bot. Ztg. 76. 65.

stabilen Zustand über, indem sie als feste Membranen niederge schlagen werden: Zucker, Stärke, Inulin u. a. m.;

3^o gestaltliche Keimkräfte werden nur verbraucht, indem Zellen und Zellencomplexe von einem kleinen Volum zu einem größeren von bestimmter und je für verschiedene Zellen und Zellencomplexe verschiedener Form übergehen. Die Wiederholung dieses Vorganges aber wird nach der einmaligen Evolution unmöglich, fowie die zweimalige Keimung aus einer Eizelle.

Die physiologische Bedeutung der Gewebe läßt sich hieraus mit Leichtigkeit überschauen:

Da alle Verjüngungen, an der dauernden Pflanze sowohl, wie in vielen Generationen, nur Zelltheilungsvorgänge sind, in welchen sich viele Zellgenerationen organ- oder individuumbildend hintereinanderreihen, so unterscheidet man wohl:

1^o Zellen oder Gewebe, in welchen nur einmal die drei Wirkungen sich auslösen: Dauergewebe;

2^o ebenfolche, welche für das ganze Leben der Pflanze solche Wirkungen dauernd zur Geltung bringen: Cambium, Meristeme der Knospen;

3^o ebenfolche, welche von Generation zu Generation durch ungemessene Zeiträume, als Derivate der beiden ersten, die organische Formentwicklung vermitteln: Propagationszellen: Sporen, Eizellen, Brutzellen oder Gewebe.

Ein Theil der anatomisch histologischen Studien ist schon in den früheren Abschnitten über Zelltheilung abgehandelt, ein Theil wird in der groben Anatomie und endlich in der allgemeinen Morphologie zum Vortrag kommen.

§ 20. Räumliche Orientirung¹⁾.

In dem Heerd der Zellenbildung, an den Vegetationspunkten, an der Spitze der Zweige und Blätter werden für einen gegebenen kleinen Zeitraum zwei abgesteckte Marken nur eine außerordentlich kleine Verschiebung durch den Zuwachs erfahren. (Man sehe Figur 176.)

Die Wachstumsvorgänge rückwärts der Spitze bewirken, daß diese stetig, bezogen auf den ersten ausgewachsenen Ort, fortgeschoben wird. So wachsen fast alle Pflanzenorgane.

¹⁾ Haben Temperaturschwankungen als solche einen ungünstigen Einfluß auf das Wachstum? Von Dr. R. PEDERSEN. JUL. SACHS, Arb. d. bot. Inffit. in Würzburg. Leipzig 1874. Engelmann's Verlag.

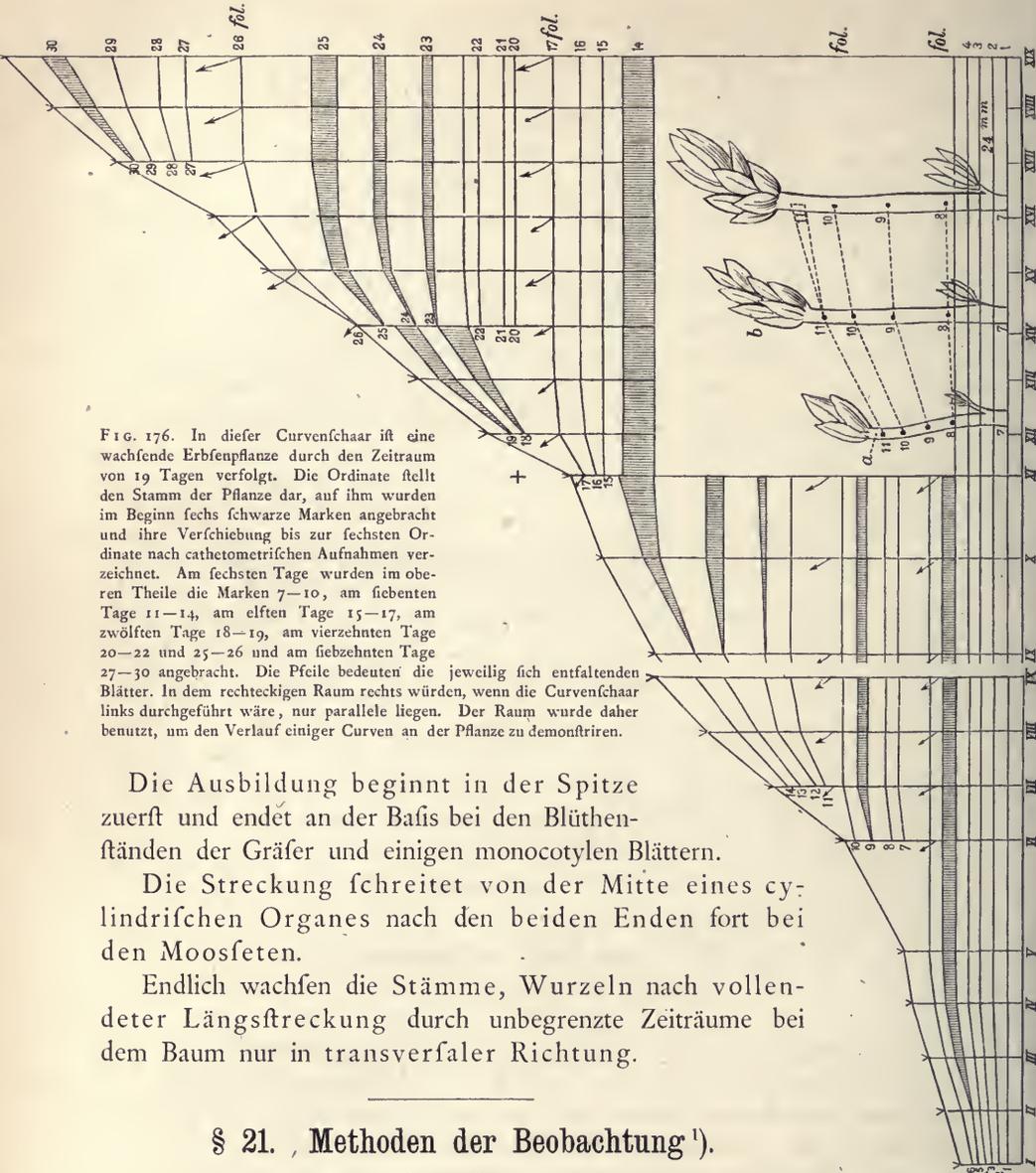


FIG. 176. In dieser Curvenschaar ist eine wachsende Erbsenpflanze durch den Zeitraum von 19 Tagen verfolgt. Die Ordinate stellt den Stamm der Pflanze dar, auf ihm wurden im Beginn sechs schwarze Marken angebracht und ihre Verschiebung bis zur sechsten Ordinate nach cathetometrischen Aufnahmen verzeichnet. Am sechsten Tage wurden im oberen Theile die Marken 7—10, am siebenten Tage 11—14, am elften Tage 15—17, am zwölften Tage 18—19, am vierzehnten Tage 20—22 und 25—26 und am siebzehnten Tage 27—30 angebracht. Die Pfeile bedeuten die jeweilig sich entfaltenden Blätter. In dem rechteckigen Raum rechts würden, wenn die Curvenschaar links durchgeführt wäre, nur parallele liegen. Der Raum wurde daher benutzt, um den Verlauf einiger Curven an der Pflanze zu demonstrieren.

Die Ausbildung beginnt in der Spitze zuerst und endet an der Basis bei den Blütenständen der Gräser und einigen monocotylen Blättern.

Die Streckung schreitet von der Mitte eines cylindrischen Organes nach den beiden Enden fort bei den Moosfeten.

Endlich wachsen die Stämme, Wurzeln nach vollendeter Längsstreckung durch unbegrenzte Zeiträume bei dem Baum nur in transversaler Richtung.

§ 21. Methoden der Beobachtung¹⁾.

1^o Um Wachstumsvorgänge im Allgemeinen zu studiren, wird das Mikroskop Manches lehren können. Durch die vergleichende Untersuchung desselben Gewebes in verschiedener Entwicklungsphase (f. A.) bilden wir

¹⁾ Von einem Ungenannten: Die Milchsaftgefäße, ihre Entwicklung. 833. 49. 65. Bot. Ztg. 46. — Dr. A. SCHACHT, Die sogenannten Milchsaftgefäße der Euphorbiaceen

uns die Kette von Vorstellungen, welche wir die Entwicklungsgechichte des betreffenden Gewebes nennen.

2^o Die Wägung und die Volumbestimmung ergeben die Wachsthumscurve als Function der Zeit. Trägt man das Gewicht oder das Volum oder die Länge je als Ordinaten auf eine Abcissenaxe, welche die Zeit bedeutet, so erhält man durch Verbindung der Ordinaten drei Curven, welche als Wachsthumscurven bezeichnet sein mögen. Sie zeigen die gesetzmäßige Entwicklung in der Zeit und zwar kommt jeder derselben, wie selbstredend, eine besondere Bedeutung zu.

3^o Wägung, Volumbestimmung der Zunahme von einem nach dem zweiten, von dem zweiten nach dem dritten Zeitpunkt ergeben den Zuwachs, welcher, wie unter 2^o als Function der Zeit, als Wachsthumscurve dargestellt werden kann.

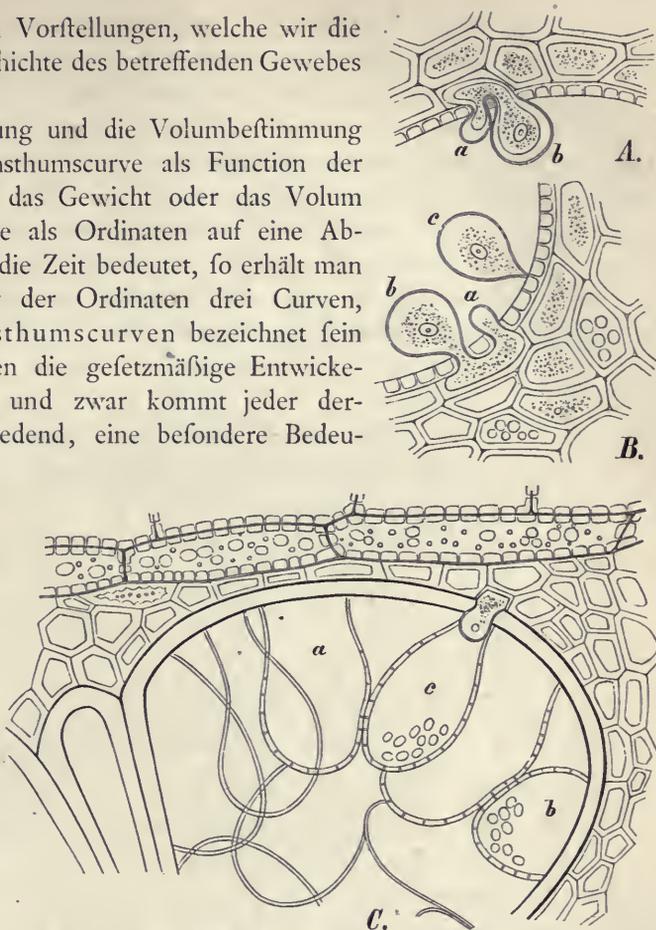


FIG. 177 A. B. C. (Nach REES, Bot. Ztg. 1868, S. 1. Zur Kritik der BÖHM'schen Ansicht u. f. f.) Cucurbita. A, B Thyllen, welche soeben aus dem Holzparenchym bei a b in ein Gefäß wachsen. C Thyllenbildung im Eichenholz. Man erkennt die Continuität der Membran der Thylle mit derjenigen der dem Gefäß benachbarten Zellen!).

u. f. w. und Milchsaft führende, nicht selten verzweigte Baftzellen. 513. Bot. Ztg. 1851. — SCHACHT, Die Milchsaftgefäße der Carica Papaya, deren Entstehung, Bau und Verlauf. 1856. Monatsber. d. K. Ac. d. Wissensch. Berlin. — HANSTEIN, Die Milchsaftgefäße und die verwandten Organe der Rinde. 1864. Berlin. Wiegandt u. Hempel. — A. VOGL, Beiträge zur Kenntniß der Milchsaftorgane der Pflanzen. S. 31. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. 1866—1867. — Dr. A. VOGL, Physiologische Beiträge. 1. Ueber Milchsaftgefäße in der Klette. 193. — Ueber den Einfluß der Lufttemperatur und des Tageslichtes auf die stündlichen und täglichen Aenderungen des Längenwachstums — Streckung der Internodien. JUL. SACHS, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Heft 2. Leipzig 1872. Engelmann.

1) Von einem Ungenannten: Untersuchungen über die zellenartigen Ausfüllungen der Gefäße. Bot. Ztg. 45. 241. — Dr. R. REES, Zur Kritik der BÖHM'schen Uebersicht über die Entwicklungsgechichte und Function der Thyllen. Bot. Ztg. 68. 1.

A. Allgemeine Beobachtungen.

(Thyllen, verzweigte Baftfafern und Milchsaftgefäße, Diphyscium-Paraphysen.)

Bei der Robinie, der Eiche, der Buche, bei dem Weinstock, bei *Phytolacca* und wenigen anderen wurden im fertigen Holzkörper lange nach beendigtem Dickenwachstum der Membranen blasige Zellhautwucherungen beobachtet, welche von ganz kleinen, an die Poren der Gefäße grenzenden Zellhautflächen der Markstrahlen (wohl allgemein der leitungs-fähigen Zellen mit Berücksichtigung der *Phytolacca*) durch die Poren der Gefäße getrieben werden, Fig. 177 A, dort sich gegenseitig abplatteten, Fig. 177 C, und endlich als ein Pseudoparenchym das Lumen der befallenen Zelle ausfüllen.

Nach vergleichenden Beobachtungen über den Einfluß von Bohrwunden und Aftabschnitten, welche ich auszu-

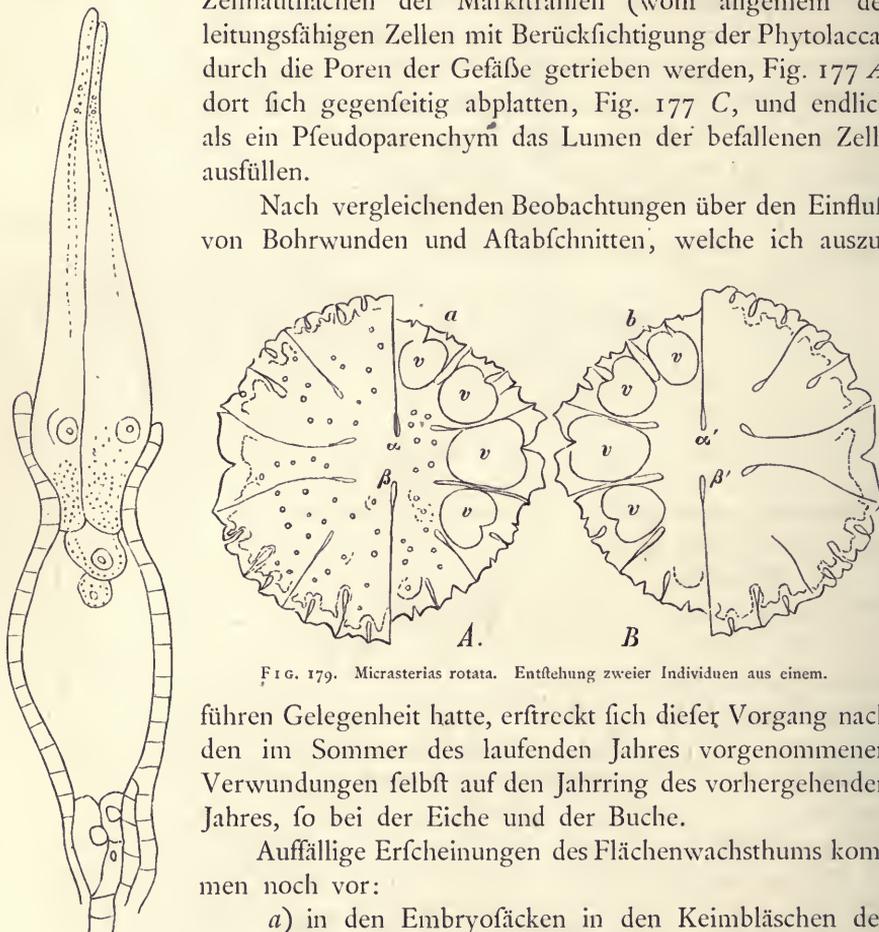


FIG. 179. *Micrasterias rotata*. Entfaltung zweier Individuen aus einem.

führen Gelegenheit hatte, erstreckt sich dieser Vorgang nach den im Sommer des laufenden Jahres vorgenommenen Verwundungen selbst auf den Jahrring des vorhergehenden Jahres, so bei der Eiche und der Buche.

Auffällige Erscheinungen des Flächenwachstums kommen noch vor:

a) in den Embryofäcken in den Keimbläschen der Phanerogamen, so wachsen z. B. Fig. 178 die Keimbläschen der *Bartonia* weit aus dem Embryofack heraus in die Mikropyle. Aehnliches kommt bei der *Calendula* (nach den Untersuchungen TULASNE's) vor.

b) Die Zygnemaceen *Micrasterias*, Fig. 179, auch *Cosmarium*, wachsen so, daß an dem Orte, wo die beiden gleichen Zellhälften zusammenhängen, zwei Ausfülpungen getrieben werden, nachdem die Theilung im Protoplasma

der Zelle erfolgt ist. Jede Hälfte differenziert sich sofort in die zierlichen und dichotomischen Zweige, die neu entstandenen Hälften wachsen, bis sie die entsprechende Größe erhalten haben, um *a* und *b* je für sich so zu ergänzen, daß die Configuration des ursprünglichen Individuums hergestellt wird.

c) Die verzweigten Bastzellen der Monstera und mehrerer anderer Monocotyledonen waren ursprünglich einfache cylindrische Zellen. Durch nachträgliches Flächenwachstum treiben sie von begrenzten Kreisflächen der Zellwand aus Zweige, welche die Nachbarzellen auflockern. Die Zweige verlaufen in den Intercellularräumen, Fig. 180. Dieser Vorgang vollzieht sich sehr wahrscheinlich nur, während die hier in Frage kommenden Ge-

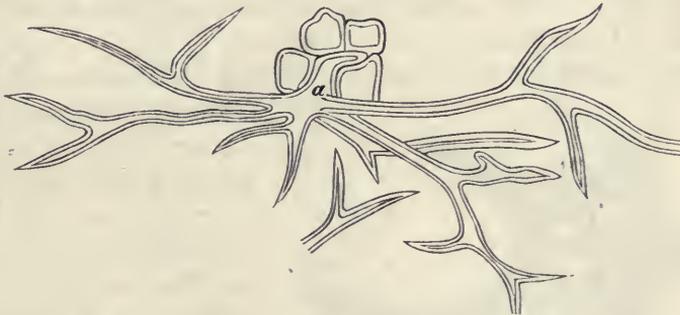


FIG. 180. *Tornelia fragrans*. Verzweigte Bastfaser, in *a* zwischen zwei Parenchymzellen wachsend.

webeparthien noch durch Wachstum in der Auflockerung begriffen sind.

d) Die Paraphysen des *Diphyscium foliosum* sind im Anlagezustand cylindrische Zellensäden. Durch intercalares Flächenwachstum zerreißt nach der Differenzirung zweier Zellhautplatten die äußere, die innere wächst. Der äußere Hohlcyylinder wird in Form zweier zu jeder Zelle gehörigen Kappen abgegliedert. Die Oeffnungen der beiden Kappen entsprechen der kreisförmigen Rißstelle des äußeren Membrancylinders, Fig. 181.

In ähnlichem Sinne, wenn schon nicht so auffällig wie bei den verzweigten Bastzellen, müssen Verschiebungen in der gemeinsamen Lamelle bei dem complexen Gewebe wie Holz und Rinde unserer Bäume statthaben. Da sie aus einem Gewebe entspringen, muß nämlich die Anfangslänge der Bast- und Holzzellen nahezu gleich fein. Ihre Länge im ausgewachsenen Zustande aber ist sehr verschieden.

Dies ist gleichfalls nur so zu denken nach den

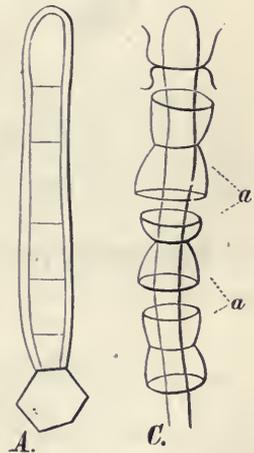


FIG. 181. *Diphyscium foliosum*. Zwei Zustände einer Paraphyse: *A* wächst und zerklüftet die Wand in 2 Schalen, die äußere wird durch quellende Mittelschichten in *a a* in *C* aufgetrieben und reißt. In *C* sind die Reste der äußeren Haut als tutenförmige Hüllen sichtbar.

Erfahrungen, welche den Histologen zur Verfügung stehen, daß jene primäre Membran ursprünglich aus zwei differenten Niederschlagslamellen zusammengesetzt wurde, welche selbstständig zu wachsen vermögen, so daß zwei im gleichen Niveau liegende feste Punkte, der eine zu dieser, der andere zur Nachbarzelle gehörig, an einander vorbeigleiten¹⁾.

B. Verdrängung bestimmter Zellen durch das Heranwachsen anderer.

In heterogenen Geweben wachsen bestimmte Zellen so stark in die Fläche, daß sie ihre Nachbarn beeinträchtigen, so die Gefäße und Tracheiden des Holzkörpers. Ursprünglich waren diese von gleicher Größe; so lange das Gefäßbündel, beziehentlich der secundäre Zuwachs, sich im cambialen Zustande befand. Mit der Volumvermehrung der in Frage kommenden Zellen müssen die Nachbarn entweder collabiren oder doch im Volum auf ein Minimum beschränkt werden. Hierbei werden die Nachbarzellen nach den Untersuchungen VELTEN'S durch das heranwachsende Gefäß in ihrer gemeinsamen Membran so aufgerissen, als wenn diese in zwei Lamellen gespalten würde, und mehr oder weniger, so lange sie noch im plastischen Zustande befindlich, zu structurlosen Massen zusammengepreßt, Fig. 182.

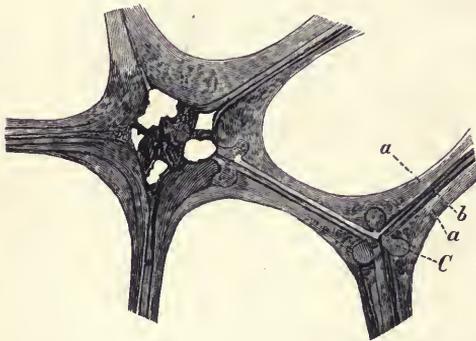


FIG. 182. *Pteris aquilina*. Kleine Parthie aus dem Querschnitt des Gefäßbündels des Stammes. Die Membran erscheint in drei Schichten *a a* und *b*, die sogenannte primäre Membran differenziert. In dem Vereinigungspunkt dreier Zellen liegen drei eigenthümliche, stark lichtbrechende Massen *C* in der Zellwand eingeschlossen, die Reste der durch die Gefäßzellen bei ihrem Heranwachsen comprimierten Nachbarn.

C. Bestimmung der Wachsthumscurve durch Scalirung der Pflanzentheile.

(Partialzuwachs.)

I. Methode (f. Figur 176).

Gutes Millimeterkoordinatenpapier wird, in Harz getränkt, zwischen zwei Glasplatten in Canadabalsam eingekittet, eine oder zwei solcher Wände werden in's Loth orientirt und es werden wachsende Pflanzen vor diese Platten so aufgestellt, daß man mit einem geeigneten Cathetometerfernrohr ihre Lage zu den Ordinaten der Glaswände festhalten und in geeignetes Coordinatenpapier einzeichnen kann.

¹⁾ Dies muß auch gelten für die ersten Ausfüllungen der Milchsaftzellen bei *Vinca*, *Scorconera*, *Euphorbia* u. a. m.

Die Längen der ganzen Pflanze für viele hintereinander belegene Zeitpunkte ergeben die Zuwachscurve. Punktirt man rückwärts der Spitze mit schwarzer Farbe die Stamm- und Wurzelfstückchen¹⁾, so kann der Zuwachs der einzelnen Abschnitte und durch geeignete Interpolation die Wachstumscurve des kleinsten Ortes (Punktes) aufgefunden werden. Fig. 183, 184.

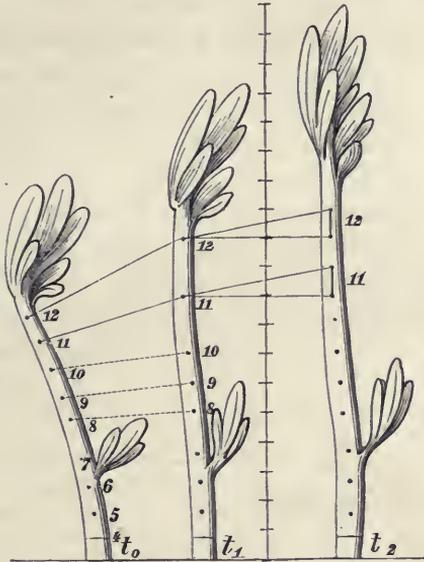


FIG. 183. Langsam wachsende Erbsenpflanze.
Zeitintervall 24 Stunden. Temperatur 20°.

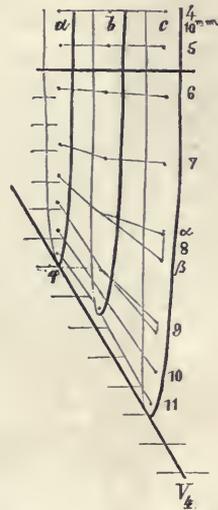


FIG. 184. Rasch wachsende Erbsenwurzel.
Zeitintervall 8 Stunden.
Temperatur 20°.

1) Bei wachsenden Wurzeln und Stämmen wird eine kleine schwarze Marke, welche zwischen der sichtbaren absoluten Spitze und dem ersten ausgewachsenen Punkt rückwärts der Spitze angebracht ist, allmählig in der Weise verschoben, daß sie sich dauernd von der Spitze entfernt, von dem ausgewachsenen Punkte aber nur einige Zeit, bis ihre Lage bezogen auf den letzteren constant wird. Legen wir den festen Punkt in die Abscissenaxe und tragen wir für verschiedene aufeinanderfolgende Zeitpunkte die Länge des Abstandes der Spitze von dem Punkt in der Abscissenaxe als Ordinate ein, so stellt für einen kleinen Zeitraum die Verbindungslinie der Spitzen eine gerade Linie dar, deren allgemeine Formel bekanntlich ist:

$$1) \quad y = A + Bt.$$

Hierin bedeutet A die anfängliche Distanz der Spitze, t die Zeit und B die trigonometrische Tangente des Winkels, welchen die Gerade mit der Abscissenaxe einschließt. Die Länge der veränderlichen, durch das Wachstum verschobenen schwarzen Marke hinter der Spitze und über der Abscissenaxe, Fig. 183, wird gefunden, wenn wir von dem Werthe y in 1) einen zu dem Zeitpunkt gehörigen Functionswert λ , Fig. 185, abziehen. Diese Länge ist ebenfalls eine Function der Zeit. Aus dem Verlauf der Curvenschaaren aber ergibt sich, daß sie nicht eine lineare Function der Zeit sein kann.

Wählen wir die von REGNAULT angewandte Formel für die Tension des Wasserdampfes mit wachsender Temperatur und setzen

$$2) \quad \lambda = a + b\beta,$$

Die Punkte 8, 9, Fig. 183, beschreiben flache Curven, welche endlich mit der Abscissenaxe parallel gehen. Die Punkte 11, 12 aber ergeben steilere Curven. Vom Zeitpunkt t_1 nach t_2 fließt ein solcher Farbenpunkt zu einer Linie aus, 11, 12, Fig. 183. Ganz ähnlich verhält sich in Figur 184 die Wurzel. Es folgt aus diesen Beobachtungen mit Zuhilfenahme noch genauerer Messungen, wie sie bei constanter Temperatur bei der Erbfenwurzel und mehreren anderen typischen Organen angestellt wurden, Figur 186: wenn man von der Spitze ab aequidistante Marken anbringt und deren Abstand in einem nicht zu großen Zeitintervall bestimmt (die Zeitgrenzen müssen so gewählt sein, daß keines der Cylinderstückchen darin wirklich auswächst), so beschreiben die Punkte Curven, welche bei den entferntesten Punkten flacher, bei den mittleren steiler sind, während die der Spitze zunächst gelegenen Marken parallel mit der Wachsthumscurve verlaufen oder wenig von dieser divergiren.

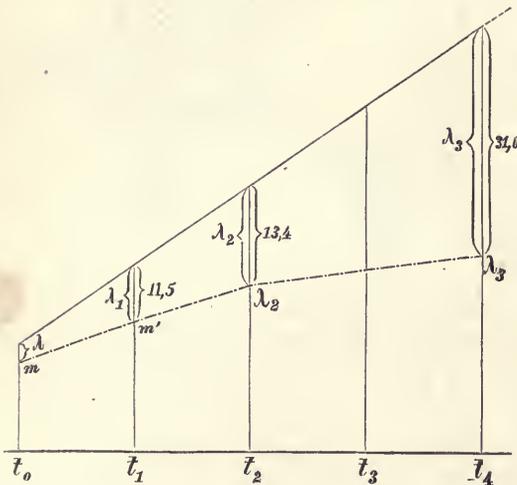


FIG. 185.

worin a der anfängliche Abstand von der Spitze, b und β Coëfficienten sind, welche sich aus der Messung durch die Rechnung ergeben. Wir berechnen drei Constanten aus den Messungen mit Hilfe jener Scale und des Cathetometers, nämlich $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ zu den Zeitpunkten t_0, t_2, t_4 (Fig. 185). Dieselben sind bestimmt durch die drei Gleichungen:

- 1) $a + b = \lambda_1,$
- 2) $a + b\beta^2 = \lambda_2,$
- 3) $a + b\beta^4 = \lambda_3.$

Die Zuwächse in den Zeitpunkten 2 und 4 werden erhalten, indem wir den je vorhergehenden von dem nachfolgenden Werth für λ abziehen:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \lambda_2 - \lambda_1, \\ \Delta_2 &= \lambda_3 - \lambda_2. \end{aligned}$$

Hieraus und aus den drei vorhergehenden Gleichungen wird:

$$\begin{aligned} 4) \quad \Delta_1 &= b(\beta^2 - 1), \\ \Delta_2 &= \beta^2 b(\beta^2 - 1) \quad \text{und} \\ \beta^2 &= \frac{\Delta_2}{\Delta_1}, \quad \beta = \sqrt{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}}. \end{aligned}$$

Die Formel hat aber nur Geltung, wie leicht einzusehen, wenn der Totalzuwachs y eine lineare Function der Zeit ist. Ist diese Curve selbst eine Wellenlinie, so ist die Gleichung y selbst eine periodische Function, und wenn auch λ nicht beeinflusst würde, bezogen auf eine Gerade, so muß doch selbstredend y erst bekannt sein um y' zu finden.

Es möge an einem gegebenen Beispiel die vorstehende Rechnung veranschaulicht sein.

Da nun je ein tieferer Punkt die spätere Phase eines vor ihm belegenden höheren ist und der Vorgang des Wachstums eine kontinuierliche Bewegungsercheinung darstellt, so müssen alle die Curvenstücke congruent sein, welche von Punkten gleicher Anfangsentfernung von der Spitze beschrieben wurden. Man sehe Fig. 176 und vergleiche diese mit Fig. 189. Es folgt aber weiter aus denselben Curvenschaaren, daß der Partialzuwachs von hintereinander belegenen Cylinderstückchen merklicher Ausdehnung, Fig. 188, verschieden ist in dem Sinne, daß er eine bestimmte Function der Entfernung des Stückchens von der Spitze darstellt.

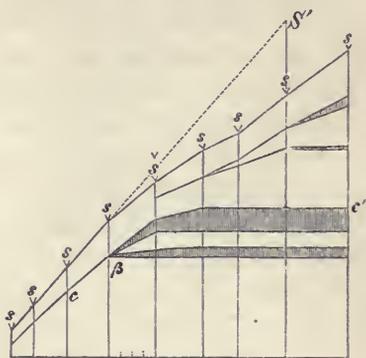


FIG. 186. Erbsenwurzel mit 2 schwarzen Marken. Zeitintervall (Einheit der Abszisse) 1 Stunde. Die Curve s s s die Wachstumskurve der Spitze.

Für die Zeitpunkte 0.2.4 wurden gefunden für λ λ_2 λ_3 und Δ_1 Δ_2 :

$$\begin{aligned} t_0 \quad \lambda \quad 2.5 \dots \Delta_1 \quad 11.9 &= \lambda_2 - \lambda_1 \\ t_2 \quad \lambda_2 \quad 13.4 \dots \Delta_2 \quad 17.6 &= \lambda_3 - \lambda_2, \\ t_4 \quad \lambda_3 \quad 31.0 \end{aligned}$$

nach der Gleichung $\lambda = a + b \beta^t$ erhalten wir:

$$\begin{aligned} 2.5 &= a + b = \lambda_1, \\ 13.4 &= a + b \beta^2 = \lambda_2, \\ 31 &= a + b \beta^4 = \lambda_3 \end{aligned}$$

nach $\beta = \sqrt{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}}$ $\lg \beta = \lg \frac{\Delta_2}{\Delta_1} = 1.216$,

$$b = \frac{\Delta_1}{\frac{\Delta_2}{\Delta_1} - 1} = 24.84;$$

nach $a = \lambda - b = -22.34$
und somit

$$\lambda = a + b \cdot \beta^t = -22.34 + 24.84 \cdot 1.216^t.$$

Durch Messung wurde ferner gefunden der Werth für $y = A + Bt$.

Aus der Gleichung 4) erhalten wir:

$$b = \frac{\Delta_1}{\beta^2 - 1} = \frac{\Delta_1}{\frac{\Delta_2}{\Delta_1} - 1}$$

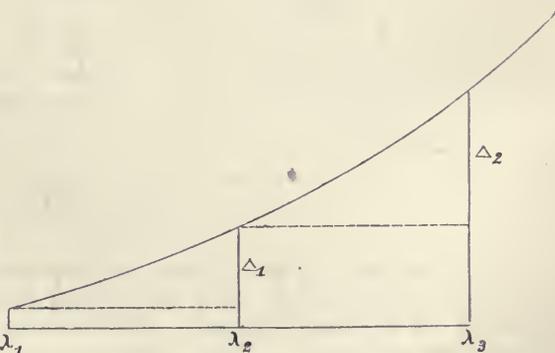


FIG. 187. Schema der Curve $\lambda = f(t)$.

Aus 1) aber wird $a = \lambda - b$.

Für λ erhalten wir somit:

Nennen wir $l_1, l_2, l_3 \dots$ u. f. f. die Längen, welche gleichlange, durch Marken kenntlich gemachte Cylinderstückchen nach bestimmtem Zeitintervall erlangen, deren Anfangslänge gleich l war, so find: $l_1 - l, l_2 - l, l_3 - l$ die Zu-

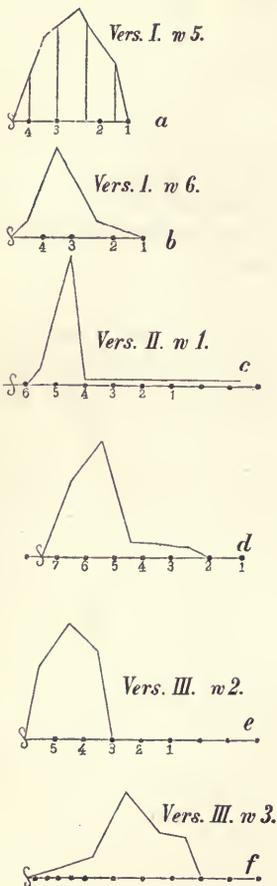


FIG. 188. Zuwachscurven der Wurzeln.

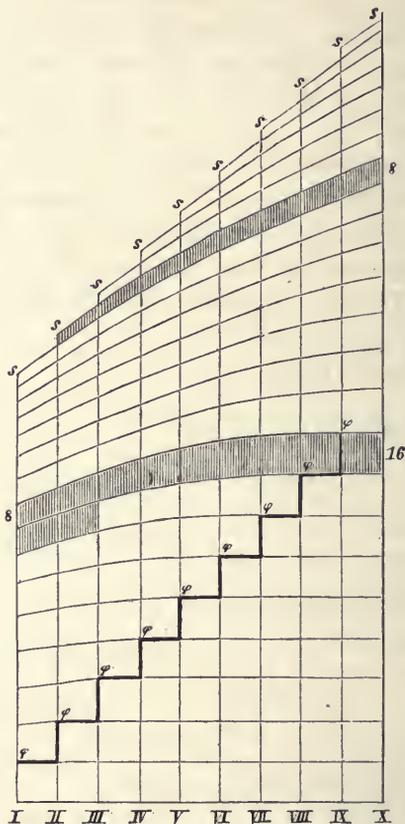


FIG. 189. Curvenschar für das Längenwachstum, unter der Voraussetzung, daß dieses eine lineare Function der Zeit sei.

$$\lambda = a + \frac{\Delta_1}{\frac{\Delta_2}{\Delta_1} - 1} \left(\sqrt{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} \right).$$

Diese Gleichung ergibt die Länge der Marke hinter der Spitze. Nennen wir nun y_1 die Wachstumsfunction des durch die schwarze Marke kenntlichen Punktes (Ortes) bezogen auf die Abscissenaxe, so müssen wir λ von y der Wachstumsfunction der Spitze abziehen. Wir erhalten:

$$y_1 = A + \text{tang. } \varphi t - \left[a + \frac{\Delta_1}{\frac{\Delta_2}{\Delta_1} - 1} \left(\sqrt{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} \right) \right],$$

wachse der Stückchen. Trägt man diese in eine Abscissenaxe, Figur 188, deren Intervalle durch die Länge l gemessen sind, so stellt die Verbindungslinie der Ordinaten die Zuwachse als Function der Entfernung von der Spitze dar, Fig. 188. Solche Curven können nach der Abscissenaxe concav, a und e , oder convex sein, $b c f$, Fig. 188. Ein allgemeiner Zug aller ist dieser: sie stellen eine periodische Function der Entfernung mit absolutem Maximum und absolutem Minimum, welches gleich Null ist, dar, d. h. ein jedes sichtbare Cylinderstückchen wächst zuerst langsam, dann stärker, dann wieder langsamer, bis zuletzt diese Bewegung in ihm erlischt. Die Ursache hiefür liegt darin begründet, daß für endliche Zeitgrenzen in der gleichen Länge an einem näher der Spitze gelegenen Cylinderstück eine größere Anzahl nach der definitiven Ausdehnung strebender Zellen liegt, wie in jedem tiefer belegenem. Das Schema Fig. 189 mag dieß Verhältniß erläutern. In der stark ausgezogenen Treppe φ , Figur 189, ist dargestellt, daß der Zuwachs an ausgewachsenen Zellen einfach proportional der Zeit erfolgt. Auch die Spitze s rückt in demselben Sinne fort. Daher laufen beide Gerade (die Gerade φ und die Gerade s) parallel, zwischen ihnen aber beschreiben die Marken, welche die Distanzen

$$\begin{aligned}
 t_0 \quad y &= 46.0 & y_1 &= A, \\
 t_4 \quad y &= 92.0. & y_2 &= A + Bt, \\
 & & y_2 - y_1 &= Bt, \\
 & & B &= \frac{y_2 - y_1}{4} = 11.5,
 \end{aligned}$$

fomit endlich

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 46.0 + 11.5t - (-22.34 + 24.84 \cdot 1.216^t) \\
 &= 68.34 + 11.5t - 24.84 \cdot 1.216^t.
 \end{aligned}$$

Aus allen diesen Curven ist es leicht einzusehen, daß die Zuwachse der einzelnen kleinsten Cylinderabschnitte, die sogenannten partiären Zuwachse, an einem bestimmten Punkte hinter der Spitze ein Maximum erreichen. Von Bedeutung scheint mir, darauf hinzuweisen, daß diese Eigenschaft der Stämme und Wurzeln darin begründet ist, daß sie aus verschiedenen alten Zellen bestehen. Eine Zelle, welche in der Nähe des Vegetationspunktes liegt, ist im Minimum der Ausdehnung, sie wächst und durchläuft stetig mit der Zeit alle die Längen der tiefer belegenem Zellen, bis sie ausgewachsen ist. Sie rückt aber während dessen auch von der Spitze fort, wenn in dem Vegetationspunkt stetig neue Zellen angelegt werden. Endlich kommt die betrachtete Zelle an den Ort, wo die ausgewachsenen Zellen liegen. Dieser Ort hat, bezogen auf die Spitze der Wurzel oder des Stammes, eine constante Lage. Das Schema 189 verfinnlicht das Wachsen eines aus 16 Zellen bestehenden kleinen Cylinderstückchens unter der Voraussetzung, daß unter den 16 Zellen die kleinste eben ihr Wachstum beginne und daß diese, wie alle anderen proportional der ersten Potenz der Zeit wachse. Die Abscissen $I II \dots VIII$ bedeuten dann die Zeit und die Figur veranschaulicht fomit, wie in je einem Zeitpunkt $I II III \dots$ je eine Zelle aus dem Zustand geringster Ausdehnung im Vorrath s heraustritt, um allmähig wachsend in den Zustand der größten Ausdehnung überzugehen. Der Vorrath der ausgewachsenen Zellen rückt mit der Linie $\varphi \varphi$, also mit der Zeit proportional so wie die Spitze fort.

der nicht ausgewachsenen Zellen darstellen, Curven, welche zuletzt parallel der Abscissenaxe gehen.

D. Auxanometrische Beobachtungen.

Bestimmung des Zuwachses in der Längsrichtung.

Das Princip dieser Beobachtungsmethode ist dieses:

Ein fester Faden wird mit Hilfe einer Klammer an der Spitze des wachsenden Pflanzentheiles befestigt, andererseits über eine Rolle geführt, an deren Peripherie das Ende befestigt ist. Mit derselben Rolle steht ein Zeiger in Verbindung, welcher sich dreht, wenn auf die Rolle dasjenige Fadenstück aufgewickelt wird, welches dem Zuwachs des Pflanzentheiles entspricht. Der Zeiger besitzt eine sehr viel größere Länge wie der Radius der Rolle. Das aufgewickelte Fadenstück wird demgemäß von dem Zeiger an einer Kreistheilung vergrößert angegeben um $\frac{R}{r}$, wo R die Länge des Radius am Zeiger, r den Radius der Rolle bedeutet.

Ein solcher Apparat erlaubt, wenn durch ein Uhrwerk die Rolle stetig den Faden aufwickelt, so daß der Zeiger ganze Kreisumläufe beschreiben kann, für lange oder kurze Zeiträume den Zuwachs zu bestimmen, als Function der Zeit und der wechselnden äußeren Einflüsse: Temperatur, Bestrahlung der äußeren und inneren Zustandsänderung in Folge der Ernährung und des Wechsels äußerer Einflüsse.

§ 22. Ergebnisse der Messungen nach den angegebenen Methoden.

(Siehe Figur 176, S. 172.)

A. Bei langlebigen Pflanzen streben die Vermehrungsgewebe dahin, die feste Zuwachsmasse auf ein immer größer werdendes Volum auszubreiten.

B. Bei dem Wachsthum der Zellen und Gewebe ist eine Veränderung der Configuration durch Verschiebung der zu zwei Zellen gehörigen Membranlamellen möglich.

C. Bei Pflanzentheilen, deren Heerde der Zellbildung am Ende des Organes liegen, ist der Partialzuwachs eine periodische Function der Zeit.

D. Die Curve des Zuwachses muß ebenfalls eine periodische Function der Zeit sein.

E. Die Wachsthumscurve der untersuchten Pflanzen zeigt innerhalb enger Zeitgrenzen ein periodisches Ansteigen. Die Curve muß der Natur

der Sache gemäß aber immer so beschaffen sein, daß die Zuwachse höchstens Null und nicht negativ werden¹⁾).

a) Dieß ist darin begründet, daß Nachts die Streckungsintensität steigt, am Tage sinkt. Wahrscheinlich Folge der Drucksteigerung durch langsamen Ausgleich der Wasservertheilung.

b) Jedesmal, wenn an einem gegebenen Stamm neue Zweige, Blätter in die Phase der Streckung gerathen, sinkt die Intensität dieser in der Haupt- richtung merklich.

c) Endlich schwankt diese Intensität in stündlichen Perioden, dieß ist von inneren Zustandsänderungen abhängig, welche bis jetzt nicht näher bekannt sind.

d) Jene periodische Schwankung ist von der Temperatur in dem Sinne abhängig, daß bei einem bestimmten Temperaturminimum allgemein wohl über dem Nullpunkt des Celsiusthermometers die Streckung aufhört (Minimum der Temperatur). Bei einem mittleren Temperaturpunkt erreicht die Zuwachsintensität ihr Maximum (Optimum der Temperatur), und selbstredend muß ein höchster schädlicher Temperaturpunkt existiren, wo die Streckung soeben unterbleibt (Maximum). Innerhalb des Minimums und Maximums wird die Zuwachsfunktion (bei constantem Zeitintervall) für eine und dieselbe Pflanze eine continuirliche periodische Function sein, deren absolutes Maximum wie selbstredend im sogenannten Optimum liegt (s. Abschn. Wärme weiter unten § 40—42).

F. Wir haben von äußeren wechselnden Einflüssen im Vorstehenden fast ganz abgesehen, weil die Wachsthumscurve als Function der Zeit und als Function dieser Einflüsse stetem Wechsel äußerer Bedingungen unterliegt und deswegen kaum übersichtlich wird, und weil ein Moment bei allen diesen Betrachtungen nicht vernachlässigt werden kann, es ist die Phase, in welcher die Pflanze sich im Zeitpunkt der Betrachtung befindet.

Das stolzeste Object, welches in dieser Hinsicht die Discussion herausfordert, ist der Baum, der durch Jahrhunderte, ja mehrere Jahrtausende feste Masse in sich anhäufend, die Kette organischer Bildung selbst dann schließen würde, wenn er selbst nur alle Jahrhundert einmal einen Eisproß von sich abschnürte, wenn er nur in so außergewöhnlich großen Zeitintervallen zur Propagation schritte.

Die allgemeinen Erscheinungen unbegrenzten Wachsthumms bei den Bäumen lassen sich zusammenfassen in diesem Sinne: der Keimling wächst im Beginne langsam, sodann rascher. Die Zuwachscurve culminirt und sinkt

¹⁾ Bei einer streng mechanischen Behandlung der Sache müßten freilich minimale den Meßapparaten nicht zugängliche negative Zuwachswerthe, in der Contraction der Gewebe durch Temperaturniedrigung begründet, berücksichtigt werden.

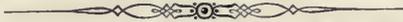
dann wieder in späteren Lebensaltern des erwachsenen Baumes. Der Zuwachs kann aber selbstredend niemals gleich Null werden, sondern wird sich im Allgemeinen asymptotisch der Null nähern. Wir haben uns in dieser Betrachtung einen Baumriesen gedacht, welcher wie so manche Eiche, Linde u. f. f. ihre 2—3 Jahrhunderte stetig Masse in sich anhäuften, wohl auch stetig ihre Ausgaben an fester Masse hat. Diese Ausgaben mögen, indem von dem Blattfall und Zweigverlust ganz abgesehen wird, in dem Athmungsaufwand bestehen und es möge in dem gedachten Falle jede Erkrankung, jeder grobe Eingriff (Bruch, Verwundung) ausgeschlossen sein. Die asymptotische Zuwachscurve ergibt sich dann, namentlich wenn Zeiträume von 1—2 Jahrtausenden wie für das Alter der californischen Wellingtonien in die Betrachtung hereingezogen werden, von selbst:

Der in den ersten Jahrzehnten erfolgende raschere Zuwachs ist die Folge davon, daß die aufnehmende Fläche des Baumes bei gegebener constanter Bodentiefe, Beleuchtung, Temperatur u. f. f. so wächst, daß ein günstigstes Verhältniß (Optimum) der aufnehmenden Flächen gegenüber den Medien erzielt wird. Dies möge im ersten Jahrhundert erreicht sein. Von nun ab erreicht die Krone ihr Optimum, d. h. sie nutzt Licht und Luft so, daß sie den höchsten Massenzuwachs für das ganze System in gleicher Zeit liefert. Selbst den günstigsten Fall gesetzt, diese Nutzung wäre für ungemessene Zeiträume constant (sie kann nämlich nur noch sinken), so wird doch ein Hinderniß eintreten: die für ein Jahr eingenommene und für alle Jahre constante Masse wird von der äußersten Zweig- bis zur äußersten Wurzelspitze über immer größere Flächen geleitet und vertheilt. Damit aber muß der sichtbare Zuwachs des Volumens sinken. Endlich aber wird die Gesamternährung von dem richtigen Verhältniß des Wurzelkörpers zum Kronenkörper, beziehungsweise der Blätterfläche abhängen. Dieses Verhältniß wird in der Optimumform erreicht sein, wird aber gestört, wenn die Krone weiter vorrückt, weil die Bodentiefe begrenzt ist. Der Wurzelkörper hat sein Wirkungsareal in der Richtung des Lothes bald erreicht, ausgenutzt und muß in der Ebene Hilfsquellen suchen, die nur in weiten Distanzen von der Stammaxe noch offen liegen. Die Schwierigkeit wird immer größer mit der Bahnlänge, über welche gleichmäßig wie früher die Masse zu vertheilen ist. Der sichtbare Volumzuwachs nähert sich asymptotisch der Null. Genau dasselbe Resultat ergibt die Voraussetzung, das Wirkungsareal des Wurzelkörpers im Boden sei in der Lothrichtung unbegrenzt (dies kommt in der Natur nicht vor). Selbst dann muß sich der sichtbare Volumzuwachs asymptotisch der Null nähern gerade wie der Thurmbau zu Babel.

§ 23. Allgemeine Musterung der Disgregation der Gewebe.¹⁾

Alle Entwicklung beginnt mit der Bildung kleiner Zellen und endet mit einer Auflockerung der Gewebe. Dieselbe kann erfolgen dadurch, daß alle Zellen des Gewebes von dem kleinsten nach dem größten Volum hinein eilen, f. z. B. im Mark und der Rinde unserer Waldbäume. Sie kann aber auch so entstehen, daß nur ein kleiner Theil der Zellen ein sehr großes Volum erreicht, während die übrigen eine beschränktere Ausdehnung erlangen, so in dem Gefäßbündel, wo die Gefäße bevorzugt sind. Alle secundäre Holzbildung endigt mit einer Auflockerung.

Im Anschluß an die vorhergehende Discussion muß hier beachtet werden, daß im Baume im Laufe der Jahrzehnte auch die Protene des Holzgewebes sich erweitern und immer größere Holzelemente bilden, die feste Masse der Cellulose wird daher auf immer größeres Volum vertheilt. In einer gegebenen Querschnitts-scheibe des Baumschaftes muß daher im unteren Theile des Schaftes die Disgregation größere Unterschiede zwischen innen und außen zeigen, wie in höheren Regionen deselben Baumes. Die sogenannte Kernbildung ist daher immer im Schaft eine andere und im Allgemeinen ist der Kern dichter wie in allen später entstandenen, noch so mächtigen Aesten.



Fünfte Abtheilung: Folgen des Flächenwachsthums.



Der Uebergang eines Cylinderstückchens aus dem Anfangs- in den Endzustand, Fig. 176, ist als Auslösung von Spannkraften aufzufassen, welche in dem Maß, wie jener Zustandswechsel fortschreitet, verbraucht werden. Es wird dadurch die feste Masse auf ein größtes Volum gebracht. Die Ge-

¹⁾ GREGOR KRAUS, Ueber Alter- und Wachstumsverhältnisse ostgrönländischer Holzgewächse 513. — Einige Bemerkungen über die Erscheinung der Sommer-Dürre unserer Baum- und Strauchblätter 401. 417. — Bot. Ztg. 73. — K. SANIO, Ueber die Größe der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 401. — N. J. C. MÜLLER, Bot. Unters. Bd. I. 3. und 4. Abhandlung.

webe lockern sich auf, während sie sich im anatomischen Sinne differenziren. Die wesentlichen secundären Erscheinungen hierbei sind:

1^o es wird während der Streckung durch ungleich rasche Ausdehnung Spannung in den Geweben erregt (§ 24).

2^o es entstehen Intercellularräume, welche im Allgemeinen Luft, im besondern Falle Ausscheidungsprodukte (Secrete) führen (§ 25).

§ 24. Gewebespannung¹⁾.

A. Umgrenzung des Gegenstandes.

Die nebeneinander liegenden Gewebe, Mark, Holz, Rinde, Epidermis wachsen und quellen ungleich stark, besitzen daher in den verschiedenen Phasen der Curve, Fig. 176, in Wirklichkeit ungleiche Länge und ungleiche osmotische Spannung.

I. Experiment. •

Man zerfchneidet einen wachsenden Sproß in der Weise, daß eine die Axe aufnehmende Lamelle hergestellt wird, welche das Mark, den Holzkörper und die Rinde enthält. Werden diese Gewebe-Streifen weiter durch einen Messerschnitt von einander getrennt, so tritt instantan eine Verlängerung des Markes und des faferfreien Rindentheiles, eine Verkürzung des Holzes und der Epidermis ein.

Da diese Gewebe im unverletzten Zustande der Pflanze gleiche Länge befaßen, so müssen sie in diesem Zustande gespannt sein und zwar sind comprimirt oder positiv gespannt Mark und das Parenchym der Rinde, negativ gespannt oder expandirt die primären Holzbündel und die Epidermis.

Die Streifen halten sich gegenseitig das Gleichgewicht, so daß für den Cylinder als Grundform der hier in Betracht zu ziehenden Organe die entgegengesetzten Spannungen in einem gegebenen kleinen Volumelement aufgehoben werden, durch die Spannung in einem gleichgroßen, auf der gegenüberliegenden Seite der Cylinderwand belegenen Streifen.

¹⁾ W. HOFMEISTER, Ueber die Beugungen saftreicher Pflanzentheile nach Erschütterung. PRINGSH. Jahrb. S. 237, Bd. II. 1860. — H. WELKER, Notiz über das Auspritzen des Saftes beim Zerreißen saftiger Pflanzentheile. S. 468. 1860. PRINGSH. Jahrb. II. — DR. GREGOR KRAUS, Die Gewebespannung des Stammes und ihre Folgen. Bot. Ztg. 1867. — A. MILLARDET, *Licencié-ès-sciences nat. Nouv. Rech. sur la périodicité de la tension*. Strasbourg. E. G. Silbermann 1869. — NÄGELI, die Stärke, Zürich, Fr. Schultheß 1858. — N. J. C. MÜLLER, bot. Unters. I. 2. Abhandl.

II. Experiment.

Schneidet man aus jener axilen Lamelle combinirte Streifen aus Mark, Holz *MH* — Holz, Rindenparenchym *HR* — Rindenparenchym, Epidermis *RE* —, so sind von der idealen geometrischen Axe *A* die Streifen so vertheilt:

$$\begin{array}{cccccccc} E R & R H & H M & - A - & M H & H R & R E \\ - + & + - & - + & & + - & - + & + - \end{array}$$

und ihre instantan eintretende Krümmung in Folge der Aufhebung der Cohäsion durch den Schnitt ist diese: *ER* ist convex nach *A*, *RH* ist concav nach *A*, *HM* ist convex nach *A*, für die linke Seite und ebenso entsprechend der Vertheilung des positiven oder negativen Vorzeichens für die Streifen rechts von *A*.

Daß solche Spannkkräfte unabhängig von der Wölbung, unabhängig bis zu gewissem Grade der Zerkleinerung von der Continuität der Masse in der Membran bestehen müssen, beweist das Ellipsoïd der Quellung, beweist die verschiedene Quellunggröße in verschiedenen Medien. Wasser, Alkohol, Harz, Canadabalsam, Glycerin ziehen bei der Imbibition die festen Substanzkerne der Membran in verschiedene Distanzen zusammen, Distanzen, welche eben von der specifischen Anziehungskraft der Substanzkerne zu den genannten Flüssigkeiten abhängen.

An einer und derselben Pflanze selbst kommen in verschiedenen Phasen beide Krümmungen vor. Im Allgemeinen ist die Intine der Epidermis z. B. zuerst der convexe Theil, weil sie die ältere ist, später aber überwiegt die Exine, weil sie die mächtigere geworden ist. So kann es kommen, daß eine Membranplatte ihre Spannung bald in dem einen, bald in dem andern Sinne polarisirt zeigt (Fig. 190).

Im jüngeren Zustande ist die Epidermis der Aloëarten so gespannt, daß *J* positiv, *E* negativ. Im älteren Zustand ist *E* positiv, *J* negativ (Fig. 190).

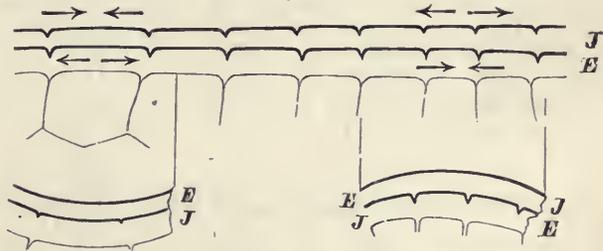


FIG. 190. Spannung in der Epidermis der Aloë: nach Beobachtungen, welche an einer jugendlichen Oberhaut gemacht wurden, sind die Spannungen so vertheilt, wie die links verzeichneten Pfeile angeben. Die Intine ist positiv, die Exine negativ gespannt. Im ausgewachsenen Blatt liegt die Sache umgekehrt.

III. Experiment.

Legt man die isolirten Streifen *M*, *H*, *R*, *E* in Wasser, so verlängern sich die positiven außerordentlich stark, die negativen aber sehr wenig (Fig. 191).

Legt man die combinirten *MH*, *HR*, *RE* in Wasser, so wird die Krümmung außerordentlich verstärkt.

Hieraus darf man schon schließen, daß die Spannung an der lebenden Pflanze steten Schwankungen unterliegt. Wächst die Verdunstung, so sinkt der Wassergehalt, damit aber die Gesamtgröße der Spannung, sinkt die Verdunstung, so wächst der Wassergehalt und damit die Spannung.

B. Vergleichung der Spannungscurve mit der Curve des partialen Zuwachses.

Die hintereinander belegenen Cylinderstücke im Wachstum begriffener Sprosse besitzen außer der vorstehend abgehandelten Spannung noch eine verschiedene Quellungsfähigkeit in den positiv gespannten Geweben, welche in dem Maße, wie dieselben wachsen, verloren geht.

Das größte Maß der Volumzunahme durch nachträgliche Quellung kommt dem jüngsten Abschnitte, das kleinste Maß dem soeben ausgewachsenen Abschnitte zu.

IV. Experiment.

Eine Helianthuspflanze wird in 15 gleich lange Glieder zerschnitten und aus jedem ein centraler Markstreif genommen, gemessen und in Wasser gelegt. Die Streifen quellen und dehnen sich in Richtung der Axe beträchtlich aus. In der beifolgenden Tafel bezeichnet die Nummer I das älteste, die Nummer XV das jüngste Gliederstück; in den folgenden Columnen sind die Längen zu verschiedenen Zeiten eingetragen. Man sieht, daß das Quellen von unten nach oben zunimmt und daß, wenn die Pflanze auf das Volum der ausgequollenen Markstreifen heranwüchse, ihre Länge von 750 auf 1094 mm zunehmen würde.

Nummer des Streifens.	Anfangslänge.	Nach 3 Stunden.	Nach 14 Stunden.	Nach 21 Stunden.
I	50	59	62	62
II	50	57,5	64,5	65
III	50	58,5	68	69
IV	50	59,5	60,5	67,5
V	52	61,2	66	67
VI	51,5	58,2	71	71
VII	53	59	68	70
VIII	53	58,5	68	71
IX	53	61	70	71
X	54	60	67,5	77,5
XI	52	60	71,5	75,5
XII	51	60	72	74
XIII	50	65	79	83
XIV	50	65	79,5	83,5
XV	50	66	80	87

1094,0 (Anfangslänge 750).

Die Quellungsgröße eines gegebenen unter diesen 15 Cylinderabschnitten ist nicht für alle Zeitpunkte gleich, sondern zuerst größer, sodann kleiner.

Bemist man die Größe der Gewebeaufspannung in dem Unterschied der Länge vor und nach der Section, oder in dem Unterschied des kürzesten und längsten Gewebestreifs nach der Section und stellt dieses Maß als Function der Entfernung von der Spitze dar, Fig. 192, so erhält man eine Curve, welche die größte Aehnlichkeit mit der partiären Zuwachscurve hat; vergl. Fig. 188.

Es ergibt sich hieraus:

Die aus dem Längenunterschied ifolirter Streifen ersichtliche Gewebeaufspannung in der Längsrichtung ist eine periodische Function der Entfernung von der Spitze, gerade wie der partiäre Zuwachs und von diesem abhängig, sie erlischt oder wird sehr klein, wenn der Zuwachs Null wird. So rückt denn der Ort des Spannungsmaximums stetig mit der Spitze fort und bleibt stets in bestimmter Entfernung von dieser, nach den Auseinanderfetzungen über das Vorrücken des Ortes, wo der partiäre Zuwachs sein Maximum hat (f. oben S. 180).

Endlich aber ergibt die Vergleichung der Curven Fig. 192 mit den Messungen der durch Wasserzufuhr ausgelösten Spannkkräfte Fig. 191 (und der Tabelle S. 188), daß in der Spitze das absolute Maximum der Quellung liegt, ganz entsprechend dem unbegrenzten Wachstum an demselben Orte.

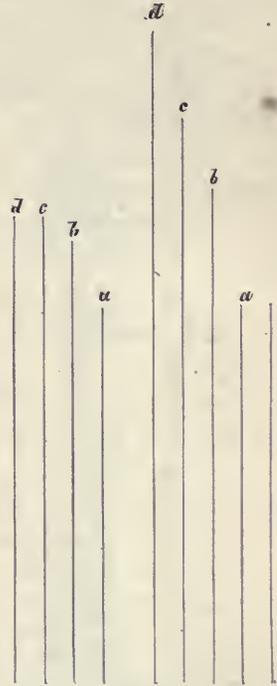


FIG. 191. Aus zwei gleich langen Cylinderabschnitten wachsender Sonnenrosenfähne wurde das Mark herausgeschnitten, in Wasser gelegt und nach 3 Stunden *b*, nach 14 Stunden *c*, nach 21 Stunden *d* gemessen.

C. Drucke, welche der Expansion das Gleichgewicht halten.

Die Cohäsion der positiven und negativen Gewebestreifen hält der Spannung in denselben das Gleichgewicht.

An ihrer Stelle kann durch einen Druck auf die positiven und einen Zug auf den negativen Streifen daselbe bewirkt, nämlich das Volum des unverletzten Cylinderstückes erhalten werden. Die Größe dieser Druck- und Zugkräfte kann experimentell bestimmt werden.

I. Methode.

Die Druckkräfte, welche nöthig sind, um die Expansion durch Wasseraufnahme eines Markprisma zu verhindern, können mit dem Apparat Fig. 193 annähernd gemessen werden.

Aus einem Stengelstück der Helianthuspflanze von 250 mm Länge, welches möglichst genau in das Cylinderglas *B* paßt, wird durch vier Tangentialschnitte ein Markprisma isolirt, dessen Querschnitt = 64 Quadratmillimeter ist. Nach der Section ist das Prisma gleich lang mit den Rindeholzstreifen. Die vier Tangentialschnitte umgeben im Cylinderglas das Markprisma so, daß dieses bei einem senkrecht wirkenden Druck nicht seitlich ausweichen kann. Auf den oberen Querschnitt drückt nun der Fuß *C* des Tischchens, auf welches so viele Gewichte gelegt werden, daß das Markprisma sich nicht mehr ausdehnt. Das Quellen desselben tritt ein,

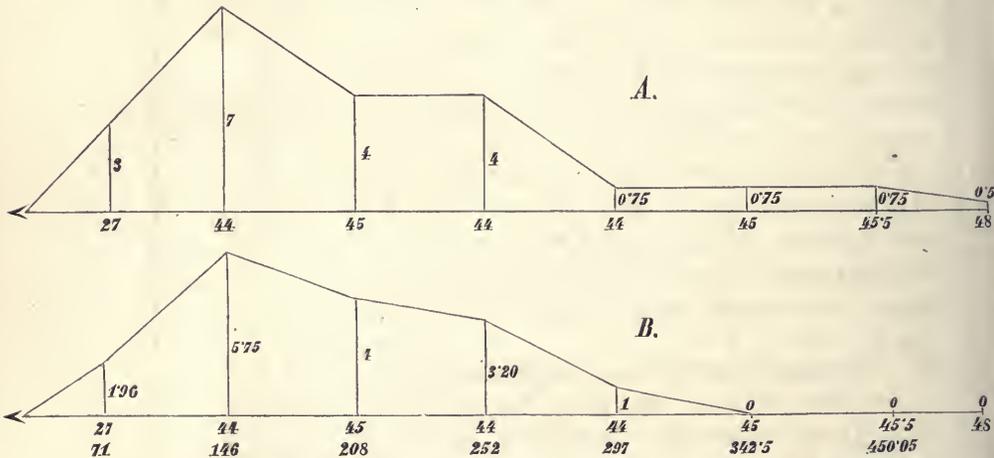


FIG. 192. *A* stellt den Unterschied in der Länge isolirter Streifen von Mark und Rinde als Function der Entfernung von der Spitze dar bei der Sonnenrose. *B* ebenso zwischen dem isolirten Markstreifen und dem intacten Stammabschnitte.

wenn Wasser in das Becherglas *B* gegeben wird. Ich legte, nachdem das Markprisma eben aus dem Niveau des oberen Stengelquerschnittes hervortrat, nach und nach $27\frac{1}{2}$ Pfund auf das Tischchen, um die weitere Quellung zu vermeiden. Ein Druck, welcher dem von $13\frac{1}{2}$ Atmosphären auf die Flächeneinheit entspricht.

II. Methode.

BÖHM operirte so: das trockne grobe Pulver der Erbsen wird in einen Metallbehälter von Gestalt einer Kanone gegeben und das obere Niveau desselben mit Gewichten belastet. Die Kanone ist an ihrer Längswand mit so feinen Poren versehen, daß das Wasser ein-, das Gemenge von Erbsen-

pulver und Wasser aber nicht austreten kann. BÖHM beobachtete einen Druck von 18 Atmosphären.

III. Methode.

In HOFMEISTER'S Vorlesungsversuch wird der negative Holzstreifen oder der negative combinirte Rindeholzstreif an beiden Enden in korkgefütterten Klammern befestigt. Das eine Ende wird an einer verticalen Scale befestigt, das andere mit einer Waagschale und den nöthigen Gewichten belastet, bis der Streif die Länge des nicht zerlegten Cylinderstückes erreicht hat¹⁾.

Die geringste Verkürzung nach der Section betrug 0,8 mm auf 127 mm bei einem Querschnitte von 0,9 qmm, und um die ursprüngliche Länge durch Zug zu erhalten, wurden 11,7 grm Belastung erfordert, so im jüngeren Internodium von Ricinus.

In einem älteren um 4 Interfolien tiefer belegen würde die Contraction von 3,5 mm auf 180 mm durch eine Belastung von 50 grm ausgeglichen bei einem Querschnitte von 1,1 qmm.

D. Die Gewebespannung, eine Folge der osmotischen Spannung des Wachsens und der Quellung.

Die Orte, wo der Zuwachs erfolgt und die von ihm abhängigen Spannungsphänomene vorkommen, sind in gewissem Sinne die Ausflußstellen eines Stromes oder eines Systemes von Strömen, welche sich nach dem Orte des geringsten Widerstandes ergießen. Zu complicirteren Bewegungsvorgängen kommt es nun bei der Pflanze dadurch, daß äußere Perioden in der Temperatur und Bestrahlung das Wachsen zunächst beeinflussen und den Wassergehalt der Gewebe langsamer oder schneller verändern (s. weiter unten § 35. F. G. H.). Wird aber zunächst von diesen abgesehen, so liegen in dem Wachsenden selbst offenbar Urfachen der Veränderung.

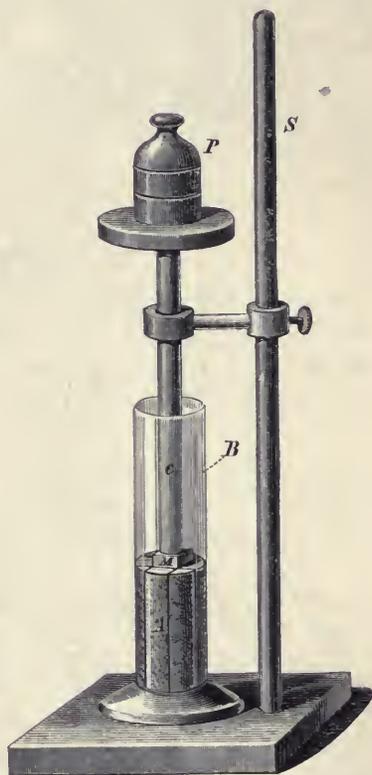


FIG. 193.

¹⁾ Versuchsmaterial: wachsende Hollunder, Helianthuszweige, Alliumblätter, Weinsprosse u. a. m.

1° wird der Vorrath osmotisch wirksamer Körper verbraucht, dadurch, daß ein Theil der gelösten Körper fest, der Rest auf ein größeres Wasservolum vertheilt wird;

2° die Quellungsfähigkeit sinkt in dem Maß, wie die Massen in den festen Membranen und deren Dichte wachsen.

Trotz einem steten Zufluß aus entfernteren Gegenden wird doch die Bewegungsursache der Wachstumsercheinungen kleiner. Die Intensität wächst umgekehrt, proportional dem erreichten Vorrath der angehäuften festen Masse.

Fassen wir nun alle Ursachen der Volumänderung zusammen für eine Zelle *a*, welche beispielsweise im Parenchym liegt und so lange sie in der

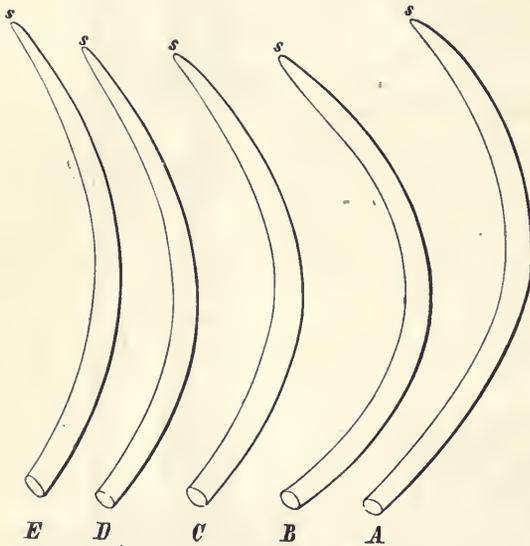


FIG. 194.

Pflanze sich befindet, positiv gespannt ist, gegenüber einer gleichgroßen Zelle *b*, welche im Holzkörper liegen mag, mit negativer Spannung, so beruht ihr Volum, beziehungsweise ihr Längenunterschied, zuerst auf ungleichem Wachstum, *a* ist gleichlang wie *b* und das System ist in Spannung, dieß ist die erste Phase. In der zweiten Phase sind beide ausgewachsen, so lange sie in Verbindung sind herrscht Spannung, welche wachsen oder sinken

kann, indem *a* Wasser auf dem Wege der Osmose aufnimmt oder abgibt.

Die dritte Phase ist dadurch gekennzeichnet, daß *a* und *b* ausgewachsen, daß *a* wie *b* osmotisch nicht mehr wirksam sind. Die Gewebespannung ist verschwunden bis auf geringe Längenunterschiede, welche durch ungleiche Quellung der Membrane von *a* und *b* erzeugt werden.

Versuch I.

Um zu zeigen, daß die Spannkraft in einem geraden oder gekrümmten Organ, Stengel oder Blatt im erwachsenen Zustande nicht gleichmäßig vertheilt ist, kann man das in Fig. 194 veranschaulichte Experiment an einem Blatt von *Allium altaicum* ausführen. In *A* ist das ganze Blatt ver-

zeichnet, in *B* ist die Epidermis abgezogen, die Krümmung ist gewachsen. In *C* ist die grüne Parenchymspan style="font-size: 0.8em;">schicht abgspan style="font-size: 0.8em;">eschnitten, in *D* ist der Rest der Gewebe, das weiße Mark, kürzere, in *E* ist derselbe längere Zeit in Wasser gelegt.

Verfuch II (nach HOFMEISTER).

Schneidet man eine Stammzelle der Charen an, so, daß der unter hydrostatischem Druck stehende Zellspan style="font-size: 0.8em;">saft ausfließt, so geht ein Theil der Festigkeit gerade so verloren, wie wenn eine sonst schlaffe Blase, welche, prall mit Wasser gefüllt, eine erhebliche Festigkeit besitzt, angeschnitten wird. Ist die Charenzelle durchschnitten und die Flüssigkeit ausgetreten, so besitzt sie immer noch soviel Festigkeit, daß sie unter ihrer eigenen Last sich nicht beugt. Beim Knirschen oder Zerreiben geht aber auch dieser Theil verloren, sie erschlafft vollständig.

E. Turgor und Festigkeit.

Die isolirten Streifen der positiv und negativ gespannten Gewebe können schlaffer sein wie das gespannte, aber intacte Cylinderstück des Stammes, aus welchem sie stammen. Die Festigkeit des intacten Systemes und des combinirten Streifens ist meistens größer, wenn schon nicht für alle, auf das System wirkende Kräfte.

Die Biegungs- oder Zugfestigkeit ist unter allen Umständen in dem unverletzten System größer, wie in jedem isolirten Streifen, weil daselbe eben festere und weniger feste Streifen gleichmäßig um die Peripherie des Organes vertheilt enthält.

Abspan style="font-size: 0.8em;">solut kleinste Zugfestigkeit besitzen die expansiven Gewebe, Mark, Parenchym der Rinde.

Abspan style="font-size: 0.8em;">solut größte Zugfestigkeit besitzen die Epidermis und die Fasergewebe des Holzes und Bastes.

1° Das Maß dieser Festigkeit¹⁾ muß veränderlich sein im Laufe der Entwicklung.

2° Im Allgemeinen nimmt mit dem Alter die Festigkeit zu. Im Holz- und Rindenkörper kommen ungeheure Zugkräfte zum Ausdruck, innerhalb des Zeitraumes von Jahrhunderten, welche ein Baum ausdauert.

Im Anlagezustande sind gleichwohl alle Membranen im isolirten Zustande schlaff, so namentlich im Cambium. Die Turgescenz oder Spannungsfestigkeit wird in solchen schlaffen Membranen hergestellt durch den Druck der Zellspan style="font-size: 0.8em;">flüssigkeit auf die Wand.

¹⁾ Es ist das Product aus dem Gewicht in die Verlängerung in dem Zeitpunkt, wo bei steigender Belastung foeben das Zerreißen eintritt, bei einem Stabe (Gewebestreifen) von gegebenem Querschnitt und gegebener Länge.

Eine nasse leere Blase (Darm) wird fest durch den hydrostatischen Druck, welchen eine osmotisch wirksame Flüssigkeit, mit welcher die Blase gefüllt ist, oder ein gepreßtes Gas ausübt.

Bei den Pflanzen aber kommt noch in Betracht, daß auch die nicht in diesem Sinne gespannte Membran ihre Zugfestigkeit ändert, je nach dem Wassergehalt. Sie erstarrt durch Einlagerung fester Theile und des Wassers; sie erschlafft durch Wasserverlust und dadurch, daß wir sie zerknirschen, d. h. einen so hohen Druck im Achatmörser etwa anwenden, daß die kleinsten Theile eine außerordentliche Lagenänderung, bezogen auf die flüssigen Theile, erfahren. Lufttrockenes Stärkemehl im Achatmörser zerknirscht, wird zu einer teigigen Masse.

F. Periode der Spannungsintensität.

Aus den früheren Abhandlungen erhellt, daß die höhere Pflanze ein Gefäß mit elastischer Wand darstellt, in welchem die Gewebespannung sich periodisch verändern muß:

- 1^o mit dem täglichen Temperaturwechsel,
- 2^o mit dem Lichtwechsel von Tag und Nacht,
- 3^o in Folge der Schwankung der Verdunstung.

Bei unseren Bäumen steht die Rinde unter stetem Druck durch den Zuwachs und die Quellung des massiven Holzcyinders. Rindenrisse erweitern sich in der Querrichtung und nicht in der Längsrichtung. Die klaffende Wunde eines Rindenlängsschnittes erweitert sich Nachts mehr, wie am Tage. Innerhalb so kleiner Zeitgrenzen wurde hier eine Periode beobachtet, daß der Zuwachs während dieser Zeit nicht als Ursache angesehen werden darf.

Der Wurzeldruck oder vielmehr die HALE'Schen Quecksilberdrucke können durchaus nicht als Maß der Spannung angesehen werden. Wohl aber wird man, wie dieß auch schon mehrfach geschehen ist, die Bewegungsercheinungen mancher Pflanzen benutzen können, um einen Einblick in die Größe der Spannkräfte zu gewinnen. Der Mimosenblatttiel ist ein sehr langer Hebel, an dessen einem Ende eine, bezogen auf die Masse der beiden Polster, sehr große Masse befestigt ist. Durch den Antagonismus der zwei Polster wird der Blatttiel gehoben oder gesenkt. Die Möglichkeit der Reizbarkeit beruht bekanntlich darauf, daß das untere Polster plötzlich an Spannkraft verliert, dieses untere Polster ist aber das stärkere, denn es hebt die Last an dem langen Hebel und comprimirt noch dazu das obere Polster.

1) KRAUS, die Gewebespannung. Bot. Ztg. a. a. O.

Wenn nun der Druck einer Wasserfäule, die auf dem Querschnitte ruht, allmählig gesteigert wird, so wird das untere Polster immer expansiver und der Blattstiel wird gehoben. Es ist nun aber die Reizbarkeit verschwunden. Das Blatt bleibt so lange stabil, als der größere Druck wirkt. Dieser Druck ist keineswegs sehr groß und kommt bei Weitem dem HALE'Schen Drucke nicht gleich.

Der Druck in einem System von Zellen hängt also nicht allein ab von dem Wurzeldruck, sondern

1^o von der Verdunstung,

2^o von der zuströmenden Wassermenge,

3^o von der osmotischen Differenz,

4^o von der Anziehung der festen Membrantheile zum Wasser und

5^o in dem Phänomen, welches bei der Mimosa in Betracht gezogen wurde, von dem Verlauf der wasserleitenden Bahnen (f. § 36).

Nach den Untersuchungen MILLARDET's zeigen sowohl die Stämme wie auch die Blattstiele der Mimosa eine Periodicität in der Spannung. Ein Maximum liegt zwischen Mitternacht und 6 Uhr des Morgens, ein Minimum zwischen dem letzten Zeitpunkt und Mittag. Zu Mittag wird ein zweites Maximum erreicht und ein absolutes Minimum um 6 Uhr Abends.

§ 25. Intercellularräume ¹⁾.

Während die Organe der höheren Pflanze sich strecken, lockern sie sich in der Weise auf, daß polyedrische, luftführende Räume entstehen, welche zwischen den Zellen belegen sind. Intercellularräume solcher Art fehlen den Mycelien der Pilze, dem vegetativen Gewebe vieler Algen. Sie fehlen dem Moosblatte, treten zuerst mit dem Lager der Marchantien und dem Prothallium der Farne auf, und sind stete Begleiter der parenchymatösen Gewebe aller höheren Pflanzen. Sie fehlen oder treten zurück in dem Holzkörper der Nadel- und Laubbäume, mit Ausnahme der harzführenden Canäle der Pinus- und Piceaarten. Sie fehlen der Epidermis an der großen Mehrzahl der Berührungsflächen der Zellen, dem Kork und Periderma der Rinde.

¹⁾ Luftführende Intercellularen fehlen bei den Blättern der Laubmoose (bei Sphagnum [wichtiges Studienobject] sind luftführende Zellen vorhanden), sie kommen vor bei den Marchantien und allen höheren Cryptogamen.

A. Specificsches Gewicht der Gewebe¹⁾.

Ein allseitig geschlossenes, mit Wasser gefülltes Zellgewebe ist specifisch schwerer wie Wasser¹⁾. Die Zellenflüssigkeit lebender Wasserbewohner ist wohl meist ebenfalls etwas dichter wie Wasser, wenn nicht dort eine große Ansammlung von Oel oder Fett stattfindet. Das Fluthen und Schwimmen

1) Die Wurzel wachse erst in einer Wasserschicht unter beliebiger Richtung zur Schwere und dringe dann in eine Schicht, welche dichter ist wie sie selbst und dichter wie das Wasser, z. B. Quecksilber. Der Auftrieb, der sich geltend macht, ist eine beschleunigende Kraft und die Intensität hängt ab von dem specifischen Gewicht der Wurzel und der Flüssigkeit.

Die Kraft, welche den Körper im Wasser auftreibt, ist

$v (d - d')$, wo d das specifische Gewicht des Wassers

» d' » » » des untergetauchten Körpers, v dessen

Volum bedeutet. Ist der Körper ein untergetauchter homogener Stab, so ist die Bewegung deselben im Wasser leicht zu behandeln. Die Wurzel, welche in das Wasser wächst, ist aber kein homogener Stab, sondern ihr specifisches Gewicht nimmt von der Spitze ab gerechnet in jedem Querschnitt verschiedene Werthe an, daher kommt es denn, daß der Auftrieb nach einer bestimmten Function, welche von der Entfernung von der Spitze abhängig ist, wächst. Diese Function ist also eine Function von λ . λ selbst aber ist, wie wir früher gezeigt, eine Function der Zeit, weil die Wurzel stetig in das Wasser wachsen soll. Vergleichen wir zuerst, wie sich ein homogener cylindrischer Stab, der lothrecht im Wasser steht, gegenüber der Wurzel verhalten würde, die wir ebenfalls als einen cylindrischen Stab betrachten können, die Dichte des Stabes in allen Cylinder-elementen ist gleich d' , die Dichte der Wurzel ist aber in den verschiedenen Cylinder-elementen verschieden, und zwar nimmt sie von der Spitze ab gerechnet ab. Sie habe aber in einem bestimmten Cylinder-element die Dichte d' , die Dichte des Wassers sei d .

Die Dichte der Wurzel ist also

$$d'' = f(\lambda) \quad \lambda = f(t).$$

Daraus geht nun hervor, daß je näher das Cylinder-element der Wurzel an dem Spiegel des Wassers liegt, desto größer wird der Auftrieb.

Bei dem homogenen Cylinder sei $d' < d$, der Cylinder würde auf dem Wasser schwimmen; fuchen wir nun die Zeiten, wann die einzelnen Cylinder-abschnitte am Wasserspiegel ankämen, wenn wir uns vorstellen, der Cylinder sei mit einem Schlege in seine Elemente zerlegt und diese seien seitlich parallel mit sich selbst so verschoben, daß sie geradlinig, ohne sich gegenseitig zu stören, aufsteigen können.

$v (d - d')$ ist die beschleunigende Kraft der Schwere in diesem Falle.

Es ist klar, daß die Zeiten, welche die einzelnen Theilchen brauchen, umgekehrt proportional den Entfernungen vom Spiegel, oder die Räume sind dem Quadrat der Zeiten proportional:

$$s = \frac{g}{2} t^2; \quad t = \sqrt{\frac{2s}{g}}.$$

Anders ist es, wenn wir die Wurzel in gleichlange, gleichvolumige Elemente zerlegt denken; da man nämlich wegen des Verhältnisses der luftführenden Räume der Wurzel zu den flüssigkeitsführenden alle Werthe zwischen d (der Dichte des Wassers) und einer bestimmten Größe, größer als d , und einer anderen, kleiner als d , annehmen kann, so

von Fadenalgen im süßen Wasser ist daher nicht ohne Weiteres verständlich. Es wird ermöglicht durch kleine Luftbläschen, welche in den Raffen solcher Pflanzen ausgeschieden werden.

folgt, daß von der Spitze ab ein Theil der Cylinder-elemente sinken würde bei der vorgedachten Zerlegung, ein Theil würde schweben, hier wäre das spezifische Gewicht des entsprechenden Elementes $d' = d$ und dann kämen erst die Theile, welche aufsteigen, und zwar würde die beschleunigende Kraft, mit welcher diese letzteren aufgetrieben werden, wachsen, da d' bis zu bestimmter Grenze kleiner wird wie d .

Man wird bei einer experimentalen Bestimmung der Orte, wo $d' >$ oder $< d$ als die Dichte des Wassers, am besten so verfahren, daß man eine unverletzte Wurzel in bestimmter Entfernung von der Spitze abschneidet und in's Wasser wirft. Man hat dann nur nöthig dieses Cylinderstückchen nach und nach zu verkürzen und immer wieder zuzusehen, ob die so erhaltenen Reste schwimmen, schweben oder sinken. Ganz vorwurfsfrei ist das Experiment freilich nicht, da sich die Lufträume zum Theil mit Wasser füllen. Indeß ist es die einzige Methode und der mit ihr verbundene Fehler kann das Gewicht, um das es sich handelt, nur größer machen.

Verfuch I mit einem Wurzelabschnitt, der von der Spitze ab 54 mm maß:

das ganze Stück	0 + 54 mm	schwimmt;	der 2te Abschnitt	54 — 40 mm	schwimmt;	
das »	0 + 40 »	»	» 3 »	»	40 — 30 »	»
»	0 + 30 »	»	» 4 »	»	20 — 10 »	»
»	0 + 20 »	finkt;	» 5 »	»	10 — 5 »	schwebt;
»	0 + 10 »	»	» 6 »	»	0 + 5 »	finkt.
»	0 + 5 »	»				

Verfuch II mit der Erbſenwurzel (Fig. 195).

Das ganze Stück schwimmt,

»	»	»	minus a	schwimmt; a	schwimmt;
»	»	»	» $a + b$	finkt; b	»
»	»	»	» $a + b + c$	finkt; c	»
»	»	»	» $a + b + c + d$	finkt; d	schwebt.

Das Stückchen, welches für sich allein finkt, käme, wenn die wirkende Kraft, welche die Wurzel in's Wasser treibt, die Schwere ist, also allein in Betracht.

Denkt man sich nun die Wurzel nicht gerade in's Wasser wachsend, sondern unter einem beliebigen Einfallswinkel, so würde schon das wenige Millimeter lange Stückchen nicht mehr für sich gedacht sinken. Es ist aber nach Messungen sehr wahrscheinlich das Stück, welches die Krümmung abwärts ausführt, d. h. wenn die Wurzeln, die sich abwärts beugen, in's Wasser wachsen, so wächst das Stückchen an seiner oberen Seite stärker als an der unteren, und das spezifisch schwerere Stückchen nimmt nur geringen Antheil an der Krümmung, Fig. 196.

Damit ist denn nachgewiesen, daß das Gewicht von e es nicht sein kann, welches die Krümmung von d herbeiführt.

Betrachten wir noch den Fall, daß die Wurzel erst ein weniger dichteres Medium, dann aber ein dichteres Medium, Quecksilber, Fig. 196, antrifft, in welches sie hineinwächst.

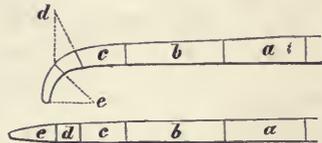


FIG. 195.

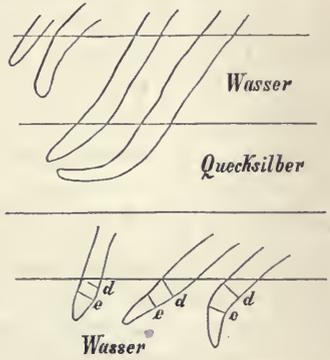


FIG. 196.

Junge Zweigtheile der Landbewohner, sowie der am Grunde der Gewässer wurzelnden Wasserpflanzen sind ebenso schwerer wie Wasser, bis sie in Folge der mit der Streckung erfolgenden Auflockerung einen Auftrieb erfahren.

B. Entstehung der Intercellularräume.

Die Membranen trennen sich in dem gemeinschaftlichen Schnittpunkt oder richtiger in einer Kante, welche drei, vier, fünf u. f. f. Zellen gemeinsam zukommt, Fig. 197, 198, und in selteneren Fällen in einer derjenigen Flächen, welche zwei Zellen gemeinsam ist. In der Fig. 198, welche einen Theil der Fig. 197 vergrößert und schematisch darstellt, waren die Stücke

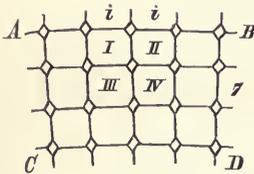


FIG. 197. Kleine Parthie aus dem Querschnitt der Wurzel von Sorghum, eben entstehende Intercellularräume.

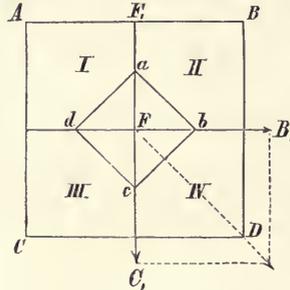


FIG. 198. Schema der Enttöpfung eines Intercellularräumcs zwischen den 4 Zellen I, II, III, IV.

a F den Zellen I II, d F den Zellen I III gemeinsam u. f. f. Nach der Trennung in zwei Lamellen wird das Stück a F d zu a d, a F b zu a b u. f. f. und der Raum a b c d ist neu hinzugekommen.

Der scheinbare Widerspruch, welcher sich im geometrischen Sinne ergibt, wird gehoben, indem man zu beachten hat, daß das System aus einem kleineren Volum nach einem größeren übergeht. Hierbei müssen in der That die resp. Flächenstücke $F' a$ stärker wachsen, wie die zu $a F$ analogen¹⁾.

Der scheinbare Widerspruch, welcher sich im geometrischen Sinne ergibt, wird gehoben, indem man zu beachten hat, daß das System aus einem kleineren Volum nach einem größeren übergeht. Hierbei müssen in der That die resp. Flächenstücke $F' a$ stärker wachsen, wie die zu $a F$ analogen¹⁾.

¹⁾ Der geometrische Widerspruch ist nämlich dieser: Das System Fig. 198 soll sich bei der Bildung des Intercellularräumcs so verändern, daß das Wandstück $a F b$ zu $a b$, $b F c$ zu $b c$ wird u. f. f. Hier müßte, wenn das ganze System unveränderlich wäre, eine Contraction der Wandstücke eintreten.

Wir müssen uns, da der Auftrieb jetzt $v (d - d') = 13$ mal so groß (oder selbst 32 mal so groß) wie im ersten Medium war, denselben für das Stückchen in diesem Sinne vorstellen:

Wächst die Wurzel genau senkrecht, so ist an und für sich kein Grund zu der Beugung vorhanden, denn dann kann höchstens in Frage kommen der Druck einer Flüssigkeitssäule auf die Spitze der Wurzel und ob das Wachsthum bei diesem Druck noch fortgesetzt werde? Wächst die Wurzel aber schieb im Quecksilber, so erleidet sie durch den Auftrieb eine Beugung an einem Punkt, der viel weiter zurückliegt wie die Zuwachsstelle und wenn sie weiter in's Metall wächst, so kann der Drehungspunkt mit dem Befestigungspunkt zusammenfallen.

Diese Krümmungen haben aber offenbar gar nichts mit der Krümmung zu thun, die wir beobachteten, wenn die Wurzel in der Atmosphäre sich abwärts beugt. Je dichter also das Medium, je größer der Auftrieb, desto leichter wird die Wurzel von ihrem anfänglichen Verlauf abgelenkt, ohne daß die Ablenkungs-, resp. Krümmungsstelle mit der Krümmungsstelle in der Atmosphäre zusammenfällt.

Die Gestalt des Querschnittes der Intercellularräume muß, nach der Entwicklungsgeschichte für jugendliche Zustände, zunächst streng abhängig sein von der Anzahl der Zellen, welche in der gemeinsamen Kante *F* sich berührten. Sie ist gleich einem dreiseitigen Prisma, wenn drei Zellen, gleich einem vierseitigen, wenn vier Zellen sich berührten u. f. f., und endlich ein Cylinder-linsenförmiger, wenn die Trennung in einer gemeinsamen Membranplatte erfolgte. Fig. 200, 201.

C. Bedeutung der intercellularen Räume.

Außer den Verhältnissen unter S. 196 kommen hier in Betracht:

- 1^o der Gasverkehr der Atmosphäre in luftführenden Räumen der Blätter, Stämme, Wurzeln,
- 2^o die Abcheidung, Secretion der Harze, Gummiharze, Essenzen und Schleime.

1. Bei den Wasserpflanzen ¹⁾

würde der Verkehr mit den atmosphärischen Gasen außerordentlich erschwert sein, wenn nicht durch die sehr großen luftführenden Intercellularen eine Massenbewegung der Gase ermöglicht wäre. Die Auflockerung ist gerade hier eine außerordentliche.

Die ausgewachsenen Blätter und Zweige submerfer Wasserbewohner besitzen ein sehr kleines spezifisches Gewicht, dementsprechend einen großen Auftrieb. Die Entstehung dieser Lufträume bewirkt somit eine Lagen- und Richtungsänderung, welche nach der Lothrichtung hinstrebt. Der Auftrieb wird freilich nur solche Pflanzentheile in's Loth richten, welche am Boden festgewachsen sind, oder solche, deren Schwerpunkt an einem Ende des cylindrischen Organes liegt.

In der Fig. 199 *D* ist ersichtlich, daß das Volum der luftführenden Intercellularräume *J* das Volum der Zellgewebe bei Weitem überwiegt. In gleichem Sinne ist das Grundgewebe der Stämme von *Acorus*, Fig. 199 *B*, soweit aufgelockert, daß die Zellenketten polyëdrische, sehr große Lufträume einschließen. Von histologischem Interesse sind die Zellen der *Sagittaria*, Fig. 199 *E*, wo je in einer zwei Zellen gemeinsamen Lamelle lins- oder ellipencylindrische Intercellularen entstehen. In dem Diaphragma der *Potameen*, Fig. 199 *A*, befinden sich polyëdrische Zellen des Grundgewebes, welche in der, drei Zellen gemeinsamen, Kante so auseinanderweichen, daß die Ecken des entstehenden Intercellularräumcs in das Lumen der Grenz- zellen hineinragen. Die Binsen bilden in ihrem Marke 3-, 5-, 6strahlige Zellen, welche so verbunden sind, daß dreiseitige Intercellularräume ent-

¹⁾ Studienmaterial: Stamm und Blattstiel der Nymphaeaceen, ebenso bei den Potameen, Aroideen (*Acorus*), amphibischen Polygoneen, Ranunculaceen und viele andere.

stehen, Fig. 199 C. Um diese Anordnung entwicklungsgehistorisch übersichtlich zu machen, beobachte man, daß die Fig. *a, b, c, d, e*, Fig. 199 C,

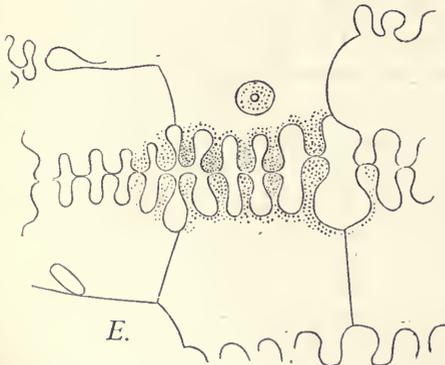
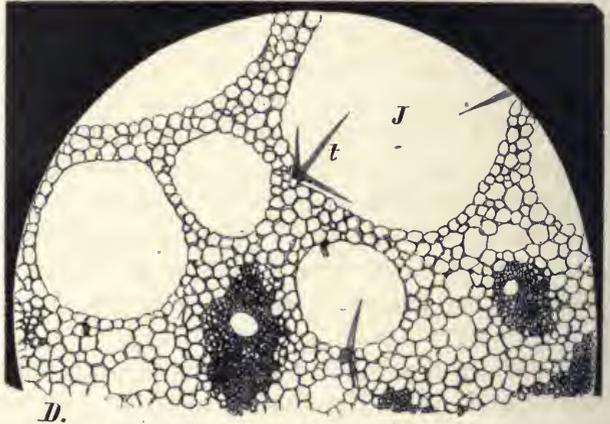
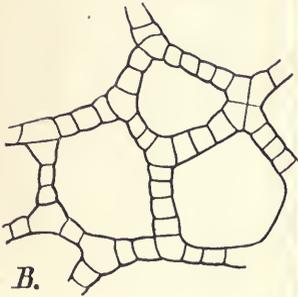
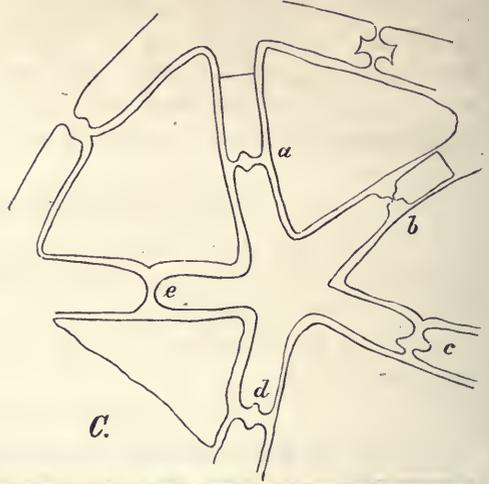
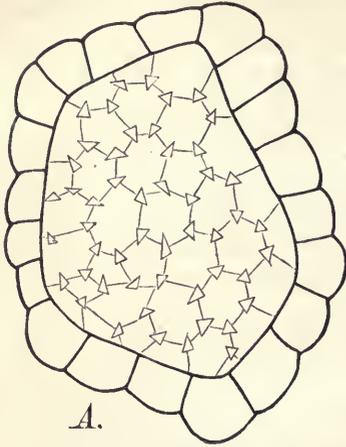


FIG. 199. Potamogeton natans. *A.* Diaphragma aus dem Stammknoten, die dreieckigen Räume sind luftführende Interzellularen. *B.* Große Interzellularräume aus dem Internodium von Acorus calamus. *C.* Interzellularräume im Mark von Juncus. Kleine Parthie aus dem Marke der Binne, *a, b, c, d, e* verschiedene Verdickung der Zellenquerwände. *D.* Nuphar luteum. Querschnittsparthie des Blattstieles, *J* Interzellularräum, *t* Sternhaare. *E.* Sagittaria sagittifol. DE BARY, Anatomie der Pflanzen. S. 221. Vielarmige Zellen aus dem Rindenparenchym.

ursprünglich ein Pentagon war, zur Zeit wo das Gewebe feinem cubischen Inhalt nach noch viel kleiner war. Zu dieser Zeit grenzten die Polygone der Nachbarzellen mit planen Wänden an das in der Figur gegebene Pentagon, sie wuchsen nun mit der Streckung des Organes derart, daß sie Ausläufer *a, b, c, d, e* bildeten, welche mit denjenigen der Nachbarzellen in *a, b* und *f. f.* verwachsen blieben. (Man lasse die Arme *a, b, c, d, e* zurückfließen, so kommt man zu dem besagten Pentagon.)

2. Bei den Landpflanzen.

Die Stämme der Landpflanze, insbesondere aber die Blätter, sind auf gewisse Nährkörper, welche in der Atmosphäre im Gaszustand befindlich sind, angewiesen. Die Organe sind an Licht und Luft angepaßt. Der wichtigste Apparat für die Aufnahme der atmosphärischen Gase ist die Spaltöffnung.

a) Entwicklung und Stellung der Spaltöffnung¹⁾.

Diese merkwürdige Einrichtung fehlt in dem Kreise aller niederen Cryptogamen, Algen, Pilze. Sie tritt zuerst auf bei den Marchantien und in der Kapsel der Laubmoose, sie fehlt in den Blättern und Stämmen aller Jungermannien und Laubmoose, in allen Prothallien der höheren Cryptogamen. Sie tritt durchaus gesetzmäßig auf von den Gefäßcryptogamen ab, in allen vegetativen Theilen, Blättern, Zweigen und so fort, sie fehlt häufig im Blütenblatt und in der Anthere.

Das Laubblatt aber ist das spaltenreichste Organ.

Bei den großen Blättern der Wasserpflanzen ist die Oberseite dann reicher an Spalten, wenn die morphologische Unterseite dem Wasserspiegel anliegt.

Bei den Landpflanzen ist umgekehrt die nicht direct bestrahlte Unterseite meistens reicher an Spaltöffnungen.

Die Anzahl der in der Flächeneinheit (ein Quadratmillimeter) enthaltenen Spalten schwankt in weiten Grenzen.

Zahl der Spalten auf einen Quadratmillimeter²⁾:

bei 54 Arten	1—100 Spalten
» 38 »	100—200 »

¹⁾ Dr. CRECK, Untersuchungen über die Zahlverhältnisse und die Verbreitung der Stomata. S. 101. Bot. Ztg. 65. — A. WEISS, Untersuchungen über die Größen- und Zahlenverhältnisse der Spaltöffnungen. S. 125. PRINGSH. Jahrb. Bd. IV. — E. STRASBURGER, Ein Beitrag zur Entwicklungsgechichte der Spaltöffnungen. S. 297. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — ZINGELER, Die Spaltöffnungen der Carices. PRINGSH. Jahrb. Bd. IX. S. 127. — STRASBURGER, PRINGSH. Jahrb. Bd. V, S. 297.

²⁾ Nach WEISS, PRINGSH. Jahrb. Bd. IV.

bei 39 Arten	200—300 Spalten,
» 12 »	300—400 »
» 9 »	400—500 »
» 3 »	600—700 »

Nachdem die größeren Epidermiszellen an bestimmten Orten eine kleinere Zelle abgefechieden, Fig. 200 *a*, theilt sich diese

a) in zwei Zellen, welche den Spalt bilden. Diese Schließzellen des Spaltes durchlaufen, mit der ganzen Fläche wachsend, die Entwicklungsreihe *a, b, c*, Fig. 200 *A*. Die beiden Schließzellen liegen im ausgewachsenen Zustand in der Fläche der Epidermis (Fig. 201 *A*) oder sie liegen etwas vertieft (Fig. 201 *D*) oder sie liegen ganz auf der Innenseite derselben (Fig. 201 *C*).

b) Der Entstehung der Schließzellen aus jener kleinen Zelle *a*, Fig. 200, geht ein einfacher oder complicirter Cyclus von Zelltheilungen voraus, derart, daß die beiden Schließzellen gleichzeitig aus einer Zelle des ersten, zweiten u. f. f. Grades der Verwandtschaft zu *a*, Fig. 200, entstehen.

Auf diese Weise bilden sich überaus scharf umgrenzte Zell-Gruppen in der Ebene der Epidermis, deren Centrum mit dem Spaltenapparat abschließt.

In einigen Fällen, bei den Crassulaceen namentlich deutlich, Fig. 202, wird ein Cyclus von Theilungen vollführt, welcher in der Flächenansicht genau identisch ist mit den Zelltheilungen in der unmittelbaren Nähe der Scheitel-

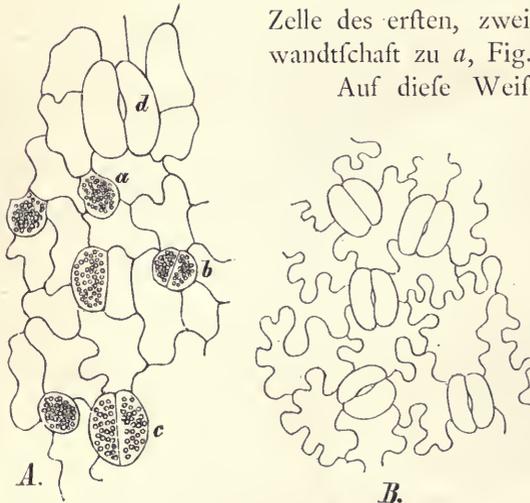


FIG. 200. *A*. *Osmunda regalis*. Junge Epidermis mit verschiedenen Entwicklungsstadien (*a* der jüngste, *d* der älteste) der Spaltöffnung. *B*. *Marattia cicutifolia*. Abgezogene Epidermis.

zelle der Moose und Farrenkräuter.

Eine der Mutterzellen *A*, Fig. 202, theilt sich durch senkrecht zur Fläche stehende Wände *I I*, *II II*, *III III*, Fig. 202 *B*, so, daß, wie auch die Gestalt der Mutterzelle *A* gewesen sein möge, die jeweilige Mutterzelle für die nächste Theilung einem sphärischen Dreieck *a, b, c* oder *b, c, d*, *f, g, e* und *f. f.*, Fig. 202 *C*, zustrebt, bis endlich zuletzt die Schließzellen aus zwei der zuletzt entstandenen Zellen abgefechieden werden (man vergl. die Fig. 202 *A*).

Nach der vollkommenen Streckung liegt der spaltenförmige Inter-cellularraum etwas vertieft mit einem trichterförmigen Eingang, dem Vor-

hof, einem ebenfolchen auf der Innenseite, dem Hinterhof. In den Vorhof verlaufen die Cuticula und Cuticularschichten, allmählig dünner werdend,

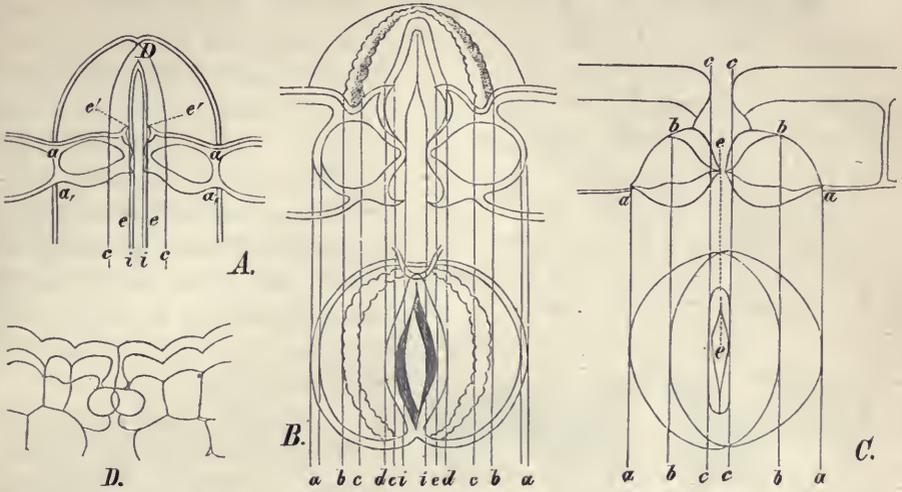


FIG. 201. A. Spaltöffnung von *Lilium candidum* aus dem Durchschnitt und der Flächenansicht der Epidermis perspectivisch dargestellt. B. Spaltöffnung von *Hæmanthus puniceus*, oben in der Ansicht wie in A, unten in der Flächenansicht. C. Spaltöffnung von *Allium altaicum*, oben im Durchschnitt, unten in der Flächenansicht. D. Spaltöffnung von *Aloë obliqua* im Durchschnitt der Epidermis.

ein. Der Hinterhof ist nicht cuticularisiert. Er grenzt unmittelbar an einen der größeren luftführenden Intercellarräume, die Athemhöhle, Fig. 203 B, f. Von dieser aus gerechnet, stehen alle Binnenluft Räume mit einander in Verbindung. Die Spaltöffnung stellt somit die äußerste Mündung eines, aus dem Innern der Pflanze austretenden Gasstromes dar. Sie

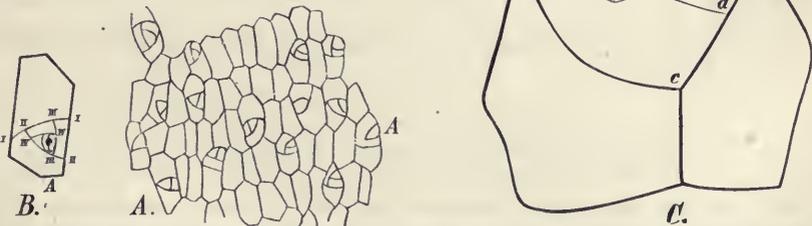


FIG. 202. *Sempervivum tectorum*. A. Abgezogene Epidermis. B. Epidermis mit dem Cyclus von Theilungen, welcher der Spaltbildung vorausgeht, schematisch. C. Diefelbe in stärkerer Vergrößerung.

ist, da die beiden Schließzellen nicht eine dauernde Lage besitzen, sondern, durch spontane Bewegung, den Spalt öffnen und schließen, gewissermaßen ein Gasventil.

Viele Tausende solcher Apparate wirken an einem Blatte. Im kleinsten Flächenelement ist dadurch für den Gasverkehr gesorgt¹⁾.

Wir wissen nach den Untersuchungen H. v. MOHL's (vergl. auch PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 75) über die Bewegung der Schließzellen und deren Ursachen das Folgende:

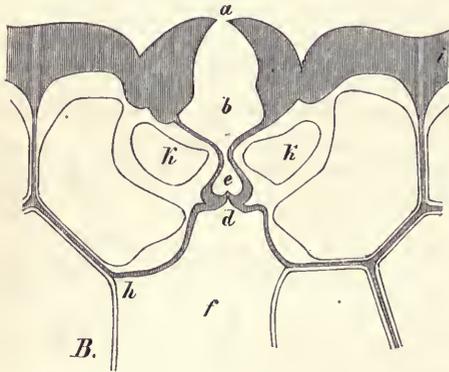
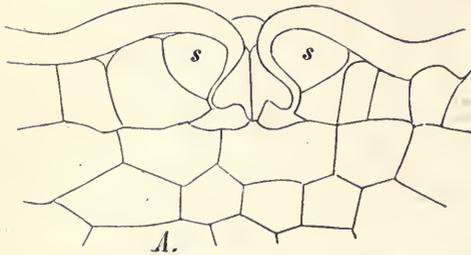


FIG. 203. A. Durchschnitt durch die Epidermis des Mistelblattes im Knofenzustand, *ss* die Zellen, welche die Schließzellen der Spaltöffnung später abtheilen. B. Durchschnittsansicht einer Spaltöffnung (nach v. MOHL, Bot. Ztg.) von Amaryllis, *a i* Cuticula, *kk* die Schließzellen, *b* Vorhof, *f* Athemhöhle, *d* Hinterhof.

b) Zusatz wasserentziehender Mittel, Zuckerlösung, Glycerin schließt den Spalt.

c) Inductionschläge schließen den Spalt (f. PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 75).

1° Die Schließzellen sind reicher am Protoplasma, an Kohlehydraten, sie führen abweichend von den Epidermiszellen in einigen Pflanzen selbst Chlorophyll. Die osmotische Spannung der Schließzellen ist größer wie diejenige der angrenzenden Epidermiszellen²⁾.

2° Die Außenseite der Schließzellmembran ist cuticularisiert, besteht demgemäß aus zwei antagonistisch wirkenden Membranstreifen, die Innenseite des Hinterhofes nicht.

3° Vorsichtiges Abziehen der Epidermis³⁾ schließt die vorher geöffneten Spalten nicht.

a) Wasserzufuhr schließt sie bei der Mehrzahl vorher geöffneten Spalten. Sie öffnet den Spalt oder erhält ihn offen bei Orchis (f. v. MOHL).

¹⁾ H. v. MOHL, Welche Ursachen bewirken die Erweiterung und Verengung der Spaltöffnungen? 697. 713. Bot. Ztg. 56. — N. J. C. MÜLLER, Die Anatomie und die Mechanik der Spaltöffnungen (als Fortsetzung zu: Diffusion der atmosphärischen Gase u. f. f.). PRINGSH. Jahrb. VIII, S. 75.

²⁾ Lit. Epidermis, Th. HARTIG, Ueber die Oberhaut der Holzpflanzen. Bot. Ztg. 53, S. 399. — E. PFITZER, Beiträge zur Kenntniß der Hautgewebe der Pflanzen. PRINGSH. Jahrb. V. 1866—67. — PFITZER, Ueber die mehrfache Epidermis und das Hypoderma. 526. Bot. Ztg. 69.

³⁾ Studienmaterial: Epidermis der Liliumarten, der Orchis, der Amaryllis, Aloë.

d) Rascher Temperaturwechsel schließt den Spalt.

4° Höhere Temperatur und Turgescenz führen zur Oeffnung.

5° Höhere Temperatur und Erschlaffen der Organe, in Folge starker Verdunstung, führen zum Schließen.

6° Während des Tages herrscht im Allgemeinen Offenstellung, während der Nacht aber Schließstellung (abgesehen von den unter 5° genannten Einwirkungen).

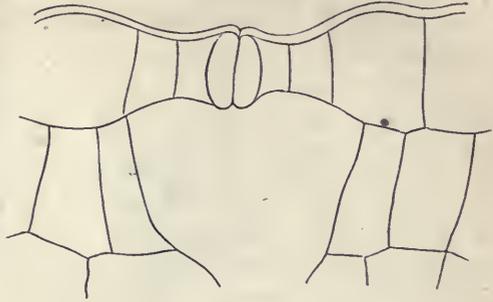


FIG. 204. Spaltöffnung von Zea Mais.

b) Diffusion und Aborption der Gase in der Membran¹⁾.

Denkt man sich zunächst in Folge eines Druckunterschiedes einen Strom aus der Atmosphäre nach dem Laubblatte gerichtet, so werden alle Areale der Epidermis, welche mit Spalten in der Offenstellung ausgefüllt sind, die Bewegung der Gasmoleculc nach den Lufträumen im Innern zulassen. Die Spalten sind daher die Diffusionsareale (oder Effusionsareale) des Blattes.

Alle übrigen Areale der Epidermis aber verdichten, lösen die Gase, solche mögen Aborptionsareale genannt werden.

Endlich sind alle Flächen im Innern des Blattes, welche an die luftführenden Intercellularräume grenzen, Aborptionsareale.

Sind alle Spalten geschlossen, so ist das Aborptionsareal des Blattes gleich dem feiner Oberfläche, sind sie aber alle geöffnet, so wächst das Aborptionsareal um das Vielfache, je nach der Größe der Zellen und ihrer Auflockerung. Als Beispiel mögen folgende Messungen für die Einheit der Fläche an einem, für die Untersuchung bequemen Alliumblatte angeführt sein:

Summe der Flächen aller geöffneten Spalten,	
Effusions- oder Diffusionsareal	= 0,015.
Aborptionsareal der Epidermis	= 0,985.
Innere Oberfläche der chlorophyllführenden	
Zellen, soweit sie an Intercellularräume grenzt	= 13,333.

¹⁾ N. J. C. MÜLLER, Untersuchungen über die Diffusion atmosphärischer Gase in der Pflanze und die Gasauscheidung unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. S. 145. 1866–67. — N. J. C. MÜLLER, Unterf. über die Diffusion der atmosphärischen Gase und die Gasauscheidung unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen. PRINGSH. Jahrb. Bd. IX. S. 36. — J. BÖHM, Ueber den Einfluß des Leuchtgases auf die Vegetation (Sitzgsber. d. k. Ac. d. Wissenfch. 1873).

Die Phyfiker¹⁾ ftellen ſich das gasförmige Aggregat als aus getrennter Molecülen beſtehend vor. Die Molecüle ſind, ſo lange Temperatur herrſcht, in ſteter Bewegung begriffen und ſtreben die größte Diſtanz zwiſchen einander herzuſtellen.

Das wichtigſte Geſetz für das Verſtändniß der Bewegung in Gasmaſſen ſagt aus:

Die Geſchwindigkeit der Gasmolecüle iſt dem Quadrate ihres Gewichtes umgekehrt proportional. Dieſe Geſchwindigkeit wird beobachtet, wenn Gase aus einem Recipienten unter geringem Drucke durch eine ſehr feine capillare Oeffnung ausfließen. In der nachfolgenden Tabelle ſind die atmofphäriſchen Gase, welche für die Ernährung der Pflanze zunächſt in Betracht kommen, im Vergleich mit dem ſpecifich leichten Gase Waſſerſtoff zuſammengeſtellt.

Gase.

Moleculargewicht.	Durchgangsgeſchwindigkeit bei der Effuſion	
	experimentell	berechnet $\frac{1}{d^2} = \sqrt{d^2}$.
O 16	0,951	0,9500
N 14	1,0146	1,0164
H 1	3,7994	3,613
CO ₂ 22	0,8087	0,821

Die Effuſion wird in der Epidermis, welche freilich aus zwei Membranlamellen beſteht, eine Rolle ſpielen, wenn Spaltöffnungen vorhanden ſind und wenn Druckſchwankungen oder ein Temperaturwechſel die Tenſion der Binnenluft vergrößert oder verkleinert.

Die ſpaltenloſe Epidermis aber läßt im naſſen Zuſtande nur gelöſte Gaſtheilchen paſſiren.

Im trockenen Zuſtande verhält ſie ſich wie eine feine Lamelle aus erhärtetem und trockenem Gypſtuck.

Um die Geſchwindigkeiten verſchiedener Gase durch ſolche Membranen zu beſtimmen,

¹⁾ GRAHAM, Ann. d. Chemie und Pharmacie 1850 S. 138 ff., ebenda 1862 S. 1, 1864 S. 131. — KRÖNIG, POGGEND. Ann. Bd. 99. — GRAHAM, POGGEND. Ann. 1863 Bd. 120. — NAUMANN, Grundriß der Thermochemie. Braunſchweig. Vieweg u. Sohn. 1869. S. 26 ff.

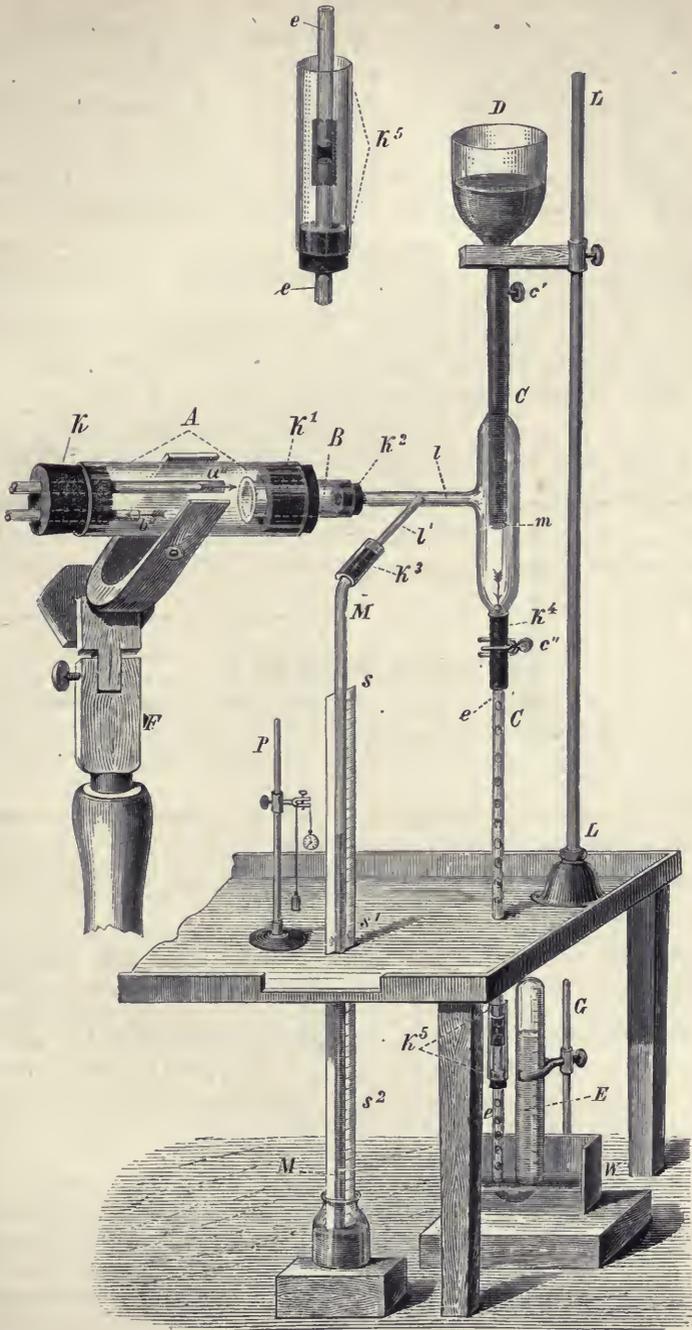


FIG. 205. Apparat für das Studium der Diffusionsercheinungen atmosphärischer Gase von Pflanzenmembranen. *D* Sprengel'sche Pumpe mit Quecksilber getrieben. Die Gase, welche auf dem Weg *K1 B1* in die Pumpe gelangen, werden in dem Absorptionsrohr *E* aufgefangen. *s1 s2* Manometer, welcher den Druck in der Pumpe anzeigt. In der Erweiterung von *B* ist ein Gypsstopf, auf welchem die Membran liegt. In *A* werden die Gase durch *a''* ein, durch *b''* ausgeblasen. In *P* eine Secundenuhr, welche gleichzeitig mit dem Spiegel des Manometers *t* abgelesen werden kann.

Gewicht.	Gefchw.	Gase ¹⁾ :		Durchgangszeiten: gleicher Volume	
		durch Kautschuk.	in Wasser löslich bei 20°.	durch nasse Membran.	durch trockene Membran.
<i>H</i> 1	3,613	5,500	0,0193	928	37,6
<i>N</i> 14	1,0164	1,000	0,0140	197	57,6
<i>O</i> 16	0,950	2,556	0,0283	185	68,3
<i>CO</i> ₂ 22	0,821	13,585	0,9014	135	79,0
Atmosphäre 1					

kann man sich des in Fig. 205 abgebildeten Apparates bedienen, welcher von GRAHAM zuerst angewandt wurde.

D, C, G, E sind die wesentlichen Theile einer mit Quecksilber getriebenen SPRENGEL'schen Pumpe (nach dem Principe des Wassertrommelgebläses). *M* ein Manometer, welcher den Grad der Evacuation in dem Raume *K¹ B K², l, l'* angibt. Das cylindrische Röhrchen *B* ist links mit einem sehr dünnen Gypspfropf verschlossen und nimmt auf dem Tellerrande die zu prüfende pflanzliche oder thierische Membran auf. In dem Raume *A* wird durch *a' a''* der Strom der Gase ein-, durch *b' b''* ausgeleitet. Dieß kann für Atmosphäre mit einem zweiten Wassertrommelgebläse bewirkt werden.

1) 1^o Mechanische Theorie der Gase.

Denken wir uns unter dem Drucke der Atmosphäre, also des Barometerstandes, zwei gleiche Gasbehälter mit verschiedenen Gasen gefüllt, den einen mit *H*, den andern mit *O*, so ist experimentell bestimmt, daß das Gewicht der Gasmasse im einen zu dem des andern sich verhält wie 1 : 16.

Betrachten wir nun die vier wichtigsten Gase *CO*₂, *H*, *O*, *N* und denken uns vier gleicheingerichtete Gefäße mit gleichem Volum, in jedes Gefäß eines der vier Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gefüllt, so verhalten sich die Gewichte wie

$$H : N : O : CO_2 \\ 1 \quad 14 \quad 16 \quad 22.$$

Man nennt diese Gewichte die specifischen Gewichte, bezogen auf *H* als Einheit. Dieselben drücken uns die Dichten der Gase aus. Nehmen wir an, die Gase befinden sich in den vier Gefäßen unter gleichem Druck und gleicher Temperatur, und erhöhen wir nun im einen Gefäß die Differenz einer sperrenden Quecksilberfäule um ein bestimmtes Maß, so finden wir, daß das Volum im Recipienten abnimmt, das Gas wird comprimirt; stellen wir in allen Gefäßen diese Differenz her, so finden wir, daß die Volume aller gleich werden, d. h. daß gleichem Druck bei allen gleiche Volume entsprechen. Denken wir uns vier gleichvolumige Röhren in 273 gleiche Theile getheilt und bei constantem und gleichem Druck für alle vier Apparate $\frac{1}{273}$ der einen Röhre mit *H*, der andern mit *CO*₂, der andern mit *O*, der letzten mit *N* gefüllt, so können wir durch Verschieben der Röhre *A* in dem mit *Hg* gefüllten Cylinder bei jedem Temperaturgrad das Volum messen bei constantem Druck. Man hat gefunden, daß das Volum der Temperatur für alle Gase direct proportional sei und daß bei der Erhöhung oder Verminderung der Temperatur um 1^o C. dasselbe um $\frac{1}{273}$ zu- oder abnimmt. Daraus ist die Definition des absoluten O-Punktes der Temperatur und der absoluten Temperatur leicht herzuleiten.

Hat das Manometer durch den Betrieb der rechts stehenden SPRENGEL'schen Pumpe eine bestimmte Höhe erreicht, so schließt man die letztere und beobachtet die Zeit, welche nöthig ist, bis der Spiegel in M um einen gegebenen Niveauunterschied gesunken ist, dadurch, daß Gase aus A durch die Membran nach B getreten sind. Auf diese Weise können die Zeiten leicht bestimmt werden, welche gleiche Volume verschiedener Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur brauchen, um gleiche Membranflächen verschiedener Natur zu passiren (man vergleiche die Tabelle S. 208).

Aus dem GAY-LUSSAC-MARIOTTE'schen Gesetz ist AVOGADRO zu der Annahme gelangt, daß in gleichen Volumen verschiedener Gase bei gleichem Druck und gleicher Temperatur dieselbe Anzahl von Moleculen enthalten sei. Das spezifische Gewicht ist darum auch das Moleculargewicht der Gase, d. h. das Gewicht eines Moleculs in dem Gas.

Nach den jetzt herrschenden chemischen Theorien hat man dann aber noch zu unterscheiden zwischen Atom und Molecul.

1° Verbindet man nämlich Cl und H z. B., so findet man, daß die Volume von beiden gleich sind, es gehen also gleichviel Molecule nach der AVOGADRO'schen Ansicht von dem einen wie dem andern Gas in die neue Verbindung ein.

2° Verbindet man hingegen O und H zu Wasser, so findet man, daß zwei Molecule (bezieht sich zwei Vol.) H mit einem Molecul (bezieht sich ein Vol.) sich verbinden:

Nach diesem nennt man Cl und H einwerthig, O und N beziehentlich zwei- und dreierwerthig.

Das Molecul der elementaren Gase enthält zum Mindesten zwei Atome:

Wir verbinden z. B. ein Volum H und ein Volum Cl zu ClH . Aus den zwei Volumen Cl und H entstehen aber zwei Volume ClH ; wenn nun nach der Annahme, daß in allen Gasen in gleichem Volum bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleichviel Molecule vorhanden seien, verfahren würde, so käme man jetzt in den zwei Volumen ClH offenbar nicht aus, denn aus den n Moleculen H und n Moleculen Cl entstünden nur n Molecule ClH in demselben Volum, welches vorher von zwei n Moleculen ausgefüllt war. Wir stellen uns daher vor, der H besteht aus zwei Atomen und ebenso das Cl , und bei der chemischen Verbindung tritt eine Zerlegung der Molecule ein, so daß jetzt zwei Molecule ClH resultiren. Nur auf diese Weise ist es möglich, daß wenn vor der Verbindung zwei n Molecule in den zwei Volumen enthalten waren, nach derselben ebenfalls zwei n Molecule denselben Raum erfüllen.

Wir haben ein Volum O und zwei dieser Volume Wasserstoff vor der Verbindung zu Wasser. Nach dieser erhalten wir aber nur zwei Volume Wasserdampf.

Vor der Verbindung des N und H zu NH_3 haben wir bei gleichem Drucke und gleicher Temperatur ein Volum N und drei solcher Volume H . Nach der Verbindung aber zwei Volume des Dampfes von NH_3 .

2° Gasdiffusion.

Verbindet man zwei unter gleichem Druck und Temperatur stehende, aber mit verschiedenen Gasen gefüllte Recipienten, von welchen der eine Sauerstoff, der andere Wasserstoff enthalten möge, miteinander und untersucht nach einiger Zeit das Gemisch, so findet man, daß sich die Gase gegenseitig durchdrungen haben. H ist nach O , O nach H getreten. Noch besser wird man diese Durchdringung durch Uebereinanderfichten zweier Gase nachweisen, von welchen eines gefärbt ist.

c) Diffusion und Abforption im Laubblatt¹⁾.

Laubblätter und belaubte Zweige tauchen in einem Gasocyan, in welchem durch den Wind stete Druckschwankungen hervorgebracht werden. Durch den Wechsel in der Bestrahlung müssen stetig stärkere oder schwächere Gasströme in dem einen oder anderen Sinne herrschen.

Steigt der Barometerstand in der Atmosphäre, so muß ein Strom durch die Spalten nach dem Innern der Pflanze den Druckunterschied ausgleichen, sinkt derselbe, so herrscht ein entgegengesetzt gerichteter Strom. Erwärmt sich durch Strahlung das Blatt, so werden die Gase zum Theil nach außen dislocirt, sinkt umgekehrt die Temperatur, so dringen Gase in die Binnenlufträume ein. Mit Hilfe des Apparates, Fig. 206, lassen sich die hier einschlägigen Phänomene leicht studiren. Derselbe besteht aus zwei Glasrecipienten. Einer derselben nimmt das Laubblatt auf, welches an einem in den Recipienten *A* mündenden Rohr mit dem Blattstiel befestigt ist. Die beiden Recipienten *A* und *B* sind durch einen Differenzen-Manometer getrennt. Von dem Schenkel derselben, welcher mit *A* in Verbindung steht, geht ein Rohr nach *B*. Ein anderes Rohr führt zum Hahn *c'''* und kann durch diesen mit dem Vacuum einer Pumpe *C* in Verbindung gebracht werden.

Mögen die Hähne *c''* und *c'''* zunächst geschlossen sein und ein Laubblatt verschließe luftdicht die Mündung der Spindel im Recipienten *A*, so communiciren die Gastheile des Recipienten *B* mit Binnenräumen des Blattstieles. Die äußersten Mündungen, die Spalten in der Blattfläche aber stehen in Verbindung mit dem Gase im Recipienten *A*.

¹⁾ PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. N. J. C. MÜLLER, Diffusion der Gase.

Die Bewegung der freien Gastheilchen, auf die wir durch solche Erfahrungen schließen, nennen wir die Diffusion der Gase. Mißt man die Schnelligkeit dieser Bewegung, so findet man, daß sie bei chemisch verschiedenen Gasen verschieden groß ist. Verschließen wir zwei Röhren mit einem dünnen Gypspfropf und füllen die eine mit *H*, die andere mit *CO*₂, sperren beide Röhren mit Wasser und lassen den Gypspfropf mit der Atmosphäre in Berührung, so sehen wir, daß in der mit *H* gefüllten das Wasser steigt, während es in der mit *CO*₂ gefüllten sinkt. Daraus geht hervor, daß von dem Wasserstoff in derselben Zeit mehr in die Atmosphäre entweicht, als von dieser durch den Gyps in das Rohr eintritt. Bei der *CO*₂ ist der Vorgang umgekehrt, hier geht weniger *CO*₂ heraus, als Atmosphäre herein.

Im Allgemeinen findet man bei einer solchen Bewegung der Gase durch poröse, trockene Massen, daß die leichteren sich rascher bewegen.

Das Experiment hat nun in Uebereinstimmung mit der Theorie eine bestimmte Abhängigkeit der Geschwindigkeit verschiedener Gase von ihrem Gewicht nachgewiesen. Das Gesetz, welches dieses ausdrückt, sagt aus: daß die Geschwindigkeiten umgekehrt proportional sind den Quadraten aus den specifischen Gewichten (resp. Moleculargewichten).

Gypstuck, Graphyt, Thonmasse sind poröse Körper, deren Poren so eng sind, daß eben nur die Gastheilchen einzeln hindurch passiren. Läßt man nun durch einen genügend

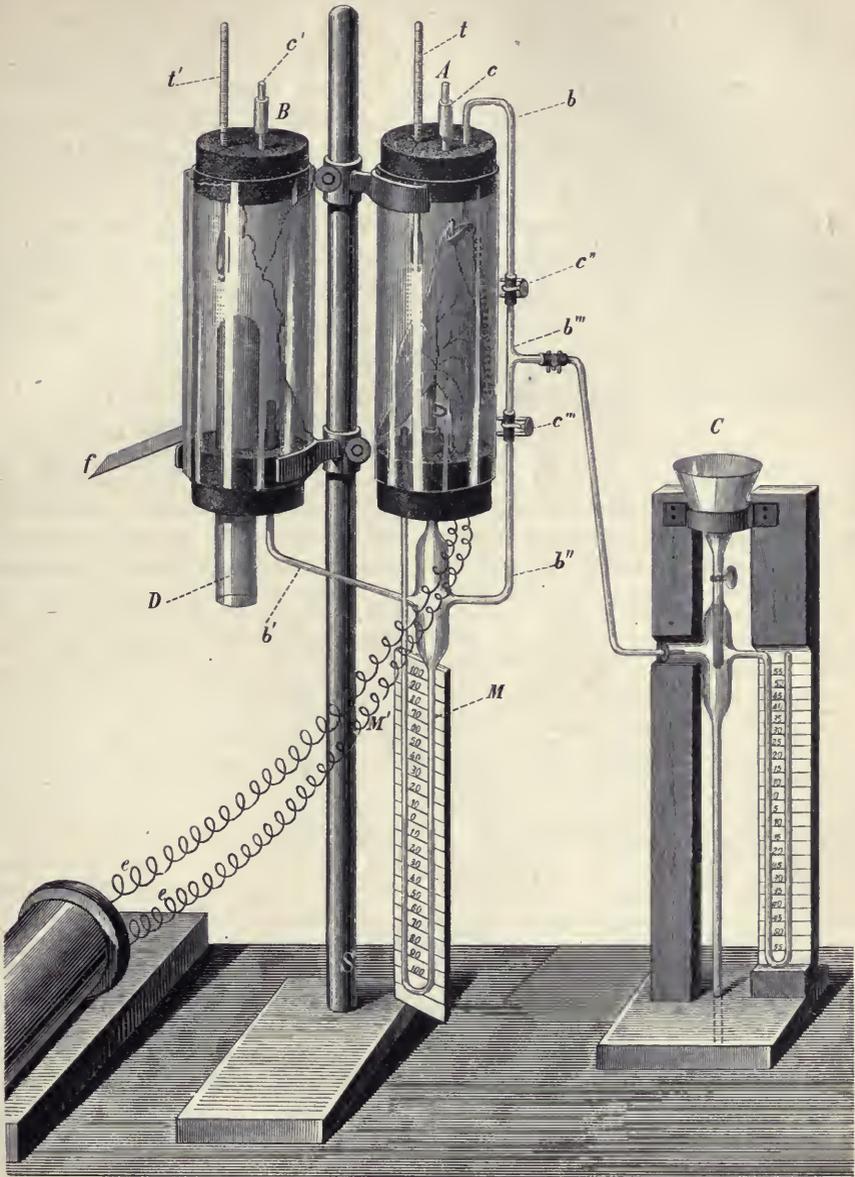


FIG. 206. Vorrichtung zum Studium der Gasströme im Laubblatte. Zwei Recipienten *AB*, jeder mit einem Thermometer *t t'* und einem Ventil *c c'*, sind so verbunden, daß der Druck in *B* am Spiegel *M*, der Druck von *A* am Spiegel *M'* eines Differenzmanometers abgelesen werden kann. In der Verlängerung der Röhre *M* wird das Laubblatt befestigt. Beide Recipienten sind noch mit der SPRENGEL'schen Pumpe *C* in Verbindung, wird das Ventil *c''* geöffnet, so evacuirt diese den Recipienten *A*, wird *c'''* geöffnet, so evacuirt sie den Recipienten *B*. In *D* ein Stempel, welcher ausgezogen oder eingeschoben werden kann. In den Recipienten *A* führen die Electroden *e e*.

Schiebt man nun den Stempel D in den Recipienten B hinein, so sinkt der Spiegel der Sperrflüssigkeit in M , der in M' steigt, d. h. der Druck in B ist größer wie in A ; ein Gasstrom geht jetzt durch das Blatt von B nach A . Die Spiegel nähern sich, der Druckunterschied zwischen A und B gleicht sich aus.

Umgekehrt verläuft der Vorgang, wenn in einem zweiten Versuch D herausgezogen wird. Es geht alsdann ein Gasstrom von A nach B .

In den Recipienten B lassen sich nacheinander verschiedene Gase einführen und auf ihre Diffusibilität untersuchen.

Durch den Kautschukverschluß in A sind 2 Kupferdrähte, an deren Enden Platinelectroden befestigt, eingeführt, welche den Pflanzentheil in zwei Punkten berühren. Schließt man den electricischen Strom, so erfährt die Pflanze Inductionsschläge, welche nach einigen Minuten die Spalten schließen, während der Gasstrom aus einem nach dem anderen Recipienten, in der angegebenen Weise unterhalten wird.

dünnen Pfropf die verschiedenen Gase hindurchgehen und zwar bei gleichem Druck und gleicher Temperatur, so findet man, daß die Zeiten, die erforderlich sind, um das gleiche Volum H , N , O , CO_2 hindurch zu lassen, sich sehr näherungsweise direkt verhalten, wie die Quadrate aus den specifischen resp. Moleculargewichten. Da nun die Geschwindigkeiten sich nach dem oben ausgesprochenen Gesetz umgekehrt verhalten wie diese Zeiten, so ist damit der experimentelle Nachweis für die Richtigkeit des Gesetzes dargethan.

Name.	Moleculargewicht.	Durchgangszeiten.	Geschwindigkeit aus $\frac{l}{d^2}$.	Weg der Molecule in einer Sec. bei 0° C.
H	I	I	I	1844 m
N	14	196	0,005152	492 »
O	16	256	0,003946	461 »
CO ₂	22	484	0,002086	—
I.	II.	III.	IV.	V.

3° Der Gasdruck.

Den Druck der Gase faßt man auf als die Summe aller Stöße gegen den festen Körper oder die Sperrflüssigkeit, welche das Gas einschließen. Es besteht nun folgende allgemeine Beziehung zwischen Druck p , Temp. $(t + 273^\circ)$ und Volum v . Für jedes Gas nimmt der Druck zu, wenn das Volum verkleinert wird, die Temperatur aber constant bleibt. Ebenso wächst der Druck, wenn das Gas erwärmt und das Volum constant erhalten wird, und zwar ist:

der Druck umgekehrt proportional dem Volum und direct der von -273° an gerechneten Temperatur. Dieß wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{v'' (273 + t')}{v' (273 + t'')}.$$

Denken wir uns in einem Cylinder mit verschiebbaren Kolben irgend ein Gas H , CO_2 , O oder N und von der Temperatur T , wo T jetzt die absolute Temperatur vorstellen möge, so wird das Gas ein bestimmtes von T abhängiges Volum einnehmen.

Man hat es so in der Gewalt, Diffusions-, resp. Effusions- oder Abforptionsströme in dem Blatte herzustellen.

Verfuch I. (PRINGSH. Jahrb. VIII. S. 105 ff.)

Die erwärmten Gase wurden bei 20° durch das Pflanzenblatt getrieben, bei einer Druckdifferenz von 80 mm in 60 Secunden.

Bei minus 10° C. aber wurden für dieselbe Operation 660 Secunden beanfprucht. (PRINGSH. Jahrb. a. a. O. S. 111.)

Verfuch II.

Das Blatt wird durch Inductionsschläge gereizt, vor der Reizung erfordert ein Gasstrom 180 Secunden, nach einigen Minuten erfordert derselbe Strom 300 Secunden.

Legt man auf den Stempel zu p' ein neues Gewicht, so wird ein neues, kleineres Volum erlangt, und die Volume und Drucke verhalten sich, wie:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{v''}{v'}$$

In unferein Falle ist das Verhältniß ein ächter Bruch. Lassen wir jetzt den Druck constant p und führen dem Gase, welches im ersten Zustande die Temperatur T' hatte, Wärme zu, so daß T' zu T'' heranwächst, so wird v' zu v'' . Die Drucke sind aber für beide Zustände dieselben geblieben, es folgt daraus, daß:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{v'' T'}{v' T''} = 1$$

fein muß. Da nun $\frac{v''}{v'}$ größer wie eins ist, so muß nothwendiger Weise $\frac{T'}{T''}$ kleiner wie eins sein. Diese Gleichung sagt also aus: Um einen und denselben Druck in einem Gas zu erhalten, muß die kleinere Temperatur mit dem größeren Volum, die größere Temperatur mit dem kleineren Volum multiplicirt werden. Um nun dieses «MARIOTTE'sche Gesetz» $\left(\frac{p'}{p''} = \frac{v''}{v'}\right)$ aus der Theorie der Stöße abzuleiten, denken wir uns einen cubischen Raum mit Gas gefüllt, in welchem n Molecule enthalten sind. Ist q der Querschnitt, b die Höhe des Behälters, so ist $v = q b'$.

Auf ein Cubikelement kommen davon $\frac{n}{q b'}$ Molecule, auf ein Längenelement

$$L' \text{ kommen } \sqrt[3]{\frac{n}{q b'}} \text{ Molecule.}$$

Der Druck auf die Quadrateinheit F wird proportional sein der Anzahl der Stöße der in ihr befindlichen Molecule; sodann aber auch proportional der Zahl der in der Längeneinheit befindlichen, d. h. es kommt nicht allein darauf an, wie viel Molecule auf einmal auf das Flächenelement treffen, sondern auch, wie oft dieß geschieht. Die Gleichung, welche dieß ausdrückt, lautet:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{F'}{F''} \cdot \frac{L'}{L''}$$

Nun ist aber $L' = \sqrt[3]{\frac{n}{q b'}}$ und daraus $F' = \left(\sqrt[3]{\frac{n}{q b'}}\right)^2$. Wird nun durch die Volumvergrößerung die Höhe b'' hergestellt, so erhalten wir:

Versuch III.

Füllt man den einen Recipienten A mit Atmosphäre, den anderen B mit Kohlenfäure, während in dem Apparat das Blatt in dem Recipienten A eingeschaltet ist, so diffundirt die Kohlenfäure von B nach A . Der Spiegel in M hebt sich, der in M' sinkt. Jetzt wird durch die chemische Differenz der beiden Gase ein Druckunterschied hergestellt, welcher lediglich von der Molecularbewegung der Gase abhängt.

d) Verdunstung am Blatte.

Die Wassermenge, welche von der Flächeneinheit einer gegebenen Membran bei gegebener Temperatur und gegebenem Drucke abdunstet, ist die Verdunstungsgröße. Dieselbe ist für alle cuticularisirte Flächen kleiner, wie für die nicht cuticularisirten Membranen, welche an die Binnenluft Räume grenzen. Die Spaltöffnungen spielen somit bei der Verdunstung eine ähnliche Rolle, wie bei dem Verkehr der atmosphärischen Gase.

$$\begin{aligned}
 \frac{p'}{p''} &= \frac{\left(\sqrt[3]{\frac{n}{qb'}}\right)^2}{\left(\sqrt[3]{\frac{n}{qb''}}\right)^2} \cdot \frac{\sqrt[3]{\frac{n}{qb'}}}{\sqrt[3]{\frac{n}{qb''}}} \\
 9) \quad &= \frac{\frac{n}{qb'}}{\frac{n}{qb''}} = \frac{qb''}{qb'} = \frac{v''}{v'}.
 \end{aligned}$$

Dies ist aber nach Früherem der Ausdruck für das MARIOTTE'sche Gesetz.

Um von derselben Theorie aus auch das GAY-LUSSAC'sche Gesetz $\left(\frac{v'}{v''} = \frac{T'}{T''}\right)$ abzuleiten, denken wir uns einen Würfel, in welchem n Molecule sich bewegen und nehmen folgende Sätze über den Stoß elastischer Körper zu Hilfe:

1° Zwei gleiche elastische Kugeln von gleicher Masse tauschen beim centralen Stoß ihre Geschwindigkeiten aus.

2° Wenn eine elastische Kugel von der Masse m und der Geschwindigkeit c eine unendlich große elastische Masse M trifft, so übt sie auf diese eine bewegende Kraft $2mc$, die stoßende wird reflectirt, erhält dieselbe aber umgekehrte Geschwindigkeit $-c$. In unserm Würfel stoßen auf die Wand A im gegebenen Zeitpunkt $\frac{n}{6}$ Molecule.

Jedes Molecule übt die Kraft $2mc$, wo m seine Masse. Die Wand erhält also in der Secunde, wenn α die Anzahl der Hin- und Hergänge in der Secunde, die bewegende Kraft: $K_A = 2mc\alpha \frac{n}{6} = \frac{m\alpha cn}{3}$. Die nicht centralen Stöße werden hier nicht in Betracht gezogen.

Ist τ die Zeit, in welcher der Weg $AB = a$ einmal durchlaufen wird, so ist $c\tau = a$. Nach der Zeit 2τ stößt daselbe Molecule zum zweitenmal, wenn es vorher nicht carambolirte. Stößt es central eines der Theilchen von gleicher Masse, so bleibt das Resultat nach Satz I daselbe. Die Wand erhält in der Secunde (resp. Zeiteinheit) von einem Theilchen α Stöße.

Die Verdunstung ist für die spaltenführende Unterseite eines Blattes größer wie für die spaltenfreie Oberseite. UNGER bringt zwei gleichgroße Recipienten so an dem Blatte an, daß in einem Chlorcalcium-führenden Gefäß des einen Recipienten die abdunstenden Wassertheilchen der Oberfläche, in einem anderen aber diejenigen der Unterfläche condensirt werden. Durch Wägung der Chlorcalciumgefäße wird die Verdunstungsgröße der beiden Flächen bestimmt, Fig. 207.

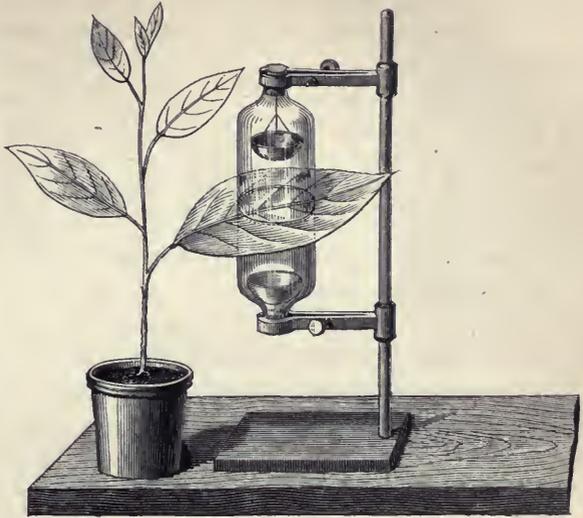


FIG. 207. UNGER's Apparat zum Nachweis, daß die Verdunstungsgröße nach der Unterseite größer ist, wie nach der Oberseite.

$$\alpha = \frac{1}{2 \tau} = \frac{c}{2 a'}$$

weil, wenn eben das Theilchen einmal gestoßen hat, es nach 2τ zum zweiten Mal dieselbe Wand stößt, τ ist jedenfalls kleiner als die Einheit der Zeit (1 Secunde), also α größer.

Diesen Werth in K_A gesetzt kommt:

$$K_A = \frac{m c^2 n}{6 a}$$

Auf die Flächeneinheit a^2 kommt die Kraft K_A , weil K_A durch a^2 dividirt war,

$$K_A = \frac{n m c^2}{6 a^3} \text{ oder } K_A = \frac{n m c^2}{6 v} \text{ ergibt.}$$

Mit dieser Kraft K drückt das Gas, so daß die eine Wand von der entgegenliegenden entfernt würde, wenn sie verschiebbar wäre. Auf die Grundfläche drückt aber dieselbe Kraft K_A nach der entgegengesetzten Richtung, die Summe beider ist $= p$.

$$p = K'_A + K''_A = 2 K_A = \frac{2 n m c^2}{6 v} = \frac{n m c^2}{3 v}$$

Bleibt also das Volum constant und werden die Drucke dadurch geändert, daß dem Gas Wärme (resp. Bewegung) zugeführt wird, so verhalten sich die Drucke, wie:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{\frac{n m C'^2}{3 v}}{\frac{n m C''^2}{3 v}}$$

10)

$$\frac{p'}{p''} = \frac{\frac{3 v}{m c'^2}}{\frac{2}{m c''^2}}$$

weil die Anzahl aller Molecule und $3 v$ bei der Division wegfallen.

	Verdunstung am Blatte.			
	Oben.		Unten.	
	Spalten.	Verdunst.	Spalten.	Verdunst.
Atropa	10	48	55	60
Nicotiana rustica	15	57	20	80
Tilia europæa . .	0	20	6	49

Die Spaltöffnungen reguliren somit auch die Verdunstung, indem sie durch Schließen die verdunstende Innenfläche außer Thätigkeit setzen, durch Oeffnen aber das verdunstende Areal auf das 13fache bis 20fache der einfachen Blattfläche vergrößern.

e) Verdunstung der Blattflächen verschiedener Entwicklung.

Von Weinblättern, welche in verschiedener Phase der Entwicklung stehen, werden sechs in gleichen Gefäßen bei mittlerer Temperatur der Verdunstung ausgesetzt, die Blattfläche wird auf gleichmäßiges, photogra-

Da nun nach dem GAY-LUSSAC'schen Gesetz die Volume der Gase um $\frac{1}{273}$ zu- oder abnehmen bei Erhöhung oder Erniedrigung um 1° C., so erhalten wir, wenn p^0 der Druck bei 0° ist:

$$11) \quad \frac{p'}{p''} = \frac{p^0 + \frac{t'}{273} \cdot p^0}{p^0 + \frac{t''}{273} \cdot p^0} = \frac{p^0 (273 + t')}{p^0 (273 + t'')} = \frac{T'}{T''}$$

d. h. die Drucke verhalten sich bei einem constanten Gasvolum bei verschiedener Temperatur direct proportional, wie diese Temperaturen:

Aus 10) und 11) folgt dann:

$$\frac{\frac{m c_1^2}{2}}{\frac{m c_2^2}{2}} = \frac{T'}{T''}$$

d. h. die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Molecule ist direct proportional der absoluten Temperatur.

Aus 11) und 9) erhalten wir noch:

$$\frac{p'}{p''} = \frac{v''}{v'} \frac{T'}{T''} \quad \text{oder} \quad \frac{v' p'}{v'' p''} = \frac{T'}{T''}$$

das vereinigte MARIOTTE-GAY-LUSSAC'sche Gesetz.

Die lebendige Kraft der Molecularbewegung ist für verschiedene Gase bei gleicher Temperatur gleich groß und der absoluten Temperatur proportional.

$$12) \quad \frac{\frac{m' c'^2}{2}}{\frac{m'' c''^2}{2}} = \frac{T'}{T''}$$

Denken wir uns nun von zwei chemisch verschiedenen Gasen zuerst in zwei mit Kolben versehenen Cylindern gleiche Volume bei gleichem Druck und gleicher Temperatur, so sind in jedem Volum n Molecule, die einen nennen wir n' , die andern n'' ; n' kann $>$ oder $<$ als n'' sein; dann besteht also noch die Folgerung aus unserer Discussion, daß die Drucke bei irgend einer Aenderung in den zwei Cylindern sich verhalten, wie die Anzahl der

phisches Papier abgezogen, aus der Wägung der Papierfilhouetten wird die Relation der Flächen und die verdunstete Wassermenge berechnet.

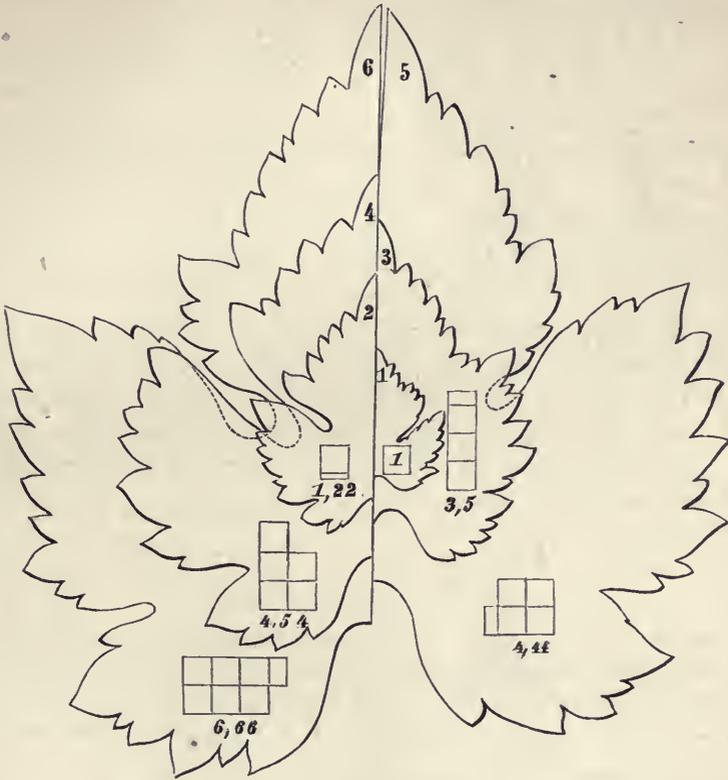


FIG. 208. In dieser Figur sind die absoluten Größen von 6 verschiedenartigen Weinblättern verzeichnet und in jeder Fläche die Flächeneinheiten durch Quadrate verzeichnet, welche die gleiche Wassermenge in gleicher Zeit verdunsten, in 1 dem jüngsten ist eine Flächeneinheit, in 2 1,22, in 3 3,5, in 4 4,54, in 5 4,44, in 6 6,66 Flächeneinheiten nöthig.

Molecule $\frac{p'}{p''} = \frac{n'}{n''} \cdot \frac{v''}{v'} \cdot \frac{T'}{T''}$. Dieser Fall schließt auch noch die AVOGADRO'sche Regel ein.

4° Relative Geschwindigkeit der Molecularbewegung bei verschiedenen Gasen.

Aus der früheren Gleichung für die Bewegung eines Gases bei verschiedener Temperatur:

$$\frac{m c'^2}{m c''^2} = \frac{T'}{T''} \text{ folgt } \frac{c'^2}{c''^2} = \frac{\sqrt{T'}}{\sqrt{T''}}$$

d. h. die Moleculargeschwindigkeiten eines Gases verhalten sich wie die Wurzeln aus den absoluten Temperaturen.

Aus der Gleichung 12 können wir aber noch die relative Geschwindigkeit zweier verschiedener Gase für eine bestimmte Temperatur finden. Es folgt aus ihr, wenn $T' = T''$ gesetzt wird:

Hieraus berechnen sich zunächst die Blattflächen, aus den früheren Daten die Verdunstungsgrößen, beide sind in der folgenden Tabelle verzeichnet:

Abolute Fläche des ganzen Blattes. qcm	Verdunstung auf die Flächeneinheit 100 qcm.
44,33	2,797 cc
49,20	1,823 »
21,70	2,489 »
12,73	3,486 »
5,195	9,863 »
1,986	12,09 »

Aus diesem Verfüche geht hervor, daß die Verdunstungsgröße eines Blattes während der Evolution aus dem Zustand *I* nach dem Zustand *IV*, Fig. 209, bezogen auf die Flächeneinheit und dieselben äußeren Agentien (Druck, Temperatur, Tension des Dampfes) mit der Evolution sinkt, um später wieder zu wachsen. Es beruht dieß zum Theil darin, daß die Mem-

$$\frac{\frac{m' c'^2}{2}}{\frac{m'' c''^2}{2}} = 1, \text{ mithin } m' c^2 = m'' c''^2,$$

d. h. die lebendige Kraft verschiedener Gase ist bei gleicher Temperatur gleich.

Da nun m' und m'' nicht gleich sind, so müssen auch c' c'' ungleich sein, da ferner $m' m''$ leicht zu berechnen sind, so müssen auch $c' c''$ leicht zu berechnen sein. Es folgt zunächst:

$$\frac{c'}{c''} = \frac{\sqrt{m''}}{\sqrt{m'}},$$

d. h. bei gleichen Temperaturen verhalten sich die Geschwindigkeiten verschiedener Gase umgekehrt proportional den Quadratwurzeln aus ihren Massen.

Wenn nun g die Beschleunigung der Schwere und $M' M'' \dots$ die betreffenden Moleculargewichte der Gase darstellen, so ist $m' g = M'$; $m'' g = M''$; . u. f. f. Hieraus wird $\frac{\sqrt{m''}}{\sqrt{m'}} = \frac{\sqrt{M''}}{\sqrt{M'}}$, und dieß in die Gleichung für $\frac{c'}{c''}$ eingesetzt, kommt

$$\frac{c'}{c''} = \frac{\sqrt{M''}}{\sqrt{M'}},$$

d. h. bei gleicher Temperatur verhalten sich die Geschwindigkeiten umgekehrt proportional wie die Quadratwurzeln aus ihren Moleculargewichten.

5° Die absoluten Geschwindigkeiten

lassen sich berechnen aus der Gleichung:

$$\frac{c'}{c''} = \frac{\sqrt{M''}}{\sqrt{M'}} \text{ und aus } p = \frac{n m c^2}{3 v}.$$

branen der freien Außenfläche sich immer mehr verstopfen. Die Verdunstungsgröße sinkt sonach von 4) nach 5). Bald aber kommt das Blatt in die Phase 5) nach 6), (Fig. 209), wo die Binnenluft Räume, die innere Oberfläche und die Spalten der Epidermis eine Rolle spielen: die Verdunstungsgröße steigt wieder, erreicht aber nie mehr die Größe der früheren Phasen.

f) Verdunstung einer Blattfläche bezogen auf eine gleichgroße Wasserfläche.

Um das Verhältniß der Verdunstung von der Blattfläche und einer nackten Wasserfläche näherungsweise zu bestimmen, wurden an einem Ort, an welchem die Temperatur 18° betrug, zwei Gefäße von cylindrischem Querschnitt aufgestellt. In das eine Gefäß, dessen verdunstende Fläche 3840 Quadratmillimeter betrug, wurde ein Blatt von *Hamantus puniceus* gestellt, dessen verdunstende Flächen, die Ober- und Unterseite zusammen gerechnet, 19350 Quadratmillimeter betragen.

Es ist die Masse der Gasmenge $n m = \frac{G}{g}$; wo G ihr Gewicht, g die Beschleunigung durch die Schwere bedeuten:

$$p = \frac{G c^2}{g^3 r} \quad c^2 = \frac{p g^3 r}{g}$$

Um nun die Bestimmung von c^2 auszuführen, wissen wir, daß der Druck der Atmosphäre auf den Quadratmeter gleich 10334,5 kg. ist. — Ein Kubikmeter Luft bei 0° C. und dem Druck von einer Atmosphäre wiegt 1,2932 kg. Das Volum v von einem Kilogramm Luft ist bei 0° und einer Atmosphäre $= \frac{1}{1,2932}$ cbm $= 0,77328$ cbm, $g = 9,80896$ m. Wenn nun ρ das spezifische Gewicht des Gases bezogen auf die Atmosphäre ist, so ist das Volum von einem Kilogramm des Gases bei $0^{\circ} = \frac{0,77328}{\rho}$ cbm und bei T° ist es:

$$v_T = \frac{0,77328}{\rho} \frac{T}{273}, \text{ setzt man diese Werthe in die Gleichung für } c^2, \text{ so erhält man:}$$

$$c^2 = 3,9,80896 \cdot 10334,5 \cdot 0,77328 \cdot \frac{T}{273 \rho} = \frac{1}{\rho} 235163 \frac{T}{273} \text{ und } c_T = 485 \text{ m } \sqrt{\frac{T}{273 \rho}}$$

Diese Gleichung kann auf eine bequeme Form gebracht werden, wenn man für ρ setzt $\frac{M}{28,94}$, wo M das Moleculargewicht bedeutet; es wird dann $c_T = 2609 M \sqrt{\frac{T}{273 M}}$ bei 0° C. ($T = 273$) erhält man für $O = 461$ m, $N = 492$ m, $H = 1844$ m.

6° Absorption.

Da die Gastheilchen der Atmosphäre nicht allein als freie Molecule sich in die Pflanze bewegen durch Oeffnungen, die in der Oberfläche derselben bestehen, sondern auch die Außenwand da treffen, wo keine solche Oeffnungen sich vorfinden, so ist es wichtig, auch die Absorptionsercheinungen von Gasen in Flüssigkeiten zu betrachten. Auch wenn die Gase in Wasser gelöst sind, bewegen sie sich noch und dunsten an der Oberfläche des Wassers, den freien Gaszustand annehmend, ab. Dabei bewegen sie sich, aber

Die Fläche des zweiten Gefäßes war 7857 Quadratmillimeter und diese verdunstete nach zwei Tagen 10,5 cc, während das andere Gefäß und die Blattflächen zusammen 20 cc abgaben. Daraus berechnet sich die Verdunstung für die Wasserfläche des Gefäßes, in welchem das Blatt stand, zu $\frac{10,5}{7857} \text{ cc} \cdot 3840 = 5,131$ und diejenige des Blattes zu 14,869. Das Verhältniß der verdunstenden Mengen aus der Einheit der Wasser und der Einheit der Blattfläche wie 1 : 0,0575.

g) Verdunstung einer Membran bezogen auf gleiche Wasserfläche.

Die Wassertheilchen werden von den Membranthteilen festgehalten durch ähnliche, aber jedenfalls größere Molecularkräfte wie diejenigen, welche von Wassertheilchen zu Wassertheilchen wirken.

Die Verdunstung wird diesen Kräften umgekehrt proportional sein. Man wird eine annähernde Vorstellung von dem Verhältniß dieser Kräfte erhalten, wenn man die verdunsteten Wassermengen zweier gleicher Flächen vergleicht, welche unter gleichem Druck und gleicher Temperatur stehen, von welchen die eine eine freie, während die andere eine durch eine Membran verschlossene Wasserfläche ist. Ich wandte zwei möglichst gleichweite Röhren von der Gestalt *A*, Fig. 209, an, welche bis zum Rand mit Wasser gefüllt wurden. Das eine Gefäß wurde durch die Epidermis von *Hæmanthus* verschlossen, das andere blieb offen.

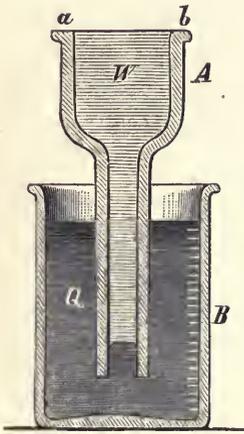


FIG. 209.

Die Spiegel beider wurden nun auf das Niveau der Mündung *a b* gebracht durch Einfenken in das Quecksilber des Gefäßes *B* und dort durch jeweiliges Tieferfenken erhalten.

mit verschiedenen Geschwindigkeiten. Sie müssen sich deshalb auch in der Pflanze, da wo diese aus wässerigen Lösungen besteht, verschieden schnell bewegen. Am besten kann man dieß experimentell nachweisen, wenn man an einem kleinen Gafometer ein Mundstück ansetzt, mittelst dessen man Seifenblasen anfertigen kann, welche das Gas des Gafometers aufnehmen.

Füllt man ein bestimmtes Volum unter gleichem Druck und bei gleicher Temperatur mit *H* und dann *CO*² in die Blase, so beobachtet man, daß die *CO*²-Blase rasch zusammen sinkt; die Wasserstoffblase aber dehnt sich aus und platzt schließlich. Diese Erscheinung kann nur so gedeutet werden. Die Seifenblase ist eine Zelle mit allseitig geschlossener gespannter Wassermembran. Ist sie mit *CO*² gefüllt, so entweicht ihr Inhalt rascher in die Atmosphäre, als diese durch die Membran eindringt. Ist sie dagegen mit *H* gefüllt, so dringt die Atmosphäre umgekehrt rascher ein, als der Wasserstoff entweicht. Es diffundirt also durch wässerige Zellenwände die *CO*² rascher. Dieß rührt aber offen-

Von dem Beginne bis zum Ende der Verfuhszeit wurde die durch das Einfenken verdrängte Queckfilbermasse durch Marken an dem Gefäß *B* gemessen; sie entspricht der verdunsteten Wassermenge dem Volum nach, mit Berücksichtigung der durch das Glasrohr verdrängten Queckfilbermasse.

Die Dauer der Verfuhszeit war 90 Stunden, die Wassermenge, welche aus dem freien Gefäß verdunstete, betrug 3,2 ccm, diejenige aus der Membran 0,4 ccm.

Die von einer Membran begrenzte Wasserfläche verhält sich also näherungsweise so, wie wenn sie von 32 Flächenelementen, deren 28 von einer für Wasserdampf undurchdringlichen Wand bedeckt wären, während nur vier derselben wie eine freie Wasserfläche verdunsten, Fig. 210.



FIG. 210.

h) Verdunstung gleicher Flächen der Innen- und Außenseite¹⁾.

An zwei gleichen U-förmigen Röhren wird auf die Mündung die Epidermis von *Hæmanthus* so befestigt, daß an der einen Röhre die

¹⁾ N. J. C. MÜLLER, PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. — Derselbe, Bot. Unterf. C. Winter. Heidelberg. Bd. I. S. 541. — Unterf. über den Widerstand, den die Hautgebilde der Verdunstung entgegensetzen. Von Dr. L. JUST. — COHN, Beitr. Heft 3. S. 11. Breslau, 1875. J. U. Kern's Verlag.

bar in unferem Falle daher, daß die CO_2 in Wasser löslicher ist, wie der Wasserstoff. Die Geschwindigkeit der Diffusion ist also eine Folge der Verdunstung an der äußeren Fläche der Wasserfchicht, welche die Seifenblase bildet, und der Löslichkeit in der Wasser-membran. Da mehr CO_2 -Theilchen in der gegebenen Wassermasse gelöst sind, als *H*-Theilchen, können auch mehr in die Atmosphäre abdunsten. Diejenige Menge Gases (bei 0° C. und 760 mm Druck gemessen), welche in der Maßeinheit Wassers sich löst bei *p* und *p* mm Druck, ist der Absorptionscoefficient des Gases für Wasser. Derselbe ist abhängig von der Temperatur *t*, wird im Allgemeinen mit dem Wachsen von *t* kleiner und mit dem Wachsen von *p* größer.

Die absorbirte Gasmenge in einem gegebenen Flüssigkeitsvolum *b* kann dann immer für alle Drucke berechnet werden, wenn *a* der Absorptionscoefficient für die betreffende Temperatur *t* bekannt ist. Ist *p* der Druck, so ist das Volum absorbirten Gases

$$\frac{v p}{0,76} = \frac{v_1 p^1}{0,76}$$

Ist z. B. in einem Gefäß *b* eine gegebene Flüssigkeitsmenge, *v* das Gasvolum in dem Moment, wo die Flüssigkeit mit demselben in Berührung kommt, *p* der Druck, der auf dem Gas lastet, so wird nach einiger Zeit *p* sinken, das neue Volum *v* steht aber noch unter demselben Druck. Die absorbirte Gasmenge ist also $\left(\frac{v - v'}{760}\right) P$.

Ist *P* hierin = 760, nun so wird $\frac{P}{760}$ zur Einheit, d. h. aus dem absorbirten Gas-

Exine nach dem Recipienten *G*, Fig. 211, während an der anderen die Intine verdunstet, die *U*-Röhren werden mit Wasser gefüllt. An dem an-

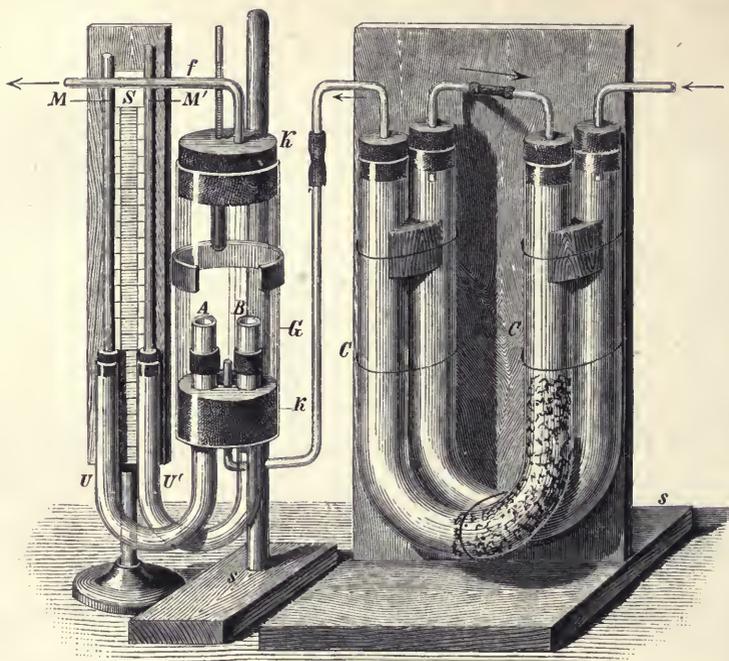


FIG. 211. Apparat um den Nachweis zu führen, daß die Epidermis stärker nach der Intine wie nach der Exine verdunstet.

deren Schenkel derselben wird die in gleicher Zeit und bei gleicher Temperatur verdunstete Wassermenge abgelesen. Der Unterschied der ver-

volum kann direct der Abfptionscoëfficient gefunden werden, wenn $v - v'$, und h in cc angegeben sind. Ist P aber größer wie 760, so ist auch a größer, ist P kleiner, so wird auch a kleiner.

Bei der Bestimmung der Abfptionscoëfficienten wird allgemein so verfahren. Ist v das Volum Gas vor der Abforption unter dem Druck $760 - p$, h in cc das Volum Flüssigkeit, v' das Volum Gas nach der Abforption durch h unter dem Druck p' , so ist:

$$a = \frac{v \cdot 760 - p}{760} - \frac{v', 760 - p'}{760}$$

$$760 - p = P$$

$$760 - p' = P' \text{ gesetzt, so ist } a = \frac{v^P - v', P'}{760} \cdot \frac{1}{h}.$$

Es ist klar, daß a unabhängig von dem Drucke ist. Ist dagegen ein bestimmtes Flüssigkeitsvolum h gegeben, so findet man die darin gelöste Menge von einem bestimmten Gas abhängig vom Druck; es ist diese Menge $g = \frac{a \cdot h \cdot P}{760}$ abhängig von P , ist dieser größer, so ist auch g größer.

Sind in einem Volum v mehrere chemisch differente Gase enthalten, so werden von diesen in einem gegebenen Volume einer Flüssigkeit h verschiedene Mengen propor-

dunstenden Menge ergab sich, wenn die anfängliche Wassermenge in U U' gleich 100 gesetzt wird, für die Intine auf etwa 7 0/0, für die Exine 5 0/0.

i) Erguß von tropfbarem Wasser in die Intercellularen des Blattes.

Bei den Keimpflanzen der Gräser in später Keimphase, bei den Aroideen kommt es zum Erguß tropfbaren Wassers in die Intercellularräume. Zwei Vorgänge müssen hier unterschieden werden:

1° Bei den Gräsern und kleinen einjährigen Pflanzen, welche stark bestrahlt waren, tritt bei plötzlicher Abkühlung, nachdem die Bestrahlung bei Sonnenuntergang aufhört, eine Contraction der erwärmt gewesenen Gewebe ein und es wird eine kleine Menge tropfbaren Wassers an der Blattspitze abgeschieden. Ein Tröpfchen haftet und wächst dort eine Zeit lang. Der Erguß ist rasch sistirt.

2° Bei den Colocafien kommt es zu einer lang andauernden Auscheidung von Wasser in bestimmter Phase der Entwicklung. An der Blattspitze sind dort mehrere sehr große Spalten Fig. 212, welche sich nicht schließen

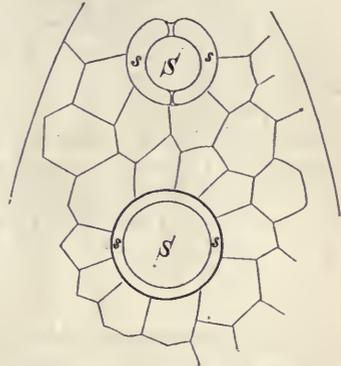


FIG. 212. 2 große Spalten mit stabilen Schließzellen in der Spitze des Colocafienblattes.

tional dem Druck, welchen sie einzeln ausüben, gelöst. Sind in dem Gesamtvolum v , cc des einen Gases, v'' , cc eines zweiten, v''' , cc » dritten, und stehen alle unter dem Drucke $760 - P = P'$, so ist der Partialdruck jedes einzelnen Gases

$$\frac{v'}{v} P, ; \frac{v''}{v} P, ; \frac{v'''}{v} P,$$

und die absorbirten Mengen sind abhängig von α' α'' α''' , ferner von h und diesen Drucken; sie sind g' g'' g''' ,

$$g' = h \alpha' \frac{v'}{v} \frac{P'}{760}$$

$$g'' = h \alpha'' \frac{v''}{v} \frac{P'}{760}$$

$$g''' = h \alpha''' \frac{v'''}{v} \frac{P'}{760}$$

und hängen von dem Gesamtdruck $\frac{P'}{760}$ ab, wenn sie gemessen werden sollen.

Um also g zu berechnen, braucht man nur α aus den BUNSEN'schen Tafeln für die entsprechende Temperatur zu nehmen.

können. Die beiden Schließzellen sind nämlich zu 2 halbringförmigen Zellen herangewachsen, welche einen großen kreisförmigen Spalt dauernd umgrenzen (Fig. 212). Durch diesen tropft das Wasser bei günstigen Temperaturbedingungen während vieler Tage ab. Die Bahn, welche das Wasser nimmt, geht von dem äußersten Nervenende, welches nur wenige Millimeter von den stabilen Spalten liegt, durch die Intercellularräume nach den besprochenen Ausflußstellen. Bei den Colocacien tritt das Wasser nur aus der Spitze.

Wir behandeln hier nun noch einen Fall, welcher bei dem Austausch von Gasen eintritt, welche von Wasserpflanzen nach dem Wasser ausgeschieden werden.

Es sei v_c ein gegebenes Volum Wasser, in welchem ein bestimmtes Volum CO_2 gelöst sei. v_o ist eine, gleichgültig wie in den Apparat gebrachte Blase von O , der sich mit der CO_2 im Wasser in Austausch setzt. Das Ganze steht unter dem Drucke P .

Nach einiger Zeit wird v_o nach oben gewandert sein, und in dem Raum der Blase befindet sich nicht mehr reiner O , sondern ein Gemisch von CO_2 und O . Der Partialdruck dieses Gemisches ist, wenn wir mit $v_o - \chi_o$ den nicht absorbirten Antheil von O , $v_c - \chi_c$ den absorbirten Antheil von CO_2 bezeichnen, mit $\chi_o \chi_c$ die absorbirten Antheile, und dabei annehmen, die beiden Gasvoluma v_o und v_c seien zuerst unter dem Drucke P über dem gasleeren Wasser befindlich:

$$P \cdot \frac{v_o - \chi_o + v_c - \chi_c}{v_o + v_c}.$$

Der Partialdruck des nicht absorbirten O und des nicht absorbirten CO_2 , sind dann

$$P \cdot \frac{v_o - \chi_o + v_c - \chi_c}{v_o + v_c} \cdot \frac{v_o - \chi_o}{v_o - \chi_o + v_c - \chi_c} =$$

$$P \frac{v_o - \chi_o}{v_o + v_c} \quad \text{und} \quad = P \frac{v_c - \chi_c}{v_o + v_c}$$

für den Sauerstoff für die Kohlenäure.

Die absorbirten Voluma $\chi_o \chi_c$ sind abhängig von $a_o a_c v$

$$\chi_o = P a_o v \frac{v_o}{v_o + v_c} \quad \chi_c = P a_c v \frac{v_c}{v_o + v_c}$$

für den Sauerstoff, für die Kohlenäure.

Der Partialdruck des nicht absorbirten Sauerstoffes, bezogen auf das ursprünglich nicht absorbierte Gemisch von Kohlenäure und Sauerstoff, ist dann

$$P \cdot \frac{v_o - \chi_o}{v_o + v_c - \chi_o - \chi_c} \cdot \frac{v_o - \chi_o + v_c - \chi_c}{v_o + v_c}$$

Hierin ist der erste Bruch der Partialdruck des nicht absorbirten Sauerstoffes, bezogen auf denjenigen des nicht absorbirten Gemisches von Sauerstoff und Kohlenäure.

Der zweite ist der Partialdruck des nicht absorbirten Gesamtmisches, bezogen auf den Druck der Gesamtmischmasse $v_o + v_c$.

Der Partialdruck des Sauerstoffes, welcher sich über dem Wasservolum v nicht absorbiert vorfindet, ist proportional dem Partialdruck, bezogen auf das nicht absorbierte Gemisch (von Kohlenäure und Sauerstoff) und proportional dem Partialdruck des nicht absorbirten Gemisches von O und CO_2 , bezogen auf das ursprüngliche Gesamtvolum der Gase, die über dem gasleeren Wasser gedacht wurden. Ebenso findet man den Partialdruck der nicht absorbirten CO_2 über dem Wasser und daraus die Voluma.

Hieraus läßt sich leicht einsehen, daß jedes Gas von kleinerem Absorptionscoefficienten für Wasser, bei dem Eintritt in Wasser, welches mit einem löslicheren Gase gesättigt ist, dieses letztere dislocirt, von den Wassertheilchen frei macht.

Die Rebe läßt im Versuch aus der Spitze jedes Blatzzahnes Wasser tropfen, wenn man in einen Sproß, unter dem Druck von 200 bis 300 mm Quecksilber, Wasser einpreßt.

3. Bedeutung der Intercellarräume bei der Secretion¹⁾.

Harze, ätherische Oele, Gemenge dieser beiden in Wasser unlöslichen oder wenig löslichen Körper, Gummiharze, Gemenge von in Wasser quellender oder löslicher Schleimmasse mit jenen unlöslichen Körpern, endlich Schleime werden in den Geweben der Blätter und Rinden gebildet und gelegentlich oder streng gesetzmäßig in bestimmte Intercellarräume, welche vom Blatt nach dem Zweig bis zum Stamm communiciren, abgefchieden.

a) Erstes Auftreten der Secrete²⁾.

Beachtenswerth hierbei ist bei den genauer untersuchten Pflanzen, daß solche Secrete in allen Theilen, Organen, mehr oder weniger reichlich diffus verbreitet, in kleinen Mengen im Zellinhalte vertheilt, erst an bestimmten Orten zum Erguß in die Intercellularen gelangen.

b) Translocation der Secrete.

Die genannten Körper bewegen sich im Allgemeinen im Querschnitt nach außen, so daß in den peripheren Schichten eine größere Menge angeammelt wird, wie in dem Inneren. Vor allen anderen Geweben ist es die Rinde, in welcher die Secrete wandern.

Fig. 213: ein schematischer Querschnitt der Rinde von *Rhus viminalis*, *c* die Cambiumregion, *b* die Region der harzführenden Gänge. Alle punktirten Orte stellen secretführende Zellen dar. Die Größe

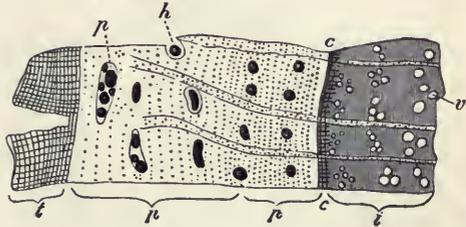


FIG. 213. *Rhus viminalis*. Querschnitt durch Holz und Rinde mit Carmin imbibirt, um die Vertheilung von Harz und Harzgängen zu zeigen. *b* Harzgang, *v* Gefäße, *k* Kork, *p* Rinde, *c* Cambium, *i* Holz.

der Harzgänge wächst nach dem Periderm zu. Die Anzahl der harzführenden Zellen aber wird in derselben Richtung kleiner.

¹⁾ A. WIGAND, Ueber die Desorganisation der Pflanzenzelle, insbesondere über die physiologische Bedeutung von Gummi und Harz. PRINGSH. Jahrb. Bd. III. S. 115. 1863. — N. J. C. MÜLLER, Untersuchungen über die Vertheilung der Harze, ätherischen Oele, Gummi und Gummiharze, und die Stellung der Secretionsbehälter im Pflanzenkörper. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — Prof. J. HANSTEIN, Ueber die Organe der Harz- und Schleimabsonderung in den Laubknospen. 697. 721. 45. 69. Bot. Ztg. 68.

²⁾ Studienmaterial: Wurzeln, Stamm und Früchte der Umbelliferen, Araliaceen, Tiliaceen, Terebinthaceen, Compositen (Cynareen u. a.), Abietineen, Cycadeen.

c) Erguß in die Interzellularräume.

In der Nähe der Harzgänge, deren anfänglicher Zustand durch Fig. 214, p_{II} , p_{III} u. f. f. dargestellt ist, häuft sich das Secret in den Grenzzellen des

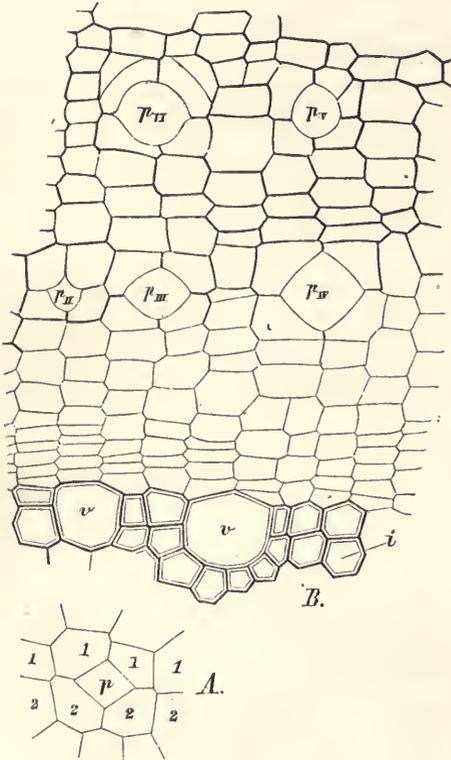


FIG. 214. A. Schema des Harzganges. B. *Cussonia spicata*. Querschnittsparthie der Rinde. p die harzföhrnden Interzellularräume. Die 4 Grenzzellen meist ungetheilt in p_{II} und p_{IV} mit tangential und radial gestellten Wänden.

Canales p an und wird endlich durch die Membranen dieser in den Canal abgeschieden. Bei den Coniferen, Cycadeen, Araliaceen theilen sich die Grenzzellen durch bezogen auf den Canal in radial und tangential gestellte Wände. Es entstehen concentrische Zellengruppen, Fig. 215, AB , welche von der Randparthie in centrifugaler Richtung fortschreitend, sich auflockern und im Secret des Harzganges selbst reforbirt werden. Auf diese Weise nimmt der Harzgang an GröÙe zu und wird oft zu einem mehrere Millimeter breiten Canal. (Man vergleiche die zwar kleineren Secretionsgänge der Umbelliferen und Cycadeen, Fig. 215, AB). Von der cambialen Zone Fig. 214 ab entstehen, wie leichterfichtlich, die Interzellularen dieser Art in demselben Sinne, wie die Gewebeelemente der Rinde in centripetaler Richtung, bezogen auf das Stammcentrum. Bei den Cussonien kommen endlich noch spaltenförmige Harzgänge vor, welche mit ihrer Axe transversal gestellt, jene längsverlaufenden p , Fig. 214, verbinden. Sie entstehen durch Auseinanderweichen der zwei Lamellen einer Membranplatte und haben die Gestalt des Linsencylinders.

d) Stellung der Secretionsorgane.

Man kann bei den Coniferen, Cycadeen, Umbelliferen und Compositen eine deutliche Abhängigkeit in der Stellung der Harzgänge der Rinde von derjenigen der sogenannten primären Fibrovafalmassen nachweisen.

Auch in jungen Compositen-Wurzeln, vergl. *Artemisia vulgaris*, Fig. 216, stehen die ersten Canäle den primären Gefäßbündeln gegenüber. Zu jedem primären Gefäßbündel gehört im Querschnitt ein Harzgang.

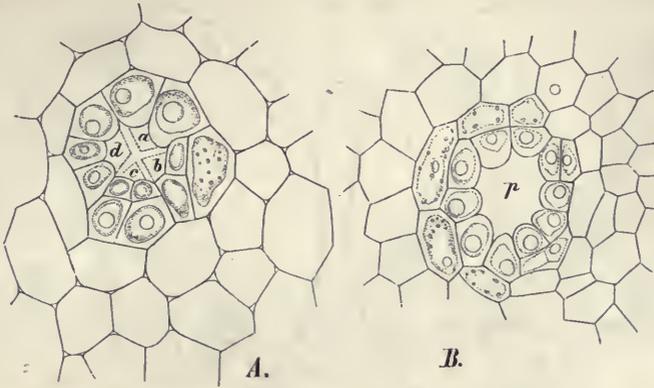


FIG. 215. *Cycas revoluta*. A. Secretionscanal, ursprünglich aus 4 Zellen entstanden *a b c d*. Jede derselben mehrmals geteilt. B. Eben solcher Canal *p* mit der Zone der secretirenden Grenzzenellen.

Der *Archangelica officinalis* fehlen die kleinen Gänge α , β , γ , Fig. 217, welche der *Imperatoria* eigen sind. In der secundären Rinde (Fig. 217, *A B* in *I II III* u. s. f. dargestellt) stehen die in centripetaler Folge entstandenen Gänge genau den Auszweigungen der Holzstrahlen gegenüber. Das Gabelsystem dieser letzteren in unseren Figuren schematisch dargestellt, ist das Spiegelbild eines eben solchen, welches erhalten würde, wenn man die Harzgänge durch gerade Linien verbindet.

Bei der Fichte fehlener, ganz gefetzmäßig bei den Kiefern, finden sich auch im secundären Holzzuwachs in jedem Jahrringe kleine Harzkanäle.

Nach der Lage in den verschiedenen Geweben kann man fomit unterscheiden:

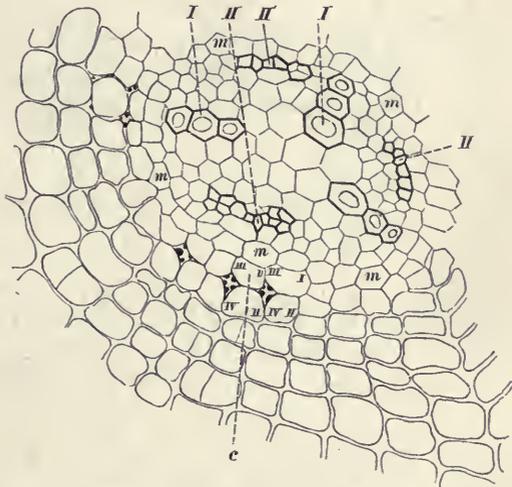


FIG. 216. *Artemisia vulgaris*. Querschnitt einer jungen Wurzel, *I* primäre zuerst, *II* eben solche später entstehende Fibrovaskalmassen, denselben gegenüber Gruppen von foben entstehenden Harzgängen in *I II III IV*.

- 1^o Primäre Harzgänge der primären Rinde, welche vor der Thätigkeit des Cambium-Cylinders entstanden sind.
- 2^o Secundäre Gänge der secundären Rinde.

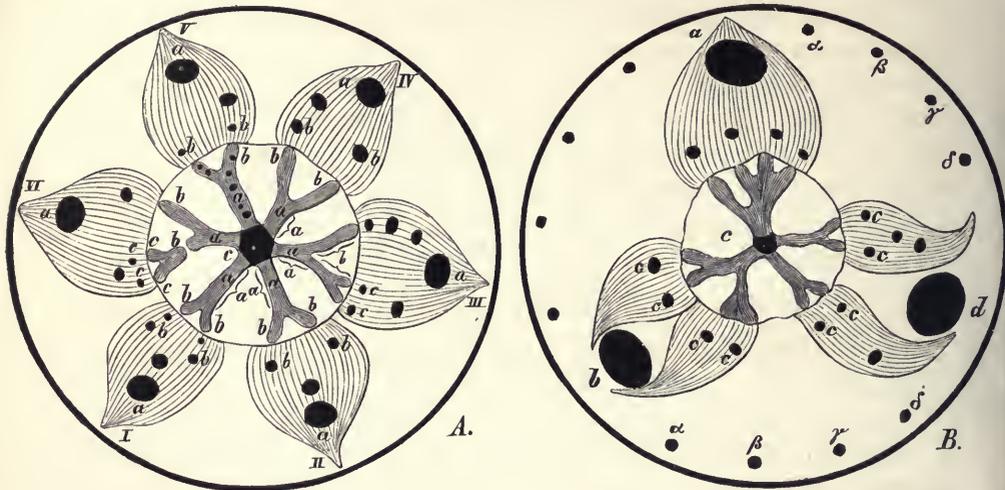


FIG. 217. *A.* *Angelica officinalis*. Querschnitt der Wurzel. Das vom Centrum ausgehende Strahlenfytem stellt die Gefäßbündel des Holzkörpers dar. Die Parcellen *I II . . .* die primäre Rinde und die dunkeln Punkte stellen die Secretionsbehälter dar. *B.* *Imperatoria ostrutum*. Querschnitt durch die Wurzel: secundäre Secretionscanäle in α , β , γ , und in *b* und *d*.

- 3^o Secundäre Gänge im Jahrring.
- 4^o Querverlaufende Anastomosen aller vorhergehenden.
- 5^o Harzgänge im Blatt der Coniferen, im Carpell der Umbelliferen (*vittae*) u. f. f.



Sechste Abtheilung: Ursachen der Richtungs- und Lageänderung.

Die Pflanzen haben sich entsprechend ihrer verschiedenen Lebensweise in mannigfacher Weise angepaßt an die beiden, von außen einwirkenden Bewegungsursachen, Gravitation und Licht.

Wiewohl Licht, strahlende Wärme und die Gravitation der Erde formbedingend und richtend wirken in dem Sinne, daß, wenn die Wirkung der genannten Agentien der Intensität nach geändert wird, auch die sich entwickelnde Form eine gewisse Aenderung erfährt, so haben doch die ver-

schiedenen Rassen durch Anpassung ganz bestimmte und sehr verschiedene Lagen und Formen erblich angenommen, welche sie auch stetig wieder vererben.

Gewisse niedere Moose kriechen parallel der Erdoberfläche, andere bilden Rasen von aufrechten Stämmchen. Verschiedene Pflanzen ganz naher Verwandtschaft bilden horizontalstehende Rhizome oder aufrechtstehende Bäume. Einige besiedeln feste lothrechtstehende Stützen, andere nicht, und f. f. Gleichwohl sind die Gravitation und die Strahlung die endlichen Ursachen aller solcher Formzüge.

§ 26. Vererbliche Habituszüge durch Anpassung der Organe an bestimmte Lagen zur Lothlinie und den einfallenden Lichtstrahl.

Bei derselben Intensität der Bestrahlung und selbstredend bei derselben Intensität der Gravitation finden sich an einem kleinen Orte der Erdoberfläche alle möglichen Formen und Lagen. So entstehen Habituszüge, wie sie äußerst charakteristisch in den rankenden Epheu, Kürbis, Bryonia, in den kriechenden Jungermannien, an den Baumstämmen, in den hängenden jungen Sprossen des Mohn, des *Sedum reflexum*, in den gekämmten Abietenzweigen und Blättern, in den hängenden Zweigen der Trauerbäume (*Salix*, *Fagus*, *Quercus*, *Fraxinus*), in den streng in die Lothlinie orientirten Stämmen der Getreidefelder und f. f. uns entgegnetreten.

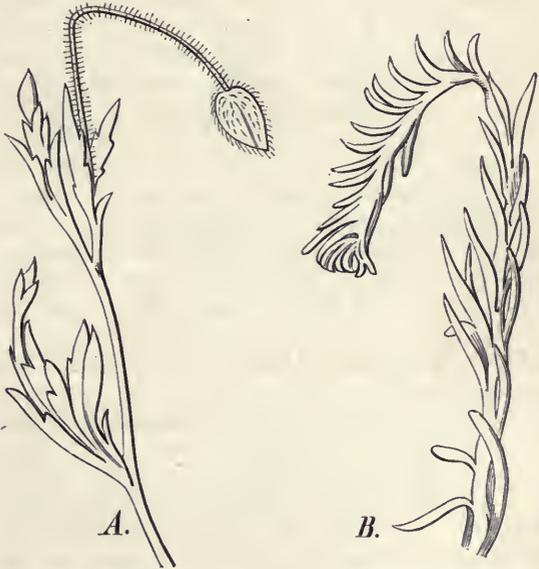


FIG. 218. A. *Papaver Rhoëas*. B. *Sedum reflexum*. Beide Pflanzen krümmen ihre Spitzen vor dem Aufblühen und heben sie während der Blüthezeit.

Verwandte derselben

Gattung (*Salix*) können stattliche Bäume und wenige Centimeter hohe kriechende Zwergsträucher bilden, sie können ihre Zweigspitzen gegen die Richtung der Schwere oder gleichsinnig mit ihr orientiren.

In einer und derselben Race können hängende und aufrechte Zweigtheile auftreten, Fig. 218.

A. Gravitation¹⁾.

Wir stellen an die Spitze der hier folgenden Schilderung diesen Satz: Ein jedes Molecul der in die Pflanze einkehrenden Baustoffe unterliegt der Einwirkung der Schwere. Es wird aber offenbar durch dieselbe Verschiebungen erfahren, welche verschwindend klein sind gegenüber denjenigen, welche es durch die Zug- und Druckkräfte in der Pflanze erfährt. Die molecularen Wirkungen: Adhäsion in mikroskopisch kleinen Capillarräumen, Cohäsion in der festen Zellhaut, Zug- und Quellungsdruck in der wachsenden Membran, Transpiration durch geschlossene Membranen, capillare Strömung und f. f. bringen Verschiebungen zu Stande oder halten

¹⁾ Dr. TH. HARTIG, Ueber das Eindringen der Wurzeln in den Boden. 49. Bot. Ztg. 66. — B. FRANK, Ueber HOFMEISTER's Einwendungen gegen meine Lehre vom Geotropismus. 561. 77. 93. 609. Ueber die Einwirkung der Gravitation auf das Wachstum einiger Pflanzentheile. 873. Bot. Ztg. 68. — W. HOFMEISTER, Ueber die Abwärtskrümmung der Spitzen wachsender Wurzeln. 257. 73. Bot. Ztg. 68. — Dr. JUL. WIESNER, Beobachtung über den Einfluß der Erdschwere auf Größen- und Formverhältnisse der Blätter. A. d. Sitzsber. d. k. Acad. d. Wissensch. 1868. — W. HOFMEISTER, Ueber passive und active Abwärtskrümmung von Wurzeln. 33. 49. 73. 89. Bot. Ztg. 69. — Dr. A. B. FRANK, Die natürliche wagerechte Richtung von Pflanzentheilen und ihre Abhängigkeit vom Lichte und von der Gravitation. Leipzig. Herm. Weißbach. 1870. — N. SPESCHNEFF, Zur Frage der Abwärtskrümmung von Wurzeln. 65. Bot. Ztg. 70. — J. SACHS, Studien über das Längenwachstum der Wurzeln. 320. Bot. Ztg. 72. — Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel von Dr. THEOPHIL CIESIELSKI. — COHN, Beitr. Heft 2. S. 1. Breslau 1872. J. U. Kern. Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch feuchte Körper. — JUL. SACHS, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg. Heft 2. Leipzig 1872. W. Engelmann. Längenwachstum der Ober- und Unterseite horizontal gelegter, sich aufwärts krümmender Sprosse. Heft 2. Leipzig 1872. W. Engelmann. — HUGO DE VRIES, Ueber einige Urfachen der Richtung bilateral-symmetrischer Pflanzentheile. — JUL. SACHS, Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg. Heft 2. Leipzig 1872. W. Engelmann. — Studien über Symmetrie und spezifische Wachstumsurfachen von Dr. W. PFEFFER. — SACHS, Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg. Heft I. Leipzig 1871. W. Engelmann. — Ueber die Lage und die Richtung schwimmender und submerger Pflanzentheile. Von Dr. A. B. FRANK. — COHN, Beitr. Heft 2. S. 31. Breslau 1872. J. U. Kern's Verlag. — A. B. FRANK, Zur Frage über den Transversalgeotropismus und Heliotropismus. 17. 33. 49. Bot. Ztg. 73. — Ueber die Dehnbarkeit wachsender Sprosse von Dr. HUGO DE VRIES. — JUL. SACHS, Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg. Leipzig 1874. Engelmann's Verlag. — Dr. GEORG WINTER, Heliotropismus bei *Peziza Fuckeliana*. Bot. Ztg. 74. — HOFMEISTER, Ueber die durch die Schwerkraft bestimmten Richtungen von Pflanzentheilen. PRINGSHEIM's Jahrb. Bd. III. S. 77. — THEOPHIL CIESIELSKI, Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel. Breslau. Robert Nischkowsky. Dr. A. B. FRANK, Ueber den Einfluß des Lichtes auf den bilateralen Bau der symmetrischen Zweige der *Thuja occidentalis*. PRINGSHEIM's Jahrb. Bd. IX. S. 147.

das Theilchen vorübergehend oder dauernd in so stabiler Lage, daß die Zugkraft der Schwere hiegegen verschwindet.

Gleichwohl muß das Aggregat jedes Organismus von der Gravitation abhängen, da Zug- und Druckfestigkeit aller Organe von dem Aggregat abhängig sind und jedenfalls in letzter Linie von der Größe der Gravitation beeinflußt werden.

1. Knight's Experiment.

KNIGHT¹⁾ war der Erste, welcher experimentell nachwies, daß die Orientirung wachsender Pflanzen in die Richtung der Lothlinie eine Wirkung der Schwerkraft ist. Er ließ keimende Pflanzen auf einem rotirenden Mühlenrade wachsen. Die Wurzeln orientirten sich so, daß ihre Spitzen in centrifugaler Richtung nach außen, die Stämme aber so, daß sie in centripetaler Richtung nach dem Rotationscentrum wuchsen. Da dieß dieselben Richtungen sind, welche die Pflanzen, gleichgültig wie bei der Ausfaat jene Keimtheile lagen, endlich unter dem Einfluß der Schwere einnehmen, so war durch dieß Differenzexperiment, in welchem mit Ausnahme der Zugkraft alle übrigen Bedingungen unverändert blieben, der gewünschte Nachweis geliefert.

Man bedient sich in pflanzenphysiologischen Instituten jetzt einfacher Rotationsapparate, welche durch sinkende Gewichte oder mittelst einer Turbine oder eines Elektromagneten getrieben werden. Eine Platte aus Schiefer wird auf die Rotationsaxe aufgeschraubt²⁾. Auf der Platte



FIG. 219. *Picea excelsa*. Keimling, der Stamm in der Spirale, die Wurzel in einer Wellenlinie gekrümmt.



FIG. 220. Schieferplatte mit wachsenden Erb- und Weizenkeimlingen nach dreitägiger Rotation um eine lothrechtstehende Axe A. 4-6 Umdrehungen in der Secunde. Radius der Scheibe gleich 6 cm.

¹⁾ *Philosophical Transactions*. London 1817.

²⁾ Die Centrifugalkraft auf einer solchen Scheibe ist

$$F = \frac{4 \pi^2}{g} \frac{R}{T^2}, \quad \text{die Const. } \frac{4 \pi^2}{g} = 4,024,$$

hierin R der Radius, T die Dauer einer Umdrehung. An unserer Maschine kann T beliebig bis zu zwanzig Umdrehungen in der Secunde gesteigert werden, indem man die Be-

find mehrere Korke mit Siegelack befestigt, an welche die Keimpflanzen in der ersten Keimphase mittelst Stecknadeln befestigt werden. Ein Uhrglas bedeckt die Platte, ein Gummiring hält das Uhrglas an der rotirenden Schieferplatte. Wie nun auch die Keimwürzelchen zu Beginn des Versuches zum Radius orientirt sein mögen, stets beugen sie sich so, daß sie nach einiger Zeit in centrifugaler Richtung weiter wachsen, Fig. 220, 221.

Wesentliche Resultate des Versuches:

1° die beugungsfähige Stelle der Wurzel liegt in der Nähe der Spitze und fällt in dasjenige Cylinderstückchen, welches den derzeitigen größten partialen Zuwachs besitzt (s. oben S. 180).

Die geotropische Krümmung äußert sich verschieden an Stamm und Wurzel. Am besten sieht man dieß an Fichtenkeimlingen, an welchen die Wurzel und das hypocotyle Glied bereits entwickelt sind: legt man solche der Länge nach in einen feuchten Raum, in dessen Boden indeß die Wurzeln nicht einzudringen vermögen, so beugen sich die Stämme nach oben, die Wurzeln nach unten, die ganze Pflanze verändert stetig ihre Lage, weil sie jeweilig, wenn ihr Schwerpunkt gehoben wird, umfällt. Der Stamm beschreift hierbei eine Schraubenlinie, die Wurzel nicht, Fig. 219.

Der rotirende Teller, Fig. 220, ist in Coordinaten getheilt, so daß man mit dem Cathetometerfernrohr die Lage der Keimtheile verfolgen und in Coordinatenpapier, Fig. 221, eintragen kann. In Fig. 221 sind einige

lastung am sinkenden Gewicht steigert. Bemerkenswerth ist aber, daß auch R für den gegebenen Pflanztheil während des Versuches veränderlich ist, da die wachsende Spitze der Wurzel sich vom Centrum entfernt, während die wachsende Stammspitze sich demselben nähert. Es mögen hier die Intensitäten abhängig von T und R angegeben sein innerhalb der Grenzen, welche für die Experimente von Belang waren:

Radius cm	Intensität $T = 0,1$ Sec.	Intensität $T = 0,2$ Sec.
1	4	1,006
1,5	6	1,509
2	8	2,012
2,5	10	2,515
3	12	3,018
3,5	14	3,521
4	16	4,024
4,5	18	4,5
5	20	5
6	24,14	6
7	28	7
8	32	8
9	36	9
10	40	10.

der Wurzeln in dieser Weise verzeichnet.

Verlängert man $r r$ bis zum Schnittpunkt, so erhält man das Centrum des Tellers; $p p$ ist die periphere Richtung, die in dem Quadrat verzeichneten Hilfslinien sind in mm getheilt.

Läßt man Wurzeln mit der Spitze aufrecht wachsen,

so beschreiben sie unter dem Einfluß der Schwere einen großen Bogen, Fig. 222 A. Stehen die Wurzeln aber horizontal, so ist die Krümmung ein kleiner Bogen, Fig. 222 B.

2^o die Beugung geschieht durch stärkere Streckung der in der convexen Seite belegenen Zellen. Dabei werden die Zellen der concaven Seite unter ihr Zuwachsmass zurückgehalten, während jene der convexen Seite thatfächlich über das gewöhnliche Maß im Wachstum gesteigert sind, Fig. 223.

Die Messung dieser Beugungsstelle geschah in der Weise, daß

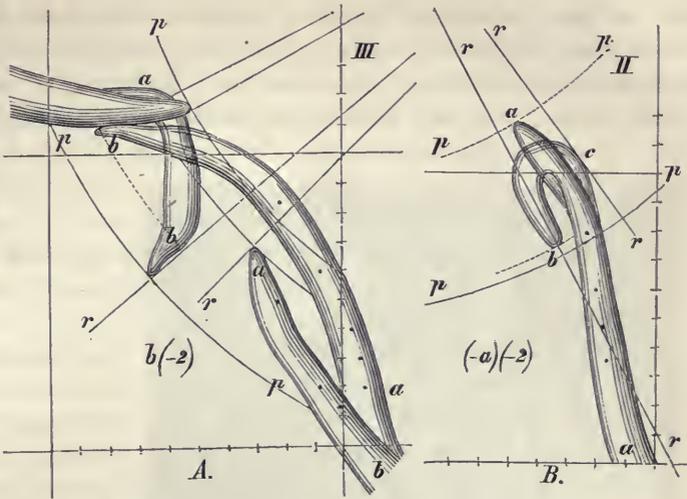


FIG. 221. Wurzelspitzen von Pisum und Vicia Faba auf einem rotirenden Teller wachsend. $r r$ die Radien, durch deren Verlängerung das Centrum des Tellers gefunden wird. a die Anfangslänge, b die Endlage der Wurzeln nach 2 Tagen. An jeder Wurzel sind mehrere schwarze Marken, welche von der Spitze her abgezählt werden können. In A sind zwei Wurzeln, eine ursprünglich fenkrecht, die andere nahezu parallel dem Radius aufgestellt. In B ist eine Wurzel nach innen gerichtet.

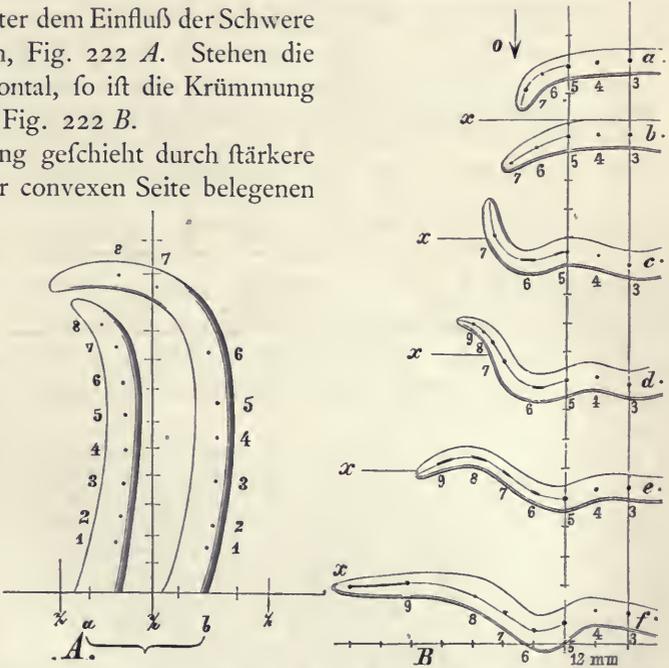


FIG. 222. A. Aufrecht stehende Wurzel der Vicia Faba. a Anfangs-, b Endlage (und Länge). B. Wurzeln des Pisum sativum, horizontal aufgestellt, so daß das freie Ende sich krümmen kann. Von Zeit zu Zeit wurde die Platte, auf welcher die Keimlinge befestigt waren, umgekehrt.

das in Frage kommende Stück an der Präparirlupe in Abschnitte zerlegt wurde, welche $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ mm groß waren, sodann wurden diese in mikroskopische Durchschnitte zerlegt und die Zellenanzahl in beiden Seiten bestimmt und in die vergrößerte Figur eingetragen.

3^o die Wachstumsintensität in Richtung der Zugkraft an der Rotationsmaschine wird entsprechend der Intensität vergrößert.

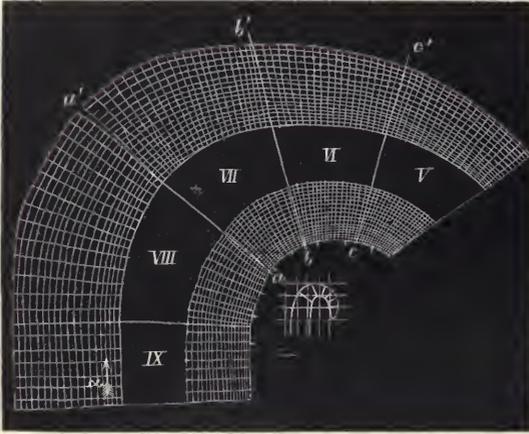


FIG. 223. Beugungstelle einer aufrecht stehenden Wurzel von *Vicia Faba* vergrößert, daneben in natürlicher Größe.

Säet man gleiche Erbsen-, Lupinen-, Getreidefamen, einen Theil unter dem Einfluß der Schwere, den andern unter dem Einfluß der Centrifugalkraft aus, so wachsen bei Gleichheit der Temperatur und der sonstigen Bedingungen die letztern entsprechend der größeren Intensität der Zugkraft rascher. Setzen wir die Zuwachsgröße der gewählten Wurzeln (*Vicia Faba*),

unter dem Einfluß der Gravitation gleich eins, und die Intensität der Schwere gleich eins, so verhalten sich die Zuwächse für gleiche Zeit und unter dem Einfluß der Centrifugalkraft an der Maschine, wie $\frac{2,46}{I}$, die Intensität der letzteren aber war in dem Versuch $\frac{12}{I}$ mal so groß wie die Intensität der Schwerkraft¹⁾, Fig. 224. Hierbei wurde so verfahren, daß gleichaltrige Ausfaaten während 36 Stunden in gleicher Temperatur keimten, die Hälfte der Keimlinge mit abwärts gerichteten Wurzeln an einer Coordinatentafel im feuchten Raum, die andere Hälfte unter gleichen sonstigen Bedingungen auf der rotirenden Scheibe.

2. Die Wurzeln heben eine Last. Experimente mit Quecksilber und Modellirthon.

Die Wurzel hat auf ihrer Bahn zwischen den Erdtrümmern oder in plastischer Thonmasse sehr bedeutende Widerstände zu überwinden. Sie büßt während dieses Wachstums merkwürdigerweise auch die Spannung ein, welche oben, § 24 S. 186, beim Stamme so auffällig war. Alle Gewebearten in ihr wachsen nahezu gleich rasch.

¹⁾ Die Intensität der Gravitation ist von den verschiedenen Planeten: Erde 1, Merkur 1,15, Venus 0,91, Mars 0,5, Jupiter 2,45, Saturn 1,09, Uranus 1,05.

Läßt man Keimwurzeln in der Weise in Quecksilber wachsen, wie Fig. 226 demonstirt, so wird die Spitze weit über den Zuwachsort in das Metall geschoben, bis durch die aufgelockerten Cylindertheile der Auftrieb den ganzen Cylinder in flachem Bogen nach oben krümmt.

Auch in lückenlofem Modellirthon kann man zeigen, daß die Spitze dieselbe Krümmung ausführt, welche in der Atmosphäre beschrieben wird, Fig. 225.

Läßt man endlich horizontalstehende Wurzeln auf den Hebelarm *n*, Fig. 227, wirken, welcher ähnlich einem Wagebalken bei seiner Abwärtsdrehung ein Gewicht an dem andern Hebelarm hebt, so beschreibe die Spitze die Bahn *a b c*, hebt dabei ein Gewicht, welches das 10- bis 20fache des hinzugewachsenen Stückchens betragen kann.

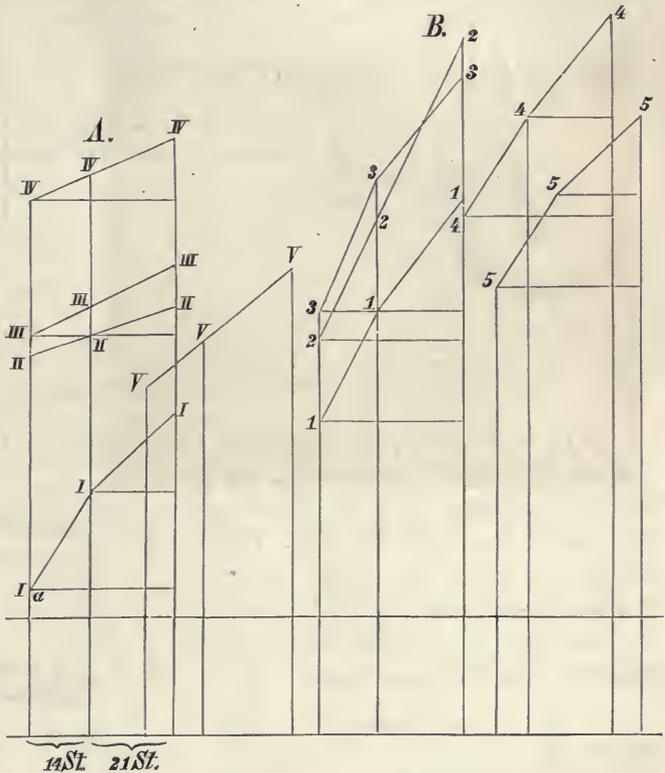


FIG. 224. A. Die Längen von 5 Wurzeln der *Vicia faba* mit lothrecht und abwärts wachsenden Spitzen als Function der Zeit. B. 5 ebenföliche auf der Rotationsmaschine. Zeitintervalle 14 und 21 Stunden. Millimeterkoordinaten. Rotation 10 Umdrehungen in der Secunde.

3. Blattentwicklung an geneigten Zweigen. Gewicht verschieden geneigter Blätter.

a) Horizontal stehende Zweige der Decussirten, *Acer*, *Aesculus*, aber auch der *Quercus* u. s. f. entwickeln alle abwärts geneigten Blätter größer, alle aufwärts stehenden schwächer. Dieß ist sehr wahrscheinlich eine complexe Wirkung der Gravitation und der Bestrahlung. Bei den Decussirten, wo die Mediane eines Wirtels das Loth aufnimmt, wird es ein Blatt mit dem Maximum und eines mit dem Minimum des Gewichtes geben, zwischen beiden liegt derjenige Wirtel, dessen Mediane senkrecht zum Lothe steht mit dem mittleren Gewicht. Bei den nach $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{8}$ beblätterten wird, da der Winkel

der Divergenz constant ist, in größeren Intervallen Maximum und Minimum herrschen¹⁾).

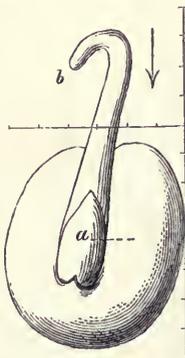


FIG. 225. Lageänderung der Wurzelspitze eines Erbsenkeimlings, welcher in Modellirthon fest eingeschlossen war, *a* Anfangs-, *b* Endlage.

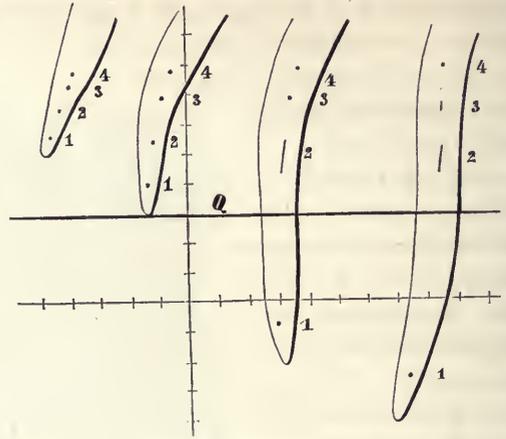


FIG. 226. *Vicia Faba*, die Wurzel in Quecksilber, *Q* dessen Spiegel.

b) Die Blattstiele vieler Blätter, des Epheu, der *Erythrina crista galli* u. a. m. sind negativ geotropisch wie die Stämme, sie beugen sich, bis die Axe aufrecht und im Loth steht, Fig. 227. Hierbei bewegt sich das genau auf der Unterseite stehende Blatt so, daß der Winkel zwischen der tragenden Axe *A*, Fig. 227, und dem Blattstiel möglichst klein wird.

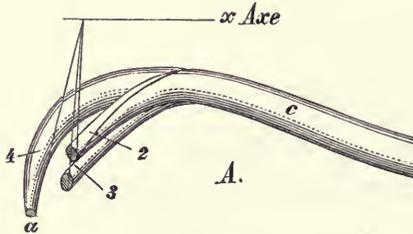
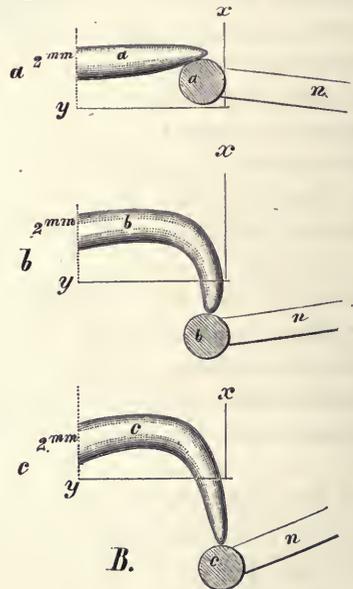


FIG. 227. *A*. Die horizontal aufgestellte Wurzel ist an einer Drahtschlinge befestigt und zerrt bei ihrer positiv geotropischen Krümmung eine elastische Drahtspirale. *B*. Die Wurzel drückt auf einen Hebelarm *n* und verschiebt diesen durch die Lagen *a b c*.



¹⁾ Nach WIESNER sind solche Gewichte:

0,15 · 0,3, 0,09 bei der Eiche,
0,7 · 3,51 oder 0,9, 2,26 bei *Aesculus*.

Es ist bei diesen Beobachtungen zu beachten, daß bei den Zweigen schon in der Evolution eine große Periode begründet ist, und daß complexe Erscheinungen aus der Lage und gegenseitigen Beschattung die vorliegenden Perioden zuweilen verdecken.

c) Drehung des Blattstiels um 180° . Bei den Trauerbäumen, Eiche, Buche, Esche ist die Blattknospe oft senkrecht erdwärts gerichtet. Die morphologische Unterseite der Blätter ist nach oben gekehrt. Bei der Entfaltung aber dreht sich der Blattstiel um 180° , so daß die morphologische Oberseite zenithwärts gekehrt wird.

Diese Erscheinung ist nach FRANK eine geotropische; stellt man die Zweige der Decussirten horizontal oder lothrecht, die Spitze nach unten in den Dunkelraum auf, so tritt dieselbe Axendrehung der Blattstiele ein.

Krümmt sich der Sproß in der ersten Stellung, Fig. 229, so ist dieß eine geotropische Erscheinung, bezeichnet der Pfeil die Richtung des einfallenden Lichtes, so fällt diese Krümmungsebene (zweite Figur) in die Einfallsebene. Die Beugung ist somit Folge zweier äußerer Wirkungen. Steht der Sproß aufrecht (dritte

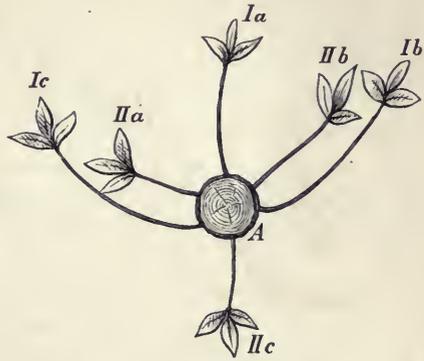


FIG. 228. Lage der dreigliedrigen Wirtel *Iabc IIabc* an einem horizontal stehenden Ast *A*. (*Erythrina crista galli*.)

Figur) und beugt sich gegen den Pfeil (vierte Figur), so kommt nur eine äußere Wirkung in Betracht, das Licht.

Bei der Linde stehen die Foliations Ebenen der Seitenachsen *aa*, Fig. 230, geneigt zum Horizont *HH'*. Während der Entfaltung der Knospen dreht sich der linke Sproß von links nach



FIG. 229. Lagenänderung eines Sprosses bei verkehrter und aufrechter Stellung, mit dem Pfeil fällt das Licht ein.

rechts, bis die Ebenen *A A'* parallel zu *HH'* stehen. Die Blätter *aa* u. f. f. öffnen sich und stellen ihre Flächen ebenfalls normal zur Lothlinie. Dreht man ein solches System so, daß die zenithwärts gelegene Seite *O* nach unten weist, so drehen sich alle Blätter, so daß sie ihre morphologische Oberseite nach oben kehren, sie beschreiben eine Bahn von 180° um den Blattstiel als Axe.

Die nach $1/2$ beblätterten Sprosse der *Convallaria multiflora* neigen an

der Spitze über und zwar so, daß die Krümmungsebene senkrecht steht zur Foliationssebene. Die Ebene der Infertion steht dann im Horizont.

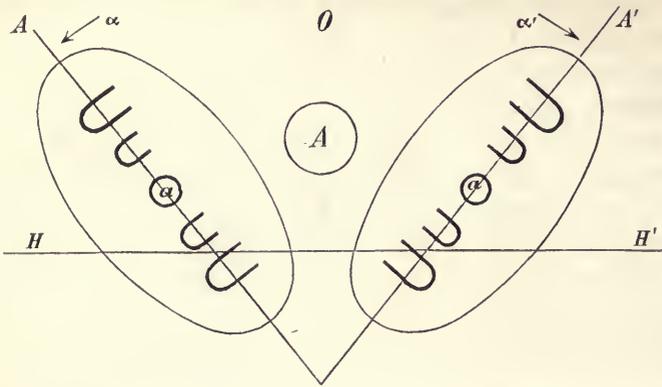


FIG. 230. Querschnittsprojektion eines horizontal stehenden Lindenzweiges *A* mit zwei Axillarsprossen *a a*.

fein. Die Rollung der Blätter, welche mit ihrer Infertionsfläche die Axe über ihren Kreisumfang umfassen, ist dann im gewissen Sinne von der Schwerkraft abhängig, wenn die Medianen der Laubblätter, welche sich soeben entwickeln, senkrecht zum Lothe stehen. Als dann wird nämlich der linke Rand eines Blattes nach abwärts, der rechte wird nach aufwärts wachsen. Der letztere ist dann immer um etwas gefördert und bedeckt den linken. Das gegebene Blatt ist von links nach rechts gerollt, ihre Mediane steht senkrecht zur Verbindungslinie *S C*.

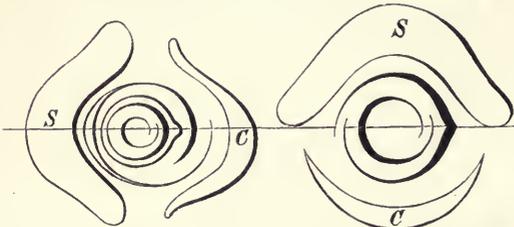


FIG. 231. Schema des Querschnittes durch einen Weizenkeimling. *S* Scutellum, *C* Cotyledon. In der linken Figur ist das jüngste und älteste Blatt so gerollt, daß der linke Rand vom rechten gedeckt wird. Die Mediane der Blätter fällt mit der Linie *S C* zusammen. In der rechten Figur sind beide Laubblätter von links nach rechts gerollt, ihre Mediane steht senkrecht zur Verbindungslinie *S C*.

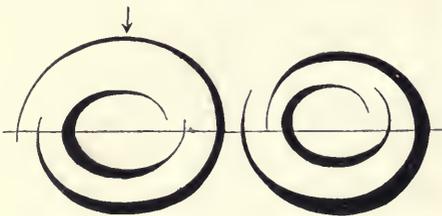


FIG. 232. Schema der Rollung der Grasblätter. In der linken Figur deckt der rechte Rand des Blattes den linken. In der zweiten Figur wechselt diese Richtung, im innern deckt der rechte, im äußern Blatte deckt der linke Rand.

bald umgekehrt. In dem Schema Fig. 232 sind beide Rollungen dargestellt.

Bei allen kriechenden Grasstämmen steht die Ebene der Infertion horizontal. Ebenso bei allen nach $1/2$ beblätterten Laubbäumen, Buche, Ulme, Linde. Der Querschnitt des Keimlings möge schematisch durch die Fig. 231 dargestellt

Das nächste Blatt muß von rechts nach links gerollt sein u. s. f. unter der Voraussetzung, daß die Axe die vorbeschriebene Lage beibehält, Fig. 232. Steht aber die Axe selbst im Loth, so wird offenbar die Schwerkraft nicht in verschiedenem Sinne auf beide Blatthälften wirken. Mehrere consecutive Blätter rollen sich jetzt bald von links nach rechts, bald umgekehrt.

Das nächste Blatt muß von rechts nach links gerollt sein u. s. f. unter der Voraussetzung, daß die Axe die vorbeschriebene Lage beibehält, Fig. 232. Steht aber die Axe selbst im Loth, so wird offenbar die Schwerkraft nicht in verschiedenem Sinne auf beide Blatthälften wirken. Mehrere consecutive Blätter rollen sich jetzt bald von links nach rechts, bald umgekehrt.

HOFMEISTER fuchte den Nachweis zu führen, daß die Schwerkraft die Ursache dieses Verhältnisses ist. Er stellte Graskeimlinge an der rotirenden Scheibe so auf, daß die Centrifugalkraft in Richtung des Pfeiles im Schema Fig. 232 wirkt. Es rollten sich dann die neu entstehenden Blätter der zweiten Figur entsprechend, so, daß immer der gegen die Pfeilrichtung wachsende Rand gefördert und dem entsprechend der deckende wurde.

Aehnliche Abhängigkeiten der Förderung der linken und rechten Hälfte fand HOFMEISTER bei den Begonien, Ulmen, bei den Stipulis der Eiche u. a. m.¹⁾

Bei den affymetrischen Blattflächen von *Ulmus* und *Celtis*, Fig. 233, vertheilt sich das Durchschnittsgewicht der kleinen zu demjenigen der großen Blatthälfte wie 1 : 1,221. Wurde der Zweig horizontal gestellt während der Entwicklung, so entwickelten sich die Flächen in dem Verhältniß 1 : 1,276. Stund aber der Zweig vertical der Spitze nach unten, so resultirte das Verhältniß 1 : 1,53.

Aufrechte Lohden der *Castanea vesca* zeigen die Blätter schon in der Knospenlage nach $\frac{2}{5}$ oder $\frac{3}{8}$ gestellt. Die im Horizont stehenden Zweige der erwachsenen Bäume aber besitzen die Divergenz $\frac{1}{2}$ und stellen ihre Foliationsebene senkrecht zum Loth.



FIG. 233. Schema der Lage affymetrischer Blätter zum tragenden Zweig bei *Ulmus*, *Celtis*.

4. Krümmung der Abietineensprosse.

Der aufrecht stehende *Abies*- und *Picea*stamm ist wie alle Zweige allseitig benadelt, die Nadeln richten sich in's Loth und liegen dem Stamme dicht an.

Die horizontal stehenden Aeste, ursprünglich benadelt wie die loth-rechten, richten alle ihre Zweige zunächst bei dem Knospenaufbruch und zur selben Zeit die Blätter so, daß alle in eine Ebene fallen, welche senkrecht zum Loth steht.

Diese Kämmung der Blätter tritt auch ein, wenn die Zweige während der Entfaltung in ihrer normalen Lage im Dunkeln stehen, sie tritt auch ein im Dunkeln, wenn die Foliationsebene so gestellt wird, daß sie das Loth aufnimmt, Fig. 234.

In der Figur 234 ist in *A* der untere Jahrestrieb in der normalen Weise gekämmt, die unteren Nadeln sind die längeren. In *B* wurde der

¹⁾ HOFMEISTER, Allgem. Morphologie. S. 583. 588 ff.

obere Jahrestrieb während seiner Entfaltung um 90° zur normalen Lage gedreht. Die Nadeln kämmt sich jetzt der neuen Lage entsprechend. Hierbei mußte die eine Seite, weil sie ursprünglich die Unterseite war, *u* Fig. 234 *B*, mit längeren, die andere, ursprüngliche Oberseite die kürzeren Nadeln erhalten *o*.

Werden die Abietineenzweige verkehrt aufgestellt, so daß die morphologische Oberseite nach unten zeigt, so drehen sich die Nadeln, bis die ursprüngliche Oberseite wieder nach oben gekehrt erscheint.

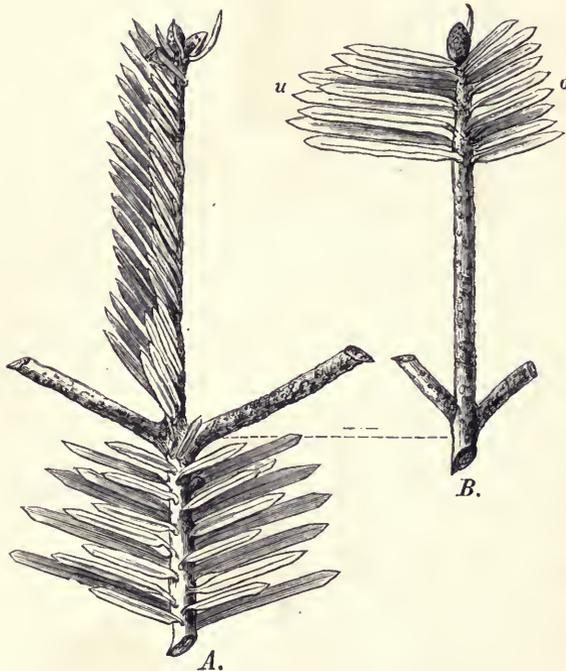


FIG. 234. *Abies excelsa*. *A*. Diese Figur zeigt im unteren Theil die normale Kämmungsebene der Nadeln. Im oberen steht dieselbe senkrecht zur untern. *B*. Die Nadeln der oberen und untern Seite, senkrecht zur Zweigebene gekämmt.

Zweige derselben Pflanzen, während der Knospenentfaltung mit der Spitze nach unten gekehrt, krümmen sich und stellen die Nadeln horizontal; dabei aber steht die Krümmungsebene des Zweiges nicht senkrecht zur Foliations-ebene.

Für das Laubblatt läßt sich die Drehung der Blätter am besten an den Keimpflanzen der Aralien zeigen, Fig. 235, 236. Stellt man dieselben umgekehrt mit der Stammspitze nach unten, so drehen sich die Blätter innerhalb 24 Stunden. Zahlreiche solche Töpfe, wie die Figuren 235, 236 darstellen,

wurden im diffusen Tageslicht, sowie in der Dunkelkammer aufgestellt. Der Erfolg war immer der gleiche.

5. Stellung der zygomorphen Blüten.

Die zygomorphen Blüten der Orchideen beschreiben während der Entwicklung des Blütenstandes eine Umdrehung von 180° . Der Sporn in der Anlage nach oben kommt nachher nach unten zu liegen. Die symmetrisch hälftende Ebene nimmt das Loth auf.

Die symmetrischen Blüten der Orchideen, Papilionaceen, Scrophu-

larieen, Labiaten u. a. m. sind immer so orientirt, daß die Mediane das Loth aufnimmt.

6. Stellung der Trametesöhute an aufrechten und liegenden Baumstämmen.

Die Fruchtfände der Trametesarten entsprossen einem formlosen Mycelium, welches den Baum bewohnt. Sie stellen halbe Rotationskörper dar, welche ihre Scheibenfläche senkrecht zum Lothe orientiren. Steht der Baum aufrecht, so geht die ideale Axe des Pilzkörpers mit der Axe des Baumes parallel, Fig. 237. Entwickelte sich aber der Pilzhut nachdem der Baum gefällt war, so orientirt sich derselbe wie im ersten Falle senkrecht zum Loth und zur Axe seines Wirthes.

In der Figur 237 ist der liegende und aufrechte Stamm mit dem Pilzhut dargestellt. Derselbe entwickelte sich in einem Falle, nachdem der Stamm gefällt war. Die Fig. 238 stellt eine Colonie der Trametesöhute dar. *T* war aus dem Stamm gewachsen zur Zeit, wo dieser aufrecht stand; *T'* *T''* entwickelten sich, nachdem der Stamm gefällt war.



FIG. 235. Keimpflanze der *Aralia* verkehrt aufgestellt, von links fällt das Licht vom Fenster ein (2 . 24 Stunden).

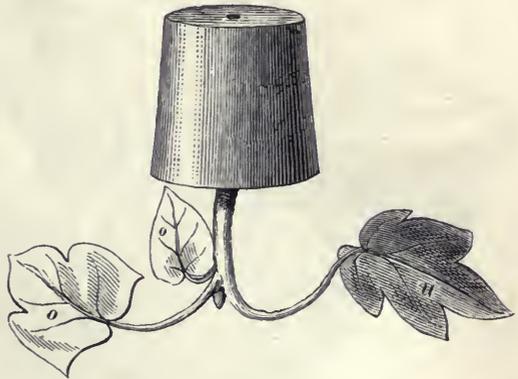


FIG. 236. Keimpflanze der *Aralia* im Dunkeln umgekehrt aufgestellt (2 . 24 Stunden).

7. Beugung der Moosfrüchte.

Die Seta der Moose ist ursprünglich lothrecht orientirt und gerade, Fig. 239, sie durchläuft während der Entwicklung der Kapsel die Formenreihe Fig. *A*, *a*, *b*, *c*, *d*, bei *Funaria*, *Bartramia*, *Bryum*, *Hypnum*, *Catharinaea* u. a. m. Sie entwickelt sich symmetrisch mit lothrecht stehender Mediane bei *Buxbaumia*.

8. Prädisposition zum Geotropismus.

Die Brutknospen der Marchantien sind im Beginne der Entwicklung lothrecht stehende Flächengebilde, Fig. 240, welche biscuitförmige Zellkörper mit mehreren Zellschichten darstellen.

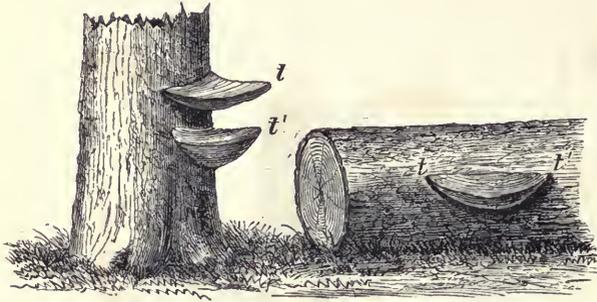


FIG. 237. Trameteslute an einem lothrecht stehenden und an einem gefällten Baume.

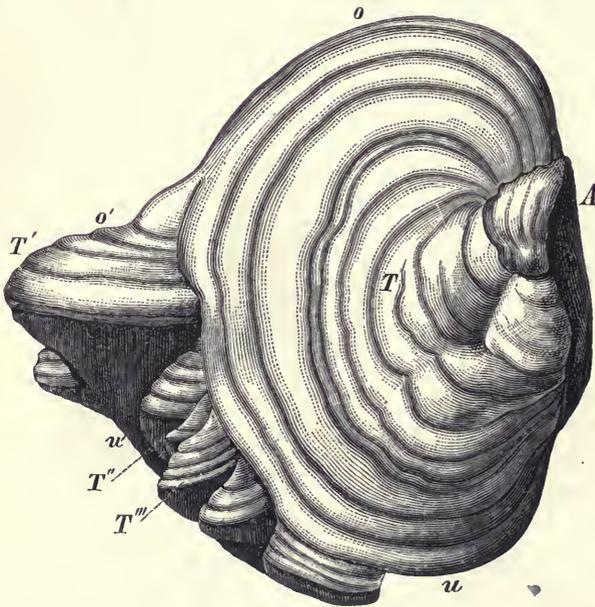


FIG. 238. Trameteslute. *A* die Verbindungsstelle mit dem Baume; *T* die ursprüngliche Oberseite, als der Baum noch aufrecht stand; *T'* *T''* u. f. f. nachträgliche Sprossungen aus *T*, nachdem der Baum gefällt war und horizontal lag; *o* u. *u* ursprüngliche Ober- und Unterseite für *T*; *o'* *u'* Ober- und Unterseite für *T'* *T''* u. f. f.

Nach der Ausfaat fallen diese Brutkörperchen auf die flache Seite und bilden ein Marchantienlager, welches zuletzt nach der Oberseite anatomisch verschieden von der Unterseite beschaffen ist. Zur Zeit der Ausfaat war diese Differenzierung nicht vorhanden.

Die der Erde zugekehrte Seite bildet Wurzelhaare, die zenithwärts gekehrte Seite nicht. Die anatomische Structur und die Vertheilung der Chlorophyllkörper werden verschieden für beide Seiten¹⁾. Die Spaltöffnungen bilden sich nur an der oberen Seite. Nach MIRBEL's Angaben haben sich die vorher gleichseitigen Brutknospen 24 Stunden nach der Ausfaat für die bilaterale Ausbil-

¹⁾ MIRBEL, *rech. anat. et physiol. sur le Marchantia*. — *Mém. de l'acad. des scienc. de l'institut de France*. 1835. — HOFMEISTER, *vergl. Untersuchungen*. 1851. — SACHS, *Lehrbuch*. 2. Aufl. S. 287. — PFEFFER in SACHS, *Arb. d. bot. Inst. in Würzburg*. 1. Heft S. 77. FRANK, *Ueber Einfluß des Lichtes u. f. f.* PRINGSH. *Jahrb.* IX. S. 155.

dung entschieden. Dreht man nach dieser Frist die Pflänzchen um, so haben sich schon die beiden Seiten differenziert. Die eine erhält trotzdem die anatomische Structur der Oberseite, wiewohl sie jetzt der Erde anliegt. Die andere erhält die Structur der Unterseite.

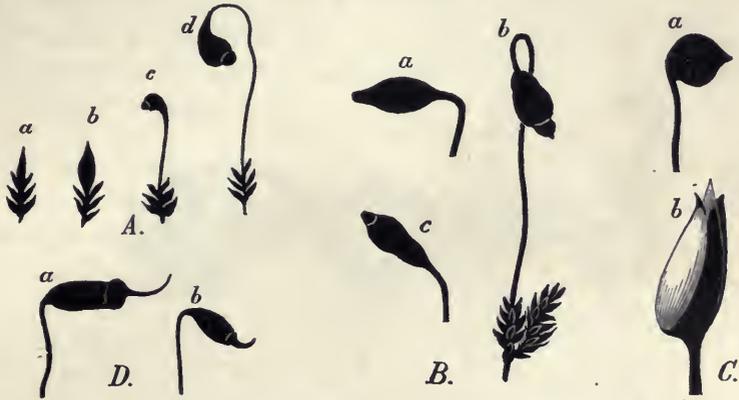


FIG. 239. A. *Funaria hygrometrica*. B. *Bryum nutans*. C. a *Bartramia*, b *Buxbaumia*. D. *Dicranum scoparium*.

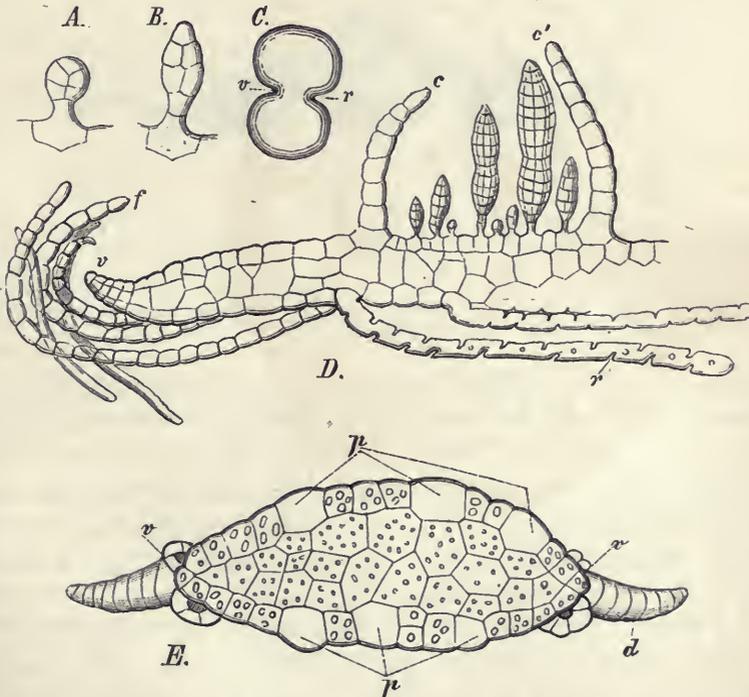


FIG. 240. *Marchantia polymorpha*. A. B. Junge Bruttknospe. C. Reife Bruttknospe, schwächer vergr. D. Axiler Durchschnitt durch das Lager und einen Brutbecher *c c'*. *v* Vegetationspunkt des Lagers, *f* die Blätter, welche der Unterseite entsprossen und häufig über den Vegetationspunkt gekrümmt sind, *r* die Wurzelhaare. E. Durchschnitt parallel der Richtung *v v* Fig. C durch eine Bruttknospe, *p* Zellen, welche die Haare bilden, *v* die Vegetationspunkte.

Den Angaben MIRBEL's tritt PFEFFER auf Grund einer Reihe von Experimenten entgegen. Er kommt zu diesen Resultaten: die Zellen, welche zu Wurzelhaaren auswachsen, sind schon auf den beiden gleichen Seiten vor der Ausfaat, an dem hyalinen Inhalt und durch die Größe kenntlich. Diese Zellen wachsen unter geeigneten Bedingungen zu Wurzelhaaren aus, durch eine in ihnen belegene Keimkraft. Diese Kraft wird durch die Schwerkraft aufgehoben, wenn die Richtung dieser mit der Wachstumsrichtung nicht zusammenfällt. Deshalb werden auf der zenithwärts belegenen Seite

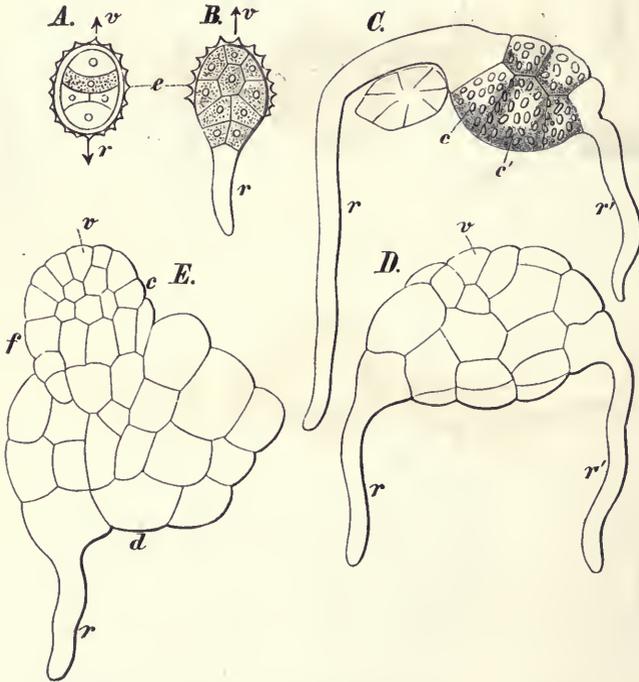


FIG. 241. Peltia epiphylla. A. Reife Spore. B. Ebenfolche drei Tage nach der Ausfaat, v Vegetationspunkt, r Wurzelende. C. D. E. Hintereinanderbelegene Entwicklungszustände junger Keimpflanzen mit zwei Wurzelenden und einem seitlichen Vegetationspunkt v.

keine Haare gebildet. Liegt die zenithwärts gekehrte, ursprünglich indifferente Seite an einem festen Körper («so wird in der Berührung eine Kraft gewonnen, welche mindestens die hemmende Wirkung der Schwerkraft aufhebt»), so bildet sie Wurzelhaare.

Die Haare bilden sich an der beleuchteten wie beschatteten Seite. Ein gewisses Maß von Licht ist indeß nothwendig. Sie bilden sich spärlich oder gar nicht aus an vollständig verdunkelten Pflänzchen. «Wenn eine Brutknospe auch bereits Wurzelhaare trieb, so ist damit noch nicht die Bilateralität „inducirt“, sondern diese bildet sich erst an den hervorwach-

fenden Sprossen aus, welchen sie aber auch gleich mit deren Erscheinen unwiderruflich inhärent wird. Die beleuchtete Seite der Sprosse, wie auch deren Länge fein mag, wird unter allen Umständen zur spaltöffnungsführenden Oberseite, die beschattete wird zur Unterseite, welche Wurzelhaare und Blattlamellen hervorbringt. Auch nachdem die Seitensprossen sich gebildet haben, ist die Brutknospe selbst noch beiderseits gleichwerthig.»

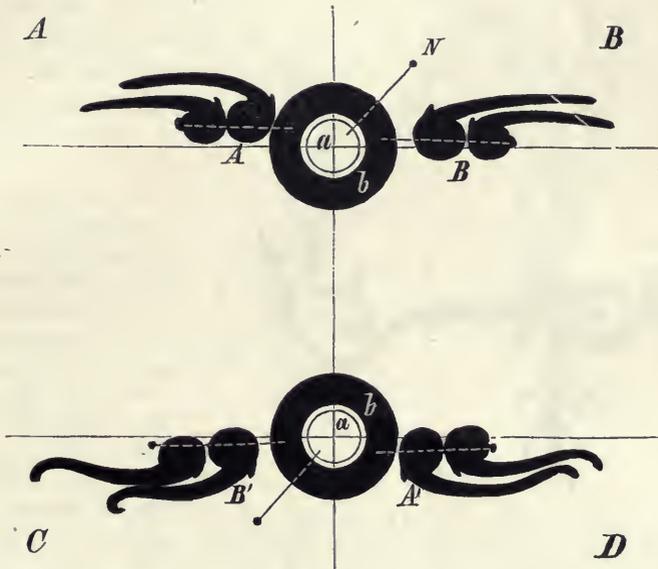


FIG. 242. Vorrichtung, um durch den Versuch zu zeigen, daß die Spannkkräfte in sonst lothrecht wachsenden Pflanzentheilen bei horizontaler Aufstellung polarisirt werden, lange bevor die geotropische Krümmung ausgeführt ist. *a* ist ein an der Coordinatentafel *A B C D* befestigter Kork, *b* ein Korkring, an welchem die Keimlinge befestigt sind. Durch eine Nadel *N* kann *b* in jeder Lage zu *a* fest erhalten werden. *A B* die Anfangslage der Keimwurzel, *A' B'* die Lage nach der Polarisation in der Anfangslage und nach der Drehung von *b* um *a* um 180°. Das Erste, was hiebei eintritt, ist die Krümmung zenithwärts, erst später folgt die + geotropische.

Die Pellien-sporen, Fig. 241 *A*, sind elliptisch vielzellig. An dem einen Ende entwickelt sich zuerst, und in der Regel allein, 2—3 Tage nach der Ausfaat das erste Wurzelhaar, dort durchbricht das Lager auch zuerst das Exosporium *r* Fig. 241 *B*. Am entgegengesetzten Ende bildet sich (bei *v*, Fig. 241 *B*) der Vegetationspunkt des Lagers. Die beiden Enden bestimmen somit in der Regel ihre künftige Function. In seltenen Fällen, Fig. 241 *C*, geräth eine Spore in eine Lage, in welcher beide Enden, *r* und *v*, Fig. 241 *A*, Wurzelhaare treiben, alsdann geht offenbar dem Sporenkörper der Ort dauernder Verjüngung aus beiden Polen verloren. Er hilft sich, indem er eine Randzelle zum Vegetationspunkt umbildet, Fig. 241 *D*. So entsteht ein neuer Zweig *f c* in Fig. 241 *E*, welcher mit dauernder Zelltheilung im Scheitel *v* ausgerüstet ist.

An allen positiv und negativ geotropischen Pflanzen läßt sich zeigen, daß, wenn sie horizontal aufgestellt werden, Fig. 242, 243, innerhalb der wachstumsfähigen Stücke Spannkkräfte angehäuft werden, ehe noch die Krümmung, welche aus der abnormen Lage in dem Experimente gefordert wird, erfolgt. Die Erbsenkeimlinge, Fig. 242, sind mit den Cotyledonen in *b* befestigt.

Dreht man nun, nachdem die Wurzeln in *A* und *B* 2—3 Stunden in der Lage, Fig. 242, belassen waren, den Korkring *b* um *a* um 180° , so führen die Wurzeln zuerst in Folge der vorhergehenden Einwirkung der Schwere eine geringe Beugung im positiv geotropischen Sinne, bezogen auf die erste Lage, aus und dann erst eine zweite Krümmung im Sinne der Schwerkraft und der neuen Lage (dies ist durch die untere Figur in Fig. 242 dargestellt).

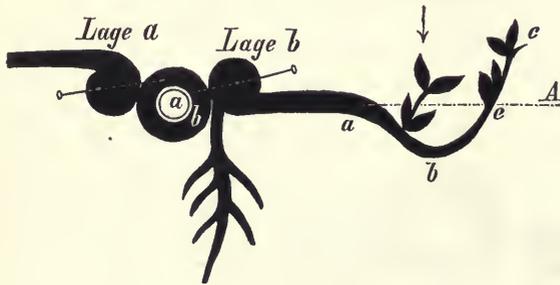


FIG. 243. Dieselbe Erscheinung, wie in Fig. 242 für den Stamm. Derselbe war geradlinig gewachsen, wurde in der Lage *a* polarisiert, vor der Krümmung in die Lage *b* gebracht (durch Umdrehen von *b* um *a*) und führt hier zuerst eine positiv-geotropische Krümmung *a b* und später eine negativ-geotropische Krümmung *b c* aus.

Die Versuche wurden mit Hilfe einer Coordinaten-Glastafel *A B C D* Fig. 243 ausgeführt, welche senkrecht stehend, in *a* einen festen Korkzapfen tragen, um welchen der Korkring *b* gedreht wird. Man sieht, daß die Wurzeln der Erbse vor der Drehung in der ersten Lage, Fig. 242, gerade, nach der Drehung um 180° sich aufwärts krümmten, um erst später die für diese zweite Lage gesetzmäßige Krümmung zu zeigen. Fig. 243

zeigt die analoge Erscheinung für den Stamm.

Denkt man sich dieß Experiment in der Weise fortgesetzt, daß man das System jedesmal kurz vor dem Eintritt der gesetzmäßigen Krümmung (also in Intervallen von 2—3 Stunden) mit Hilfe des Korkrings um 180° dreht, so kann man es offenbar dahin bringen, daß Stamm und Wurzel im

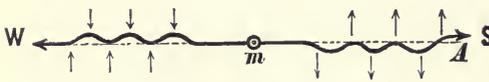


FIG. 244.

Zickzack, aber immer so wachsen, daß sie die sonst gewohnten Richtungen in Bezug auf diejenige der Schwere umkehren. Fig. 244 stellt das System nach sechsmaliger Umkehrung um die Achse *m* dar. Die Pfeile bedeuten die Richtung der Schwere während der Dauer je einer Biegung aus der Richtung der Achse *A*.

Würde man endlich das System noch um *A* als Achse drehen, so entstünden offenbar aus den sonst geraden Gebilden Schraubenlinien.

9. Vorbestimmung der Gewebe, welche Adventivprosse bilden (Polarität der Gewebe)¹⁾.

An jedem Zweigabschnitt (Steckling) der Weide läßt sich, wenn schon äußerlich keine Merkzeichen für oben und unten (wie ruhende Knospen etwa) vorhanden sind, das Ende, welches nach der Wurzel hinweist, bezeichnen und unterscheiden von dem nach der Spitze hin belegenen Ende. Stellt man zwei solcher Abschnitte, in welchen jede adventive Knospenbildung bis zu die-

sem Zeitpunkte fehlte, so auf, daß das eine Stückchen feinwurzelnde *W* nach unten kehrt, während das andere umgekehrt steht, Fig. 245, so entwickeln sich im dunsterfüllten

Raum und bei geeigneter Temperatur die Wurzeln stets an den Wurzelenden. Die vorhandenen Blattknospen treiben in einem Falle, Fig. 245 *B*, sich negativ

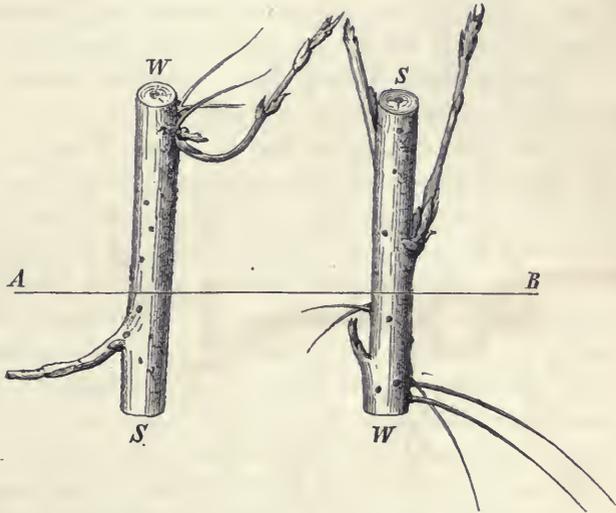


FIG. 245. Weidenstecklinge wurden am 24. Januar 1877 in Wasser gesteckt, dessen Oberfläche durch *A B* dargestellt ist, sie wurden mit einer Glocke bedeckt, so daß die Luft stets feucht blieb, und in mäßig geheiztem Zimmer aufbewahrt. Gezeichnet am 16. Februar 1877.

geotropisch krümmend, in der gewohnten Weise aus. Man muß hieraus schließen, daß in solchen Stücken durch die histologische Anordnung auch die Möglichkeit derjenigen Zelltheilungen begründet liegt, welche zur Bildung der Adventivknospen führt, wiewohl der obere und der untere Querschnitt von gleicher Beschaffenheit am Mikroskop erscheinen.

B. Formbedingender Einfluss des Lichtes²⁾.

Die Bewegungen, welche hier abzuhandeln sind, werden am besten verstanden, wenn man beachtet, daß alle Pflanzen mit Ausnahme niederer parasitärer Pilze von dem Momente der selbständigen Entwicklung der Be-

¹⁾ VÖCHTING, Ueber Organbildung im Pflanzenreich. Bonn. M. Cohen und Sohn. 1878. — KNY, Separatabdr. aus dem Sitzgsber. vom 21. März 1876 der Gesellschaft naturforschender Freunde in Berlin.

²⁾ GR. KRAUS, Ueber die Urfachen der Formänderungen etiolirender Pflanzen. S. 209. PRINGSH. Jahrb. Bd. V.

strahlung die größte Fläche entgegenzustellen bestrebt sind. Die Ernährung, welche während der Entwicklung das verfügbare Baumaterial schafft, ist selbst von dem Lichte abhängig. Ernährung, Wachstum und Orientierung zum Lichtstrahl sind Vorgänge, welche in der Zeit parallel laufen. Fast alle im Habitus auffällige Lagen zu dem einfallenden Strahle sind vererbliche Züge, welche durch den Wechsel der Bestrahlung (Tag und Nacht) nur wenig und in geringfügiger Weise verändert werden, mit Ausnahme weniger, freilich dann aber auch sehr empfindlicher Reizpflanzen, specifischer Schattenpflanzen und einiger Moose (Marchantien).

In der Natur haben sich als Licht- und Schattenpflanzen Vertreter aller Verwandtschaftskreise angepaßt.

Die niedersten Pilze sind in hohem Grade schattenertragend, da sie zum großen Theile im Innern lebender Pflanzen und Thiere oder deren Leichen zu leben vermögen. Die Algen sind sämmtlich im höchsten Grade lichtbedürftig.

Die nächsten Verwandten dieser Arten, die Flechten machen die größte Anforderung an die Bestrahlung. In dem Verwandtschaftskreise der Moose sind alle Organe zur vollständigsten Durchleuchtung ausgebildet, und es treten alle Grade in der Dichte der Bestockung auf, sowie auch Bewohner des tiefsten Schattens unserer Wälder, wie auch lichtbedürftigste Felsenbewohner und solche, welche auf nacktestem Gestein, auf Cultur- und Sandflächen an ihrem Wohnort den Mitbewerbern gegenüber herrschend werden.

In allen höheren Verwandtschaftskreisen endlich sind licht- und schattenbedürftige Arten oder Gattungen vertreten.

1. Folgen des Lichtmangels.

Experimentell sind die Folgen des Lichtmangels durch Culturen in Dunkelräumen bis jetzt nur an höheren (Phanerogamen) Pflanzen untersucht.

1^o Mit Ausnahme der Farrenprothallien und der Abietineenkeimlinge unterbleibt bei solchen Culturen, bei allen Pflanzen die Ausbildung des Chlorophylles, die Pflanzen bilden ein gelbes Pigment.

2^o Alle Blattgebilde werden rudimentär.

3^o Die Stammtheile werden übermäßig verlängert, bleiben meist mit Ausnahme der Knospen farblos (sie vergeilen). Diese letzteren bilden ein gelbes Pigment.

4^o Die Gefäßbündel werden rudimentär, sie zeigen geringere Anzahl der Zellenelemente und geringere Masse.

5^o Die Gewebefpannung zwischen positiven (Mark- und Rindenparenchym) und negativen (Holz und Epidermis) Geweben ist verschwindend klein. Alle Gewebe wachsen nahezu gleich rasch.

Dieser Zustand wird das Etiolement genannt. Die Laubblätter bleiben unentwickelt, weil ihr Weiterwachsen vom Licht in der Weise abhängt,

daß das zum Wachsen nöthige Bildungsmaterial im Chlorophyll des Blattes geschaffen werden müßte. So kommt es, daß die Blätter in dem Zustande verharren, in welchem sie normaler Weise aus der Samenschale treten.

Die etiolirten Internodien zeigen in ihrer anatomischen Structur geringere Ablagerung von Cellulose, rudimentäre Ausbildung der Gefäßbündel und dadurch geringere Festigkeit.

Die Uebersverlängerung der etiolirten, gegenüber der gedrunghenen im Licht erzeugten Pflanze, beruht auf größerer Streckung der wachsenden Zellen. Das Mark, welches in den Lichtpflanzen comprimirt, ist bei der etiolirten ohne Spannung, alle Gewebe haben die äußerste Ausdehnung erhalten.

«Während in den normal wachsenden Stengelgliedern der treibende, die Verlängerung herstellende Theil, das Mark nur in der ersten Periode des raschesten Wachstums die Ueberhand über die äußeren Gewebe hat und dieselben unbedingt zu strecken vermag, in einer zweiten Periode aber mit der Elasticität der äußeren Gewebe in einen antagonistischen Kampf tritt, in welchem dasselbe in der dritten Periode des Wachstums überwunden und gezwungen wird, seine Wachsthum erregende Kraft zu sistiren und die Länge der äußeren Gewebe dauernd anzunehmen: bleiben die etiolirten Internodien ihr Leben lang auf einer Entwicklungsstufe stehen, in welcher die peripheren Gewebe eben aus Mangel einer Weiterbildung durchaus dehnbar sind und von dem Mark ohne Hinderniß ausgezogen werden können»¹⁾ (sie sind nicht dehnbar, sondern sie wachsen gleichschnell mit dem Mark).

«Durch dieses Stehenbleiben der äußeren Gewebe auf einer ganz niederen Entwicklungsstufe ist dem Mark zunächst die Möglichkeit der Ueberdehnung der peripheren Gewebe gegeben und sie wird in Wirklichkeit eintreten, wenn das Mark, im Gegensatz zu den übrigen Geweben, die Fähigkeit hat im Finstern zu wachsen.»

Die Gewebe wachsen durch Wasseraufnahme (alle etiolirten Pflanzen besitzen einen höheren Procentatz an Wasser) und so kommt es, daß die Markzellen im Finstern nicht allein ihre Normalgröße, d. h. diejenige Größe, welche dieselben isoliert anzunehmen im Stande wären, erreichen, sondern durch reichlichere Wasseraufnahme noch weit über diese Größe hinausgehen und zu dieser selbst die widerstandslosen peripheren Gewebe dehnen.

2. Einseitiger Bestrahlung angepasste Pflanzen

find:

1^o die Flechten, welche sonst die geringsten Anforderungen an Temperatur und Bodenunterlage stellen. Sie beherrschen ausschließlich die hochalpine Region unserer Hochgebirge und die arktische Zone.

¹⁾ KRAUS, Ueber die Ursachen der Formänderung etiolirter Pflanzen.

2^o die Lebermoose, Marchantieen, Riccieen, welche stets flache dichotome Lager bildend, die Unterlage überziehen;

3^o die Jungermannieen, welche zum Theil im Schatten der Wälder, den Boden, zum Theil die glattrindigen Bäume besiedeln;

4^o die kriechenden Phanerogamen aus fast allen Verwandtschaftskreifen.

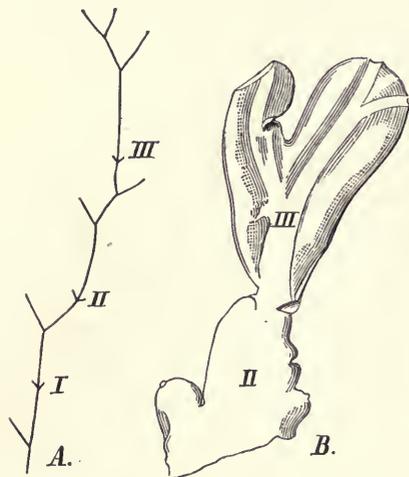


FIG. 246. Flaches Lager, welches den Erdboden in horizontaler bis lothrechter Lage überzieht, von *Marchantia polymorpha*.

gröÙe der letzteren erreicht den doppelten bis dreifachen Werth der ersteren.

Zu Versuchen eignen sich am Besten die Marchantieen; werden die Rasen der *Marchantia*, *Frullania* und a. m. von ihrem Wohnort in einen Raum gebracht, in welchem geringere Lichtintensität herrscht, wie dort, so entwickeln sich die neuen SproÙe schwächer, schlanker und ohne sich der Unterlage anzuschmiegen, sie beugen sich negativ geotropisch. Die Pflanzen nehmen dadurch einen ganz abweichenden Habitus an. In der Fig. 246 sind *I II* die Jahrestriebe, welche von dem Lager drauÙen im Freien gebildet wurden, *II III* die späteren, in der Cultur bei diffusem Lichte entstandenen. Die ZuwachsgröÙe der letzteren erreicht den doppelten bis dreifachen Werth der

3. Negativer und positiver Heliotropismus.

In Bezug auf die Richtung, welche gegen den Lichtstrahl eingehalten wird, nennt man den Pflanztheil positiv-heliotropisch, wenn er bei einseitiger Bestrahlung mit der wachstumsfähigen Spitze sich so krümmt, daß er dem Strahle entgegen eilt, negativ-heliotropisch, wenn der Pflanztheil das Licht flieht, also in der Richtung des Strahles sich beugt oder wächst, Fig. 247. Der positive Heliotropismus beugt den Pflanztheil so, daß die beleuchtete Seite die concave wird. Beim negativen Heliotropismus aber ist die beleuchtete Seite die convexe. Die Ursache solcher Beugungen ist eben die einseitige Wirkung der Bestrahlung. Ist der cylindrische Pflanztheil in dem einen oder anderen Sinne so weit gebeugt, daß seine Axe mit der Richtung des Strahles zusammenfällt, so ist offenbar eine Bewegung nicht mehr möglich, da der Schatten des Organes in seine Grund- oder Querschnittsfläche fällt.

a) Stämme und Wurzeln¹⁾.

Die heliotropischen Krümmungen kommen draußen im Freien überall da zum Ausdruck, wo Pflanzen sich in einer Ebene ausbreiten, oder an undurchsichtigen Stützen oder Unterlagen hinwachsen. Der positive Heliotropismus führt solche Pflanzen von der Stütze oder Unterlage (Erde) hinweg, der negative aber zwingt sie, sich der Stütze oder Unterlage anzuschmiegen.

Dafern nicht mit der Streckung eine rasche Erstarrung eintritt, nehmen die wachsenden Theile die Lage an, in welcher sie das Maximum der Bestrahlung erhalten.

Die erdständigen Blattrosetten vieler Pflanzen, Crassulaceen u. a. m. strecken ihre Stengel so, daß die Rosette über den Boden erhoben wird, wenn die Pflanzen verdunkelt waren. Daraus ist zu schließen, daß dieselben im normalen Beleuchtungszustande negativ-heliotropisch sind und daß unter dem Einfluß des Lichtes das Zuwachsmass so wie die Gewebespannung in gewissem Sinne beschränkt oder zurückgehalten wird, gegenüber dem Verhalten in der Dunkelheit.

b) Blätter.

Die Bewegung der Laubblätter in Folge der Bestrahlung ist viel mannigfaltiger wie die der Stengel.

Das Blatt der höheren Pflanze, in der Knospe mannigfach gefaltet, ist so gelagert, daß seine Axe mit

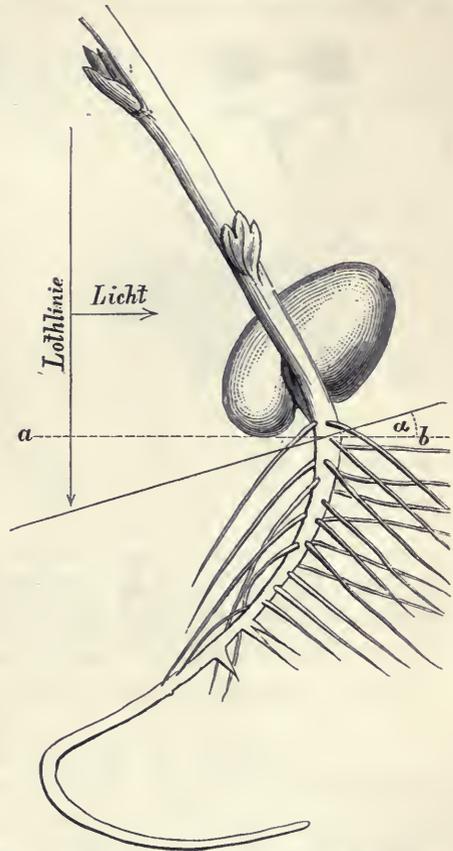


FIG. 247. *Vicia Faba* auf schwimmendem Keimbett erzogen. Ausfaat am 26. Januar 1877, gezeichnet am 20. Februar bei einer Gesamthöhe des oberirdischen, grünen Theiles von 31 cm. Die Hauptwurzel wuchs Anfangs nach unten fenkrecht, bog sich bald, wie die Zeichnung darthut, nach der einen und zwar der Lichtseite. Bald verließ auch der Stengel die Anfangs fenkrechte Lage und wendete sich gleichfalls dem Lichte zu. Diese Bewegungen wurden gleichzeitig von einer Anzahl Erbsen, die auf demselben Keimbett wuchsen, ausgeführt, das letztere wurde dadurch allmählig um den Winkel a aus der horizontalen Wasserfläche $a b$ gehoben. Hierauf wuchsen die Hauptwurzeln der *Vicia* und dreier Erbsen zunächst fenkrecht nach unten, dann in der der ersten Biegung entgegengesetzten Richtung. Die Wurzeln der anderen Erbsenpflanzen zeigen auch Biegungen, doch nicht so regelmässig.

¹⁾ Studienmaterial: Epheu, *Vitis*, *Ampelopsis Bryonia*, die Marchantienlager und viele andere.

der Knospenaxe nahezu zusammenfällt, Fig. 248. Bei der weiteren Entfaltung dreht es sich bei manchen Pflanzen, so bei den Justitien, Fig. 248, zunächst fast um 180° . Die morphotifische Innenseite wird nach außen gekehrt, später erst stellt sich die Fläche möglichst normal zum Lichtstrahl.

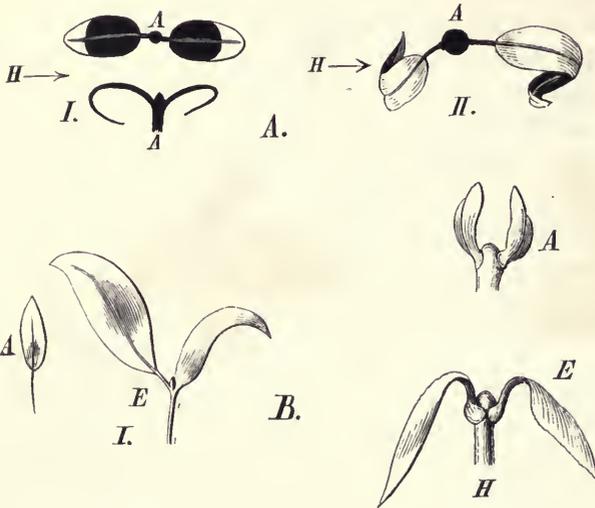


FIG. 248. A. Projection der Blätter auf eine Ebene, senkrecht zur Axe in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein, in I. die Längsansicht, in II. die Oberseite weiß, die Unterseite schwarz. B. Lagenänderung der Blätter der Justitia bei der Entfaltung. I. bei einseitiger Beleuchtung, II. bei gleichmäßiger Beleuchtung, A Anfangs-, E Endlage.

kehrt, später erst stellt sich die Fläche möglichst normal zum Lichtstrahl.

Bei der graphischen Darstellung solcher Drehungen möge das Schema Fig. 249 angewandt sein. c bedeute den Querschnitt des Stengels in der Infertionsebene der Blätter. Die Ellipse cW soll das Blatt einmal in seiner nicht verkürzten Fläche gesehen bedeuten. Seine Axe cW steht alsdann senkrecht zur Stammaxe

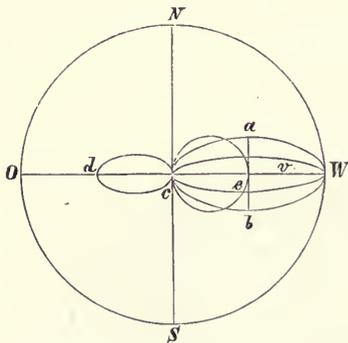


FIG. 249. Wenn in c die blättertragende Axe projicirt ist, wenn cW die senkrecht zur Axe orientirte Blattfläche in ihrer ganzen Breite bedeutet, so soll das Schema die Projection der Blattfläche auf die Ebene der Figur in verschiedenen Lagen des Blattes demonstrieren. Das Blatt hebt sich aus der Ebene und nähert sich dem Stamm nach oben oder unten: seine Projection wird zum Kreis. Es dreht sich sodann um seine eigene Axe und wird zur Ellipse in seiner Projection.

c . In dieser Lage kann das Blatt eine Drehung um cW beschreiben. Es wird alsdann in unserer Projection zur schmalen Ellipse $e v$. Es kann eine Winkeldrehung um c beschreiben, so daß der Winkel zwischen cW und der Axe kleiner wird, seine mittlere Lage wird alsdann durch den kleinen Kreis angedeutet. Es kann in dieser Lage wiederum um die Axe cW sich drehen und wird zur kleinen Ellipse $c d$.

In dieser Weise mögen einige der wichtigeren Lagen zum Loth und Lichtstrahl verzeichnet sein.

Die Zweige der Coriaria, Fig. 250, und Cornus sanguinea, Fig. 251,

stehen aufrecht oder wenig geneigt; in der Richtung der Pfeile, f. Fig., fällt das Licht ein. Das vordere Blatt, bezogen auf diese Richtung, bleibt in

der normalen Lage, ebenso die beiden Blätter des Wirtels *II*. Das hintere Blatt aber hebt sich, so daß seine Projection zum Kreise wird. Ebenso verhält sich *Cornus*, Fig. 251, mit dem Unterschiede, daß die beiden Blätter *IIa* und *b* sich heben und so drehen, daß die große Ellipse, welche in der Figur verzeichnet ist, zur kleinsten Ellipse der Projection wird.

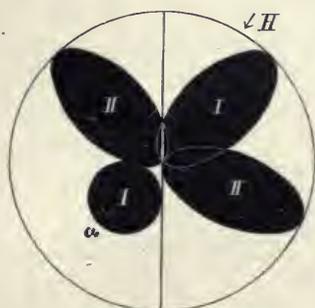


FIG. 250. *Coriaria myrtifolia* (Projection nach Fig. 249). Stamm lothrecht, das Licht fällt mit dem Pfeil ein. Das System ist in dieser Richtung symmetrisch, *Ia* hat sich dem Stamm nach oben genähert.

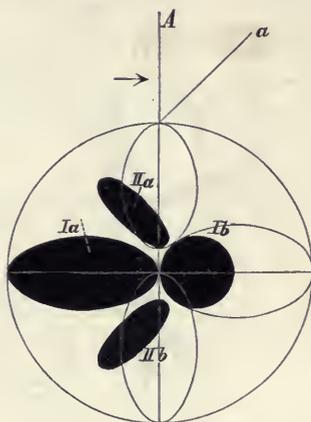


FIG. 251. *Cornus sanguinea* (Projection nach Schema 249). Die Axe hat die Lage *a* zu einem lothrecht stehenden Ast *A*, in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein. Das System wird in dieser Richtung symmetrisch.

Am lothrechten Zweige von *Cornus*, Fig. 252 *A*, haben sich alle Blätter gehoben und um ihre Axe so gedreht, daß sie das Maximum des Lichtgenusses erhalten. An einem hängenden Zweige von *Buxus sempervirens*, Fig. 252 *B*, haben sich die drei aufeinanderfolgenden Wirtel verschieden orientirt:

- 1^o Ist symmetrisch: Drehung um die Axe des Blattes.
- 2^o Ist asymmetrisch, *IIa* hat sich gehoben, *IIb* hat sich gehoben und um seine Axe gedreht.
- 3^o Ist symmetrisch: Drehung wie vorher und Hebung des Blattes.

Die Stengelblätter nehmen durch Axendrehung endlich eine zum Lichtstrahl normale Lage an. Bezogen auf den mit dem Pfeil einfallenden Strahl haben 4 in zweigliedrigen Wirteln stehende Blätter die Anfangslage *A*. Das vordere Blatt dreht und beugt die morphologische Oberseite convex; das hintere Blatt aber wird dort concav, die seitlichen drehen sich um 90° um ihre Blattrippe als Axe.

Diese Drehungen werden zum Theil durch den Hauptblattstiel bei den einfachen und durch die Polster bei gefiederten Blättern vollführt. Rankende Blätter zeigen vor Allem auffällig, wenn sie gefiedert sind, dann die Drehung der Einzelblätter, wenn das ganze Blatt durch die Ranken so befestigt ist, daß es sich nicht drehen kann (*Pisum. Vicia*). Der Heliotropismus und der Geotropismus wirken bei vielen (wohl allen) Blättern

zusammen, der Stiel ist negativ-geotropisch. Die Spreite ist positiv-heliotropisch. *Spiraea* u. a. (Epheu, Aralien, Keimpflanzen).

4. Theorie der Bewegung. Versuche über die Lichtstärke, welche nöthig ist die Pflanze zu afficiren¹⁾. Zur Theorie der Reizung²⁾.

Draußen im Freien wirkt das Licht mit großer Intensität und durch die Diffusion der wiederholt reflectirten Strahlen gleichmäßiger wie in einem für das Experiment hergerichteten Dunkelraum, in welchem mit Hilfe der Helio-

staten ein divergentes Lichtbüschel eingelassen wird. Am besten werden in Versuchen die Keimpflänzchen dicotyler Pflanzen angewendet. Das dankbarste Object ist die Kresse.

Die Keimpflänzchen der Kresse zeigen beide Krümmungen solcher farbloser und gefärbter Stengel. Das hypocotile Stengelglied ist nämlich in der Nähe des Bodens bei *a*

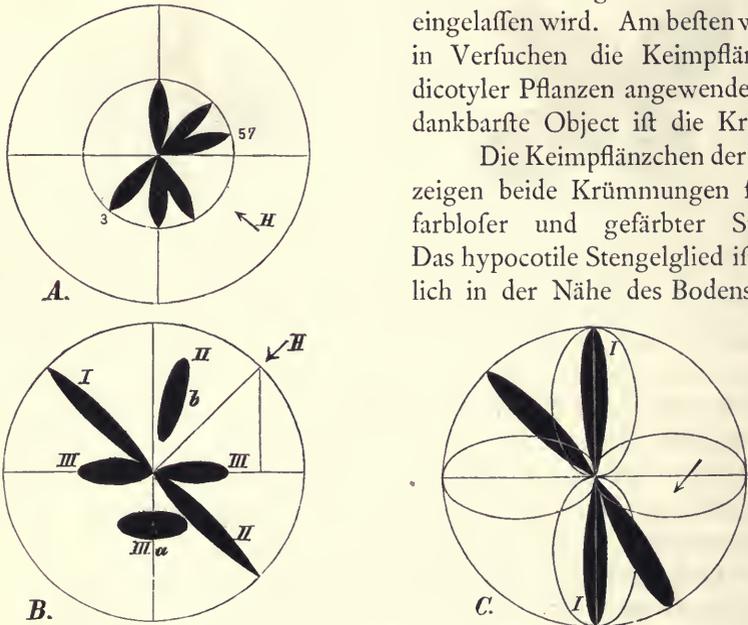


FIG. 252. A. *Cornus sanguinea* (Projection nach dem Schema 249). Lothrechter Zweig, in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein. B. *Buxus sempervirens*. Hängender Zweig, in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein. C. *Deutzia* und *Philadelphus*. Horizontalstehender Zweig, in Richtung des Pfeiles fällt das Licht ein, *II* ist der Wirtel, dessen Infertionsebene horizontal steht.

¹⁾ Die Pflanze und das Auge als verschiedene Reagentien für das Licht. JUL. SACHS, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg. Leipzig 1872. Engelmann's Verlag.

²⁾ Das FECHNER'sche Gesetz der Reizung sagt aus: die Reizung hängt von der bewegendenden Kraft, welche den Reiz hervorbringt, in der Weise ab, daß sie umgekehrt proportional jener aufgewandten Kraft ist. Wenn *y* die Lichtintensität ist, welche die Reizung *x* an der Pflanze hervorbringt, und es wächst die Intensität um *dy*, so wächst dadurch der hervorgebrachte Reiz um $\frac{I}{dy}$. *dy* ist also gleich $\frac{dx}{x}$, wenn man integriert

$$\int \frac{dx}{x} = \lg x, \text{ also } y = f \lg x.$$

Die Reizung ist um so intensiver, je geringer die Quantität der aufgewandten reizenden Kraft war bezogen auf dasjenige Maß der Kraft, welches den vollständigen Endeffect der Reizung hervorbringt.

(Fig. 253) farblos, gegen das beblätterte Ende hin grün gefärbt. Stehen nun die Pflänzchen in einem parallelepipedischen Topf dicht hintereinander in Richtung des Lichtstrahls, so findet man stets, daß die vorderen sich bei *a* (Fig. 253) sehr stark positiv beugen, an einem Orte also, wo das Licht keine spezifische Absorption erfährt und wo das Wachstum am kleinsten ist. Die hinteren Pflänzchen beugen sich aber an dem Orte, wo das Wachstum am stärksten ist, bei *b* (Fig. 253). Bei diesen ist die Stelle *a* offenbar schwächer beleuchtet, wie bei dem vorderen. (Die grüne Farbe nimmt an dem Pflänzchen mit dem Pfeil α zu; das Licht fällt in's Dunkelzimmer, parallel dem Pfeile β).

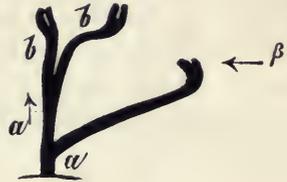


FIG. 253.

Wächst die hintere (Schatten-)Seite stärker, so tritt die Erscheinung des positiven Heliotropismus, wächst die vordere (Lichtseite) stärker, so tritt negativer Heliotropismus ein.

Stellen wir uns nun vor, es sei eine bestimmte Strahlengattung, gleichgültig ob dunkle oder helle Wärmestrahlung, welche das stärkere Wachsen veranlasse, so wird der negative Heliotropismus die häufigere Erscheinung sein müssen, eben weil die hintere Seite weniger von dieser Strahlengattung erhält wie die vordere.

Der positive Heliotropismus wurde schon von Anderen früher als ein partielles Etiolement aufgefaßt.

Diese beiden Hypothesen geben vereinigt aber nicht eine Vorstellung der Beugungen, welche die Ansprüche einer Theorie machen kann. Denn wie erklärt man die Erscheinung an einem und demselben Pflanzenteil, welcher in einer Phase positiv, in einer späteren negativ heliotropisch ist? Jedenfalls wird zwischen beiden Entwicklungsphasen das Gewebe, welches die Licht- von der Schattenseite trennt, eine Veränderung erfahren haben, bezogen auf die Durchlässigkeit des Lichtes. Welcher Art ist diese Veränderung?



FIG. 254.

Bei einem und demselben Keimpflänzchen der Kresse, welches durch den Heliofaten im Dunkelzimmer einseitig beleuchtet wird, sehen wir, daß der obere jüngere Stengeltheil negative, während der ältere untere positive Beugung zeigt. Der erstere krümmt sich convex, der letztere concav gegen den Strahl. Beide Stengeltheile unterscheiden sich aber nur dadurch, daß sie in verschiedener Phase des Wachstums sind.

Daraus geht denn auch hervor, daß nach den von mir aufgestellten und beobachteten Curven des Wachstums (Bot. Ztg., Jahrg. 29, 1871)

für unsere Keimpflänzchen zwei gegenüberliegende Zellen oder Gewebestreifen mit der Zeit einmal in den negativen, einmal in den positiven Heliotropismus übergehen, für eine und dieselbe Intensität des Lichtes.*

10 parallelpipedische Töpfe (jeder von $1\frac{1}{2}$ Fuß Länge) mit gleichaltriger im Dunkeln erwachsener Ausfaat der Kresse werden zu einer 18 Fuß langen Colonne in der Dunkelkammer aufgestellt und durch einen divergenten Lichtkegel bestrahlt. Die Intensität des Lichtes in der kreisförmigen Oeffnung des Heliofaten = 1 gesetzt, verhalten sich die Intensitäten, welche den in Fig. 255 cathetometrisch auf eine Coordinatenplatte gezeichneten Pflänzchen zukommen, wie die in der beifolgenden Tafel angegebenen Zahlen. Das letzte Pflänzchen b_{10} hingegen erwuchs während

* Literatur (Heliotropismus).

M. PAYER, *Mém. sur la tendance des tiges vers la lumière. Compt. rend.* 1842. 15. S. 1194. PAYER findet, daß die wachsenden Keimpflänzchen, einseitig beleuchtet, sich gegen die Lichtquelle beugen; dagegen, wenn sie vorher im Dunkeln waren und schon erwachsen sind, krümmen sie sich zunächst und dann beugen (verneigen) sie sich vor dem Lichte (*se courbent, s'inclinent*). Es soll nicht nöthig sein, daß die Krümmungsstelle selbst bestrahlt sei (?), damit sie sich in Richtung der Lichtquelle beuge (?). Die Krümmung bleibt bei jungen Stämmen keine dauernde, wenn die Urfache (Licht) aufhört. Die Krümmung wächst, je schwächer das Licht ist! Dieselbe ist unabhängig vom Medium: Wasser, Luft, Stickstoff, Wasserstoffatmosphäre. Von zwei Seiten beleuchtet, krümmt sich die Pflanze nach der stärkeren Lichtquelle. Die Krümmung unterbleibt bei gleicher Lichtstärke der beiden Seiten. Krümmung tritt in den blauen und violetten ein, in den grünen, gelben und rothen Strahlen nicht. Das blaue Licht wirkt stärker als das violette. Für die Beugung ist die chemische Action der Strahlen ohne Einfluß. — J. SACHS, Wirkung farbigen Lichtes auf Pflanzen. *Bot. Ztg.* 1864. S. 361. Handbuch der Exper.-Physik d. Gew. S. 41. — ZANDESCI, *Compt. rend.* 1843. — M. J. PAYER, *Sur la tendance des tiges vers la lumière, Compt. rend.* 1843. 16. S. 986, findet, indem er spectroscopisch untersuchte farbige Gläser vor die Keimpflanzen stellt und Ausfaaten durch das Sonnenspectrum bestrahlt, daß die heliotropische Krümmung in den blauen Strahlen am raschesten eintritt. — *De l'inflexion des tiges végétales vers la lumière colorée.* M. DUTROCHET. In dieser Abhandlung wird zunächst nachgewiesen, daß die Dicke der beugungsfähigen Stämmchen von Einfluß auf die Beugung ist, daß bei einem und demselben rothen Strahl die Krümmung verschiedener Pflanzen verschieden rasch und intensiv eintritt. DUTROCHET macht dann noch darauf aufmerksam, daß die hinter farbigen Gläsern stehenden Pflanzen immer mehr etiolirt sind, als die im gewöhnlichen Tageslicht (was sich von selbst versteht), und daß bei der Behandlung der Objecte hinter farbigen Gläsern eine Intensitätsbestimmung nicht gut möglich ist. (*Ann. des sciences nat.* 1843). — M. PAYER, *réponse à quelques observations critiques de Mr. DUTROCHET. Compt. rend.* tome 18. S. 32. — D. M. GARDENER, Ueber die Wirkung des gelben Lichtes bei Erzeugung der grünen Farbe der Pflanzen, sowie über die Wirkung des indigofarbenen Lichtes in Betreff ihrer Bewegung nach dem Lichte. *FRORIEP's Notizen.* 1844. Nr. 649. «Wenn man eine Rübenfaat dem Sonnenspectrum in einem Kasten ohne Fächer aussetzt, so bemerkt man, daß die Pflanzen sich sämmtlich einer gemeinfamen Axe zuneigen; die von den rothen, orangefarbenen, gelben und grünen Strahlen getroffenen neigen sich gegen den indigofarbenen Strahl, während die von dem violetten Strahle beleuchteten Pflänzchen sich jenen entgegenneigen. Setzt

der Verfuhszeit bei gleicher Temperatur (22^o C.) in einem dunklen Blechkasten. Dauer der Infolation je 6 Stunden an 2 Tagen. Gesamtdauer des Verfuches 30 Stunden.

Entfernung vom Brennpunkt der dreizölligen Linse.	Intensität des Lichts.	Positive oder negative Beugung.
J 15 ctm	3,999	—
J ₂ 25 »	1,440	o
J ₄ 100 »	0,009	+
J ₆ 700 »	0,00018	+
J ₈ 1500 »	0,00004	+

Die Hypothesen zur Erklärung der in dem Vorstehenden geschilderten heliotropischen Krümmung sind die folgenden:

man das Experiment hinlänglich lange fort, so nimmt die Saat sich aus wie ein Kornfeld, dessen Halme durch zwei entgegengesetzte Winde niedergelegt worden sind. Die gemeinschaftliche Axe, welcher sich die Pflänzchen zuneigen, ist die Linie, nach welcher der indigoblaue Strahl FRAUENHOFER's vom Prisma nach dem Samenbeete gerichtet ist. Die in dem indigoblauen Licht selbst stehenden Pflänzchen neigen sich gerade nach dem Punkte des Prisma hin, von welchem aus ihnen das Licht zugeht; die vom rothen, orangefarbenen etc. Strahle getroffenen Pflänzchen richten sich nicht direct nach dem Prisma, sondern schief nach den Pflänzchen zu, welche vom indigofarbenen Strahl beleuchtet sind. Diese seitliche Beleuchtung nimmt ab, je nachdem die Pflänzchen der Axe näher stehen, so daß die vom blauen und violetten Strahle getroffenen von der Linie, welcher die sie beleuchtenden Strahlen folgen, nur wenig abweichen.» Aus diesen und ähnlichen Versuchen schließt Dr. GARDENER, daß die die Bewegung hervorbringende Kraft in dem indigofarbenen Strahl enthalten sei. Weiter findet er: 1) daß die im Dunkeln erwachsenden Pflanzen empfindlicher sind, als die grünen; 2) daß die heliotropische Krümmung bei längerem Verweilen im Dunkeln wieder verschwindet. GARDENER stellt sich übrigens vor, daß bestimmten Strahlen, nach seiner Beobachtung den indigofarbenen, eine Art heliotropische Wirkung zukomme, und daß der Heliotropismus von der strahlenden Wärme unabhängig sei. — GUILLEMIN, *Production de la chlorophylle et direction des tiges etc.*, *Annal. des sciences nat.*, tome VII. S. 161, findet, daß die Krümmung gegen die ultravioletten Strahlen stärker als gegen jeden andern sei. Er wandte verschiedene Prismen an und kommt zu folgenden Resultaten: 1) Junge etiolirte Pflanzen krümmen sich unter dem Einfluß aller Strahlen des Sonnenspectrums mit Ausnahme der wenigst brechbaren Wärmestrahlen, oder der strahlenden Wärme von niedriger Temperatur. 2) Die weniger brechbaren Wärmestrahlen und die chemischen Strahlen von größerer Brechbarkeit als die violetten zeigen zwei Maxima der Wirkung auf die Krümmung der Stengel. Das erste Maximum der Krümmung liegt zwischen den Strahlen H und J. Das zweite von geringerer Wirkung kommt den Wärmestrahlen zu und rückt um so mehr gegen E und C, je höher die Sonne steht. Diese beiden Maxima sind durch das bei F liegende Minimum getrennt. Die seitliche Krümmung (?) erstreckt sich jenseits des äußersten Roth und Violett; sie hat als Centrum die

1° Licht-, resp. Wärmestraahlen, die ein gerades, aber zur Beugung disponirtes Keimpflänzchen einseitig treffen, ohne eine Krümmung zu ver-

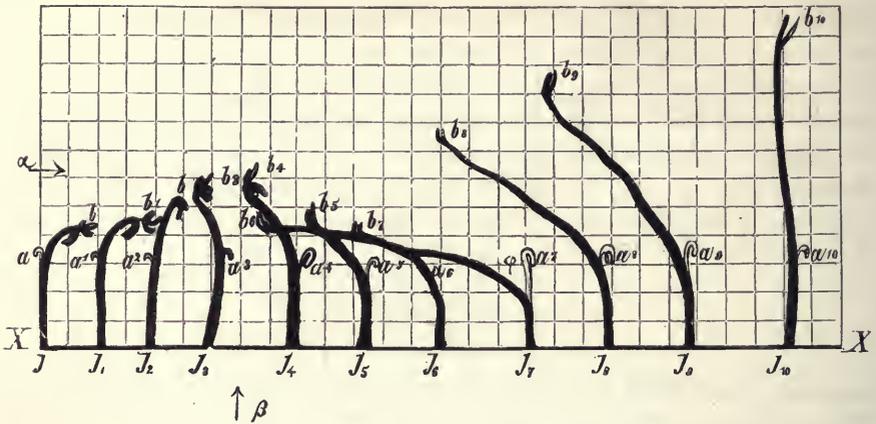


FIG. 255.

anlassen, müssen dasselbe ungehindert durchstrahlen, so daß der Unterschied der mechanischen Wirkung für Vorder- und Hinterseite verschwindend klein ist;

2° am kleinsten ist dieser Unterschied für die rothen und dunklen Wärmestraahlen; er wird um so größer, je mehr man sich dem violetten Ende nähert.

Das Etiement (Vergeilen) ist der Zustand, in welchen wachsende Pflanzen in absoletter Dunkelheit übergehen. Es ist aber leicht einzusehen, daß zwischen diesem und dem gewöhnlichen sogenannten Lichtzustande für

Indigostrahlen und tritt häufig ein, trotz der Schirme, welche die einzelnen Strahlen trennen (?). — ZANDESCHI, *De l'influence qu'exercent sur la végétation et la germination des graines les rayons soleures etc.* Compt. rend. 1843. S. 747. — J. SACHS, Wirkungen farbigen Lichtes auf Pflanzen. Bot. Ztg. 1864. S. 362. «Ganz anders ist das Verhältniß der heliotropischen Krümmung zu dem verschiedenfarbigen Licht, was besonders bei Sinapis und Carthamus hervortrat: im orangen Lichte blieben die Stengel völlig gerade, wie im Finstern, im blauen krümmten sie sich in Bogen von 60–80° concav nach dem Fenster hin. Diese Thatfache, die ich schon früher kennen gelernt habe, stimmt nicht genau mit den Angaben GARDENER's und GUILLEMIN's, da nach diesen auch in dem Gemisch von rothen, orangen und gelben Strahlen eine, wenn auch geringere Krümmung hätte eintreten müssen. Diese Differenz dürfte wesentlich auf der Verschiedenheit der Beobachtungsmethode beruhen; die von ZANDESCHI läßt sich mit der meinigen eher vergleichen; er fand, wie oben angegeben, daß hinter rothem, orangem und gelbem Glas die Krümmung unterbleibt.» Handbuch der experiment. Physiologie. S. 41. — HOFMEISTER, Die Lehre von der Pflanzenzelle. S. 288 ff. — A. B. FRANK, Beiträge zur Pflanzenphysiologie. Leipzig. Engelmann. S. 91 ff. — TH. CISIELSKI, Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel. Inaug.-Differt. Breslau 1871. R. Niszkowsky. — N. J. C. MÜLLER, Wachsthumsercheinungen der Wurzel. Bot. Ztg. 1871. S. 722.

sonst gleiche Phase mit stetigem Uebergang der Lichtintensität alle möglichen Zwischenstufen bestehen müssen. Die Zuwächse vieler solcher Pflanzen von gleicher Anfangslänge für gleiche Zeit sind eine stetige Function der Lichtintensität. Daraus ergibt sich zunächst schon mit Nothwendigkeit die

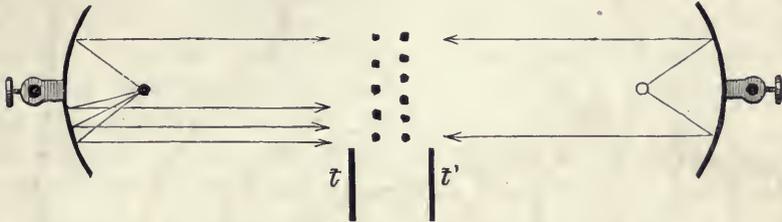


FIG. 256. t t' sind zwei Thermometer, der eine zeigt 10° , der andere 17° C.

Krümmung nach dem Licht hin, oder von ihm hinweg, ohne jede weitere Voraussetzung, als die, daß Licht auf dem Wege von der Licht- nach der Schattenseite verschwindet. Denn denken wir uns eine Pflanze einseitig beleuchtet mit der Lichtintensität a und dem Zuwachs α , die zweite Pflanze gleicher Phase und Ausfaat und Art mit der Lichtintensität a' und dem Zuwachs α' für das gleiche Zeitintervall, so brauchen wir nur unter der Annahme vollständiger Gleichheit beider Individuen die beiden Pflanzen für daselbe Zeitintervall so verwachsen zu denken, daß die mit der Intensität a beleuchtete die Vorder-, während die mit a' beleuchtete die Hinterseite eines dritten Individuums wird, um einzusehen, daß bei diesem eine Krümmung eintreten muß, wenn $a > a'$. Die Krümmung wird so lange fortschreiten, bis Vorder- und Hinterseite gleich viel Licht erhalten, d. h. bis die Achse des Stämmchens mit dem einfallenden Strahl zusammenfällt.

Die Strahlen dunkler Wärme von verschiedenem mechanischem Effect müssen unserer Theorie nach dieselbe Wirkung auf Keimpflänzchen haben, die sonst zu positivem Heliotropismus disponirt sind. Um dieß zu erweisen, stellte ich zwischen zwei Kugelreflectoren von Neufilber eine Colonne von Keimpflänzchen der Kresse derart auf, daß der eine Reflector, in dessen Brennpunkt eine farblose Weingeistflamme brannte, die Colonne von der einen Front bestrahlte. Im Brennpunkt des zweiten Reflectors stand ein Eisklumpen, so daß die Strahlen derselben parallel vom Spiegel kommend, die andere Seite der Colonne trafen. Nach zwölfstündiger Bestrahlung waren die Pflänzchen nach dem Reflector der Weingeistlampe indeß nur wenig hingebugt.

Fig. 257 A stellt die Zustände der Beugung für ein kleineres weniger erwachsenes Pflänzchen, bei welchem die Beugung entschieden negativ war, Fig. 257 B dieselben für ein größeres dar. Man sieht leicht, daß auch

hier die positive und negative Beugung an einem und demselben Individuum gleichzeitig auftreten. Ich habe nur noch zu bemerken, daß in diesem Versuch der Gesamtanblick der Colonne doch wesentlich abweichend war von demjenigen einer unter dem Einfluß des Sonnenlichts gebeugten. In letzterem sind die Keimpflänzchen gleichmäßig stärker nach dem Lichtquell, sowie in dieser Richtung gekämmt. Bei ersterer hingegen neigen wohl alle bestrahlten Pflänzchen nach dem Wärmequell, aber ohne die genaue Uebereinstimmung in der Richtung, da die Reflectoren denn auch niemals streng parallele Strahlenbündel ausfenden, aber der Versuch beweist nur um so mehr, daß dunkle Wärmestrahlen die Pflänzchen so vollkommen durchstrahlen, daß der Unterschied des mechanischen Effectes der Licht- und Schattenseite verschwindend klein ist. Bei mehrfacher Wiederholung überzeugte ich mich, — wiewohl eine geringe Beugung stets eben noch mit dem Fernrohr an einer hinter die Colonne gestellten Coordinatenplatte nach-

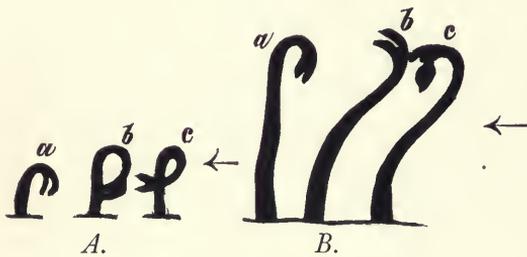


FIG. 257.

weisbar war — daß den dunklen Wärmestrahlen die geringste Wirkung zukommt. Wir können uns nun gleichwohl nicht vorstellen, daß diese geringe Wirkung gegenüber den leuchtenden daher rühre, daß dunkle strahlende Wärme gar nicht absorbiert würde,

vielmehr muß die Vorstellung Platz greifen, daß sie möglichst vollständig, aber ohne einen mechanischen Unterschied für Licht- und Schattenseite zu bewirken, absorbiert werden.

Mit abnehmender Lichtintensität sinken die den Zuwachs beeinflussenden Functionen, das Ergrünen, die Assimilation und Erwärmung und in Folge davon die Zuwächse, bis endlich das partielle und schließlich das totale Etiolement eintritt, wodurch der Zuwachs wieder zunimmt. Zwei Pflänzchen gleicher Art und Phase werden also, wenn das eine bei höherer Lichtintensität negativ, und wenn das andere bei niedriger Lichtintensität positiv heliotropisch geworden ist, sich noch dadurch unterscheiden, daß das eine weniger etiolirt, also von größerem Trockengewicht ist als das andere. Der negative Heliotropismus ist also eine Folge der von der Licht- nach der Schattenseite abnehmenden Assimilation oder Disgregation der größten Masse. Der positive Heliotropismus hingegen ist eine Folge des von der Licht- nach der Schattenseite zunehmenden Etiolements oder der Disgregation der kleinsten Masse.

5. Versuche im Sonnenspectrum.

Mit Hilfe des Heliofaten und zweier Schwefelkohlenstoffprismen wurde ein Spectrum auf junge Keimpflanzen im dunkeln Raume geworfen und dort so lange constant erhalten, bis die Pflänzchen sich im positiven Sinne krümmten und bis ein merklicher Zuwachs erreicht war.

Ich stellte sechs parallelipedische Töpfe mit gleichaltrigen Ausfaaten der Kresse so hinter- und übereinander auf, daß alle das Spectrum aufgingen. Im ersten Topf, welcher dem Spectralapparat am nächsten war, wirkten Violett und Blau; Grün, Gelb, Orange und Roth waren wirkungslos; im zweiten erstreckte sich der positive Heliotropismus noch über Grün und Gelbgrün. Im dritten und vierten wirkte Violett nicht mehr, d. h. es verhielten sich die dort stehenden Pflänzchen, wie wenn sie von beiden Seiten verdunkelt wären. Die positive Beugung ging aber links bis etwa *C* und *D* vor. Im fünften und sechsten war das Maximum der positiven Beugung im Orange und sank langsam nach dem rothen Ende.

Die Krümmung wird mit der Entfernung vom Lichtquell mit abnehmender Intensität aller Strahlen im blauen Ende zuerst, im rothen zuletzt enden, d. h. je schwächer das Licht wird, um so mehr wird Blau wie absolute Dunkelheit, Gelb und Roth wie vorher Blau, mit zunehmender Entfernung werden natürlich alle Strahlen zuletzt wie Dunkelheit wirken. Das partielle Etiolement fängt im Blau zuerst an und geht hier auch zuerst mit der Entfernung vom Lichtquell in totales über. Im Roth beginnt und endet daselbe unter gleichen Umständen später, d. h. in größerer Entfernung, bei geringerer Lichtstärke.

Die seitliche Krümmung beruht nach derselben Annahme darauf, daß in einer Colonne von Pflänzchen, auf welche ein Spectrum geworfen wird, die vom Gelb oder Roth beleuchteten ihren blau und violett beleuchteten Nachbarn noch so viel Strahlen von größerem Wärmeeffect zusenden, daß die gelb beleuchtete linke Seite der im blauen Theil des Spectrums stehenden Pflänzchen zur Lichtseite, während ihre blau beleuchtete rechte Seite zur Schattenseite wird, so daß die roth beleuchtete dann weniger etiolirt, wie die blau beleuchtete.

6. Prädisposition und Anpassung.

Die anatomische Beschaffenheit aller flachen, später dem Lichte exponirten Organe ist als eine Anpassung an den Lichtgenuß aufzufassen. Die beleuchtete Seite ist verschieden von der Schattenseite. Dahin gehört in erster Linie das Laubblatt, sodann die Lager der Marchantieen, die ober- und unterschlächtigen Blätter der Jungermannieen u. a. m.

Die Brutknospen der Marchantieen differenziren ihr Gewebe in eine

Licht- und Schattenseite im Zeitraum von zehn Stunden nach der Ausfaat (f. oben Gravitation).

7. Polarisation.

Auch das Licht vermag dieselben Pflanzentheile zu polarisiren. Die positiv heliotropische Bewegung bei dickeren Keimstengeln der *Vicia Faba* verläuft ziemlich langsam. Im Allgemeinen erfordert die in Folge eines Lichtreizes eintretende Krümmung um so längere Zeit, je dicker der zu krümmende Stengel ist. Lange

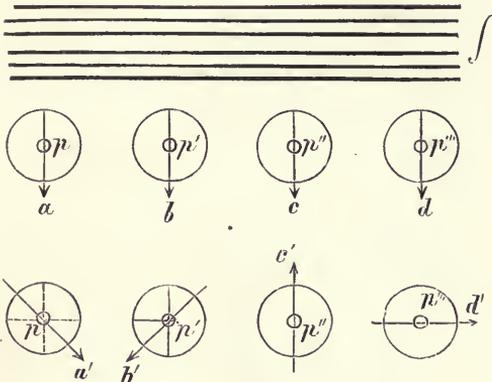


FIG. 258.

bevor die leiseste Krümmung gegen den Lichtstrahl äußerlich sichtbar ist, besteht eine innere Spannung, eine, bezogen auf die Richtung des einfallenden Strahles asymmetrische Vertheilung der Abstoßungskräfte. Man kann diesen Zustand herbeiführen, indem man das diffuse Tageslicht, welches die in einem Kasten stehenden Töpfe *a, b, c, d*, Fig. 258, trifft, durch

mehrere Schirme *S S*, aus dünnem Papier schützt.

Durch Mehrung oder Minderung dieser Schirme ist man im Stande, den Lichtgrad zu finden, welcher der betreffenden Pflanze zukommt.

Es mögen *p p'*, Fig. 258, die Projectionen der Keimpflänzchen sein, welche zwar unter dem geringen Lichtreiz geradlinig gewachsen, in die Ebene des Pfeiles aber polarisirt sind.

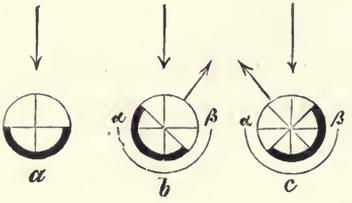


FIG. 259.

Nimmt man nun plötzlich einen Theil der Schirme weg, so bewirkt diese Steigerung der Intensität, daß die geraden Pflänzchen in wenigen Minuten im positiv heliotropischen Sinne eine Beugung ausführen, welche unter anderen Bedingungen mehrere Stunden, ja Tage in Anspruch

nimmt.

Dreht man die Polarisationsebene, deren Lage man durch zwei Kreidestriche an dem Topf markirt hat, zu dem einfallenden Strahl, ehe man die Zahl der Schirme vermindert, so wird dadurch die Polarisationsebene zur Einfallsebene des reizenden Strahles verschoben, die Pflanzen krümmen sich nicht mehr in einer Ebene, sie beschreiben eine Schraube.

Vor der Drehung der Polarisationsebene waren in den Projectionen auf dem Querschnitt von p die Repulsivkräfte, welche die Wachstumsrichtung beeinflussen, zu dem einfallenden Strahle bei allen so vertheilt, wie es Fig. 259 a veranschaulicht; es bedeuten die Schattenseiten in diesem Falle die Orte, wo sich die Abstoßungskräfte angehäuft haben. Nach der Drehung zu dem einfallenden Strahle ist die Lage der früheren zu den jetzigen Schattenseiten durch die Lage der schwarzen Halbkreise zu $\alpha \beta$ dargestellt, der Lichtwechsel bewirkt das rapide Auslösen der in den ersten Schattenseiten angehäuften Spannung, gleichzeitig aber auch einen neuen Anstoß in Richtung des einfallenden Strahles. Beide Kräfte setzen sich zusammen und führen den wachsenden Stamm in eine rechts- oder linksumläufige Schraube.

Nur den Stämmen, mit Ausnahme der flachen, darf man die Eigenschaft einer anfänglich gleichen Vertheilung der Repulsivkräfte zusprechen.

Morphologisch-symmetrische, nach zwei Richtungen ungleiche Gebilde wie die

Blätter, welche schon äußerlich eine Ober- und eine Unterseite zeigen, besitzen eine schon in der Evolution verderbliche ungleiche Vertheilung.

Vor allen deutlich tritt dieses bei den Trauerbäumen auf, deren an den hängenden Zweigen befindliche Blätter sämtlich Drehungen von 180° ausführen, um die morphologische Oberseite des Blattes nach der Evolution zur wirklichen Lichtseite zu machen.

Bei der Hängeesche mit gefiederten Blättern drehen sich hiebei die einzelnen Fieder oft unabhängig vom Hauptblattstiele in dem einen oder andern Sinne, bis sie die gewünschte Lichtlage erreichen.

Zu den schönsten hier einschlägigen Phänomenen aber gehörten die Drehungen von *Phaseolus*, welche in der oben geschilderten Weise in schwächster einseitiger Beleuchtung gezüchtet wurden.

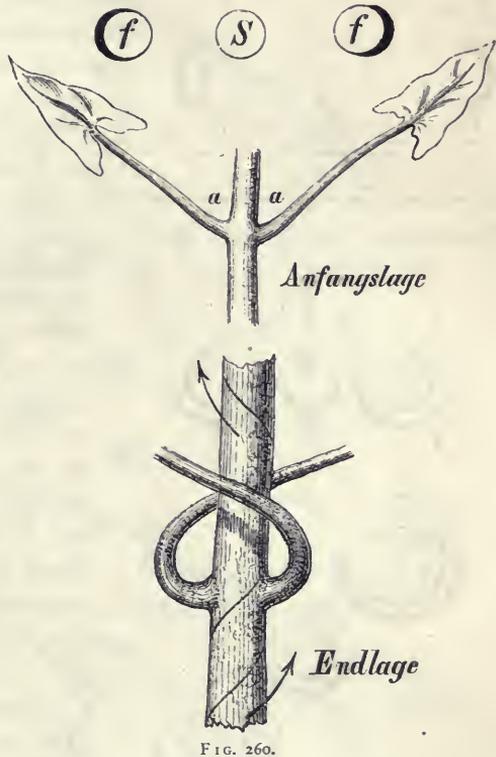


FIG. 260.

Die beiden ersten Laubblätter ff' , Fig. 260, mit dem Stammquerschnitte auf eine senkrecht zum Stamme stehende Ebene projicirt, besitzen der Anlage nach ihre Spannkkräfte f_0 vertheilt, wie es der Contour Fig. 261

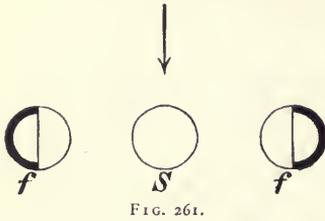


FIG. 261.

stellt dann in den Contouren die Vertheilung der Spannung dar vor der Polarifation. Der Stamm ist nach allen Richtungen gleich. In Fig. 262 *A*

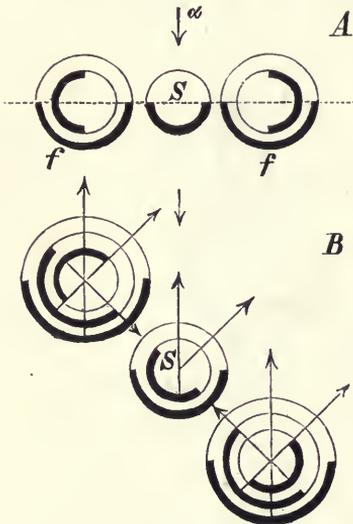


FIG. 262.

zeigt. Es äußert sich dieß, wie bekannt, fonst darin, daß die Winkel aa' , Fig. 260, verkleinert und vergrößert werden. Die Anfangslage, Fig. 260, kann nun durch die Reizung in die Endlage übergeföhrt werden, dadurch, daß man in dem oben beschriebenen Sinne polarifirt. Hierbei möge die Pfeilrichtung die Polarifationsebene sein. Fig. 261

stellt dann in den Contouren die Vertheilung der Spannung dar vor der Polarifation. Der Stamm ist nach allen Richtungen gleich. In Fig. 262 *A* möge die Vertheilung der Kräfte nach der Polarifation zu dem Strahle α dargestellt sein. Nunmehr wird das System gedreht und in der früheren Richtung α durch Hinwegnehmen eines Theiles der Schirme gereizt. Die Vertheilung ist nun f_0 , wie Fig. 262 *B* zeigt, wobei zu beachten ist, daß die Dauer der bewegenden Kräfte, deren Vertheilung durch die Ringe dargestellt sein möge, von innen nach außen abnimmt; das Hinwegnehmen der Schirme bewirkt aber nur einen Anstoß. Die Prädisposition (Fig. 261), die Polarifation (Fig. 260 *A*) und Reizung (Fig. 262 *B*) bilden somit drei Componenten der Drehung, welche das System in die Endlage, Fig. 260, führen.

8. Bewegung der Schwärmsporen gegen das Licht¹⁾.

Die Schwärmsporen der Algen bewegen sich in geraden, zickzack- oder schraubenlinigen Bahnen im Wasser und orientiren ihre Bahn in bestimmtem Sinne zum Lichte. Bei einseitiger Bestrahlung mit diffusem Tageslicht gruppiren sie sich in Tupfen oder Streifen (Fig. 263).

Nach einer Mittheilung NÄGELI's¹⁾ gruppiren sich die Schwärmer einer Volvocinee, welche ihm von A. BRAUN zugefandt wurden, auf einem Teller,

¹⁾ NÄGELI, Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik. Bd. I. S. 106. Leipzig, Engelmann. — J. SACHS, Emulsionsfiguren. Flora. 1876. No. 16 ff.

welcher einseitig in der Richtung *c* vom Fenster beleuchtet war, in eine dichter bevölkerte Randzone und zahlreiche Schwärminfelnen, welche nach der Lichtseite hin kleiner wie nach der Schattenseite sind. Die Abstände

sind an der Lichtseite kleiner wie im Centrum des Tellers. Nachdem die Anordnung durch Umrühren gestört war, stellte sie sich doch nach wenigen Minuten der Ruhe wieder her.

Nachdem der Teller die Nacht über bei 5° C. gestanden, sammelten sich nun die Schwärmer in dendritischen Bahnen, mit mehrfacher Verästelung. Die Hauptaxe war nach dem Lichte orientirt und strahlte von der dichteren Randschicht aus.

Bei dieser Anordnung ist bemerkenswerth, daß die oberen jüngeren Aeste unter spitzem, die unteren unter nahezu rechtem Winkel von der Hauptaxe divergiren. Die Anordnung der Zweige war indeß steten Veränderungen während des Tages unterworfen.

J. SACHS hat in neuerer Zeit diese Figuren zum Gegenstand einer ein-

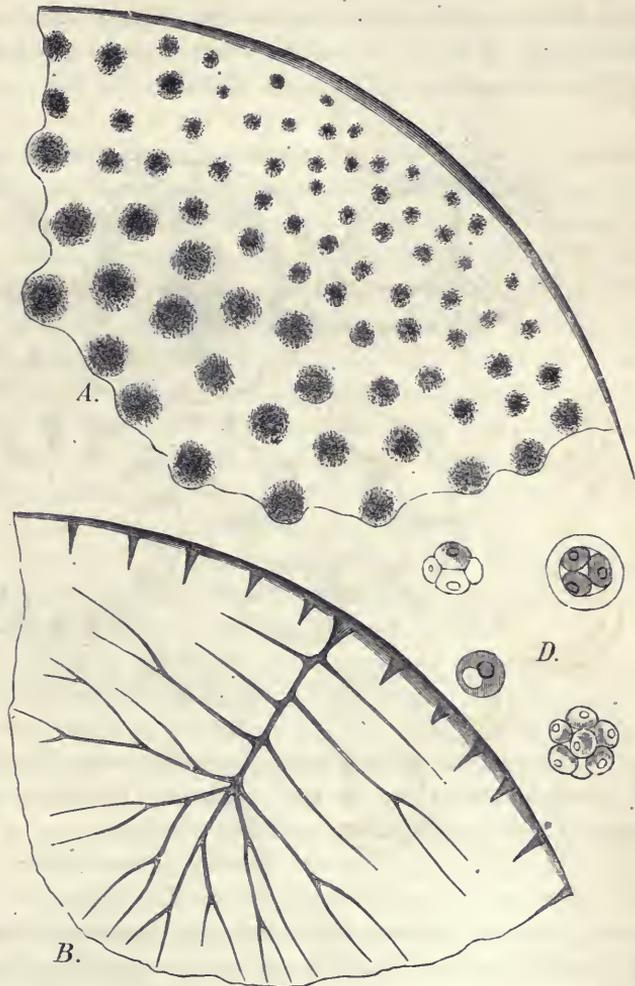


FIG. 263. Tachygonium (?) spec. A. B. Anordnung der Schwärmzellen in Tupfen und baumartig verzweigten Streifen in einem mit Wasser gefüllten Teller. D. zur Ruhe gelangte Zellen, die sich durch Theilung vermehren und eine Gruppe von 4 Zellen ohne, eine andere mit Gallerthülle. (NÄGELI, Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik, 2. Heft.)

gehenden Untersuchung gemacht. Er zeigt, daß diese auffällige Vertheilung nachgeahmt werden kann, wenn man eine Emulsion von gefärbtem Oel in Alkohol in flache Tellergefäße gießt. Er theilt die entstehenden Figuren ein in concentrische und polarisirte; in ersteren kann der Teller nach allen Richtungen in zwei symmetrische Hälften zerlegt werden, bei den letzteren gibt es nur eine solche Ebene, welche mit der Richtung der Stellung zusammenfällt (f. Fig. 264 *A B C*).

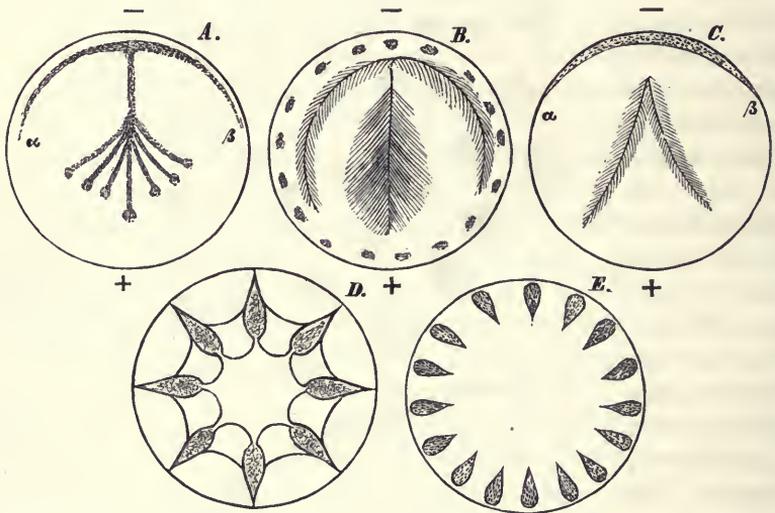


FIG. 264. Nach SACHS, in Flora 1876, Nr. 16. Emulsionsfiguren. *A B C* Symmetrische (polarisirte) Vertheilung. *D E* Concentrische Vertheilung.

Die concentrischen Figuren entstehen, wenn die Zufuhr nach allen Richtungen vom Centrum aus gleich ist. Einseitige Erwärmung, eine geringe Temperaturdifferenz zwischen den mit —, + bezeichneten Seiten, Fig. 264 *A B C*, bewirken die Bildung symmetrischer Figuren.

Die mit — bezeichnete Seite ist die kältere, die mit + die wärmere Seite. An der ersteren bildet sich eine Randlinie von gefärbtem Oel $\alpha \beta$, an letzterer nicht. Die Figuren werden erhalten, indem man den einen Tellerrand erwärmt, den andern erkaltet mit Hilfe verschieden warmer wassergefüllter Blechgefäße, Eisenstücke u. f. f. Auch die Strahlung von Fenstern, Oefen bewirkt dieselbe Anordnung, so daß es schwer hält und nur in großen Räumen möglich wird, die concentrischen Figuren zu erhalten.

Bei der Entstehung der concentrischen Figuren, Fig. *D* und *E*, sind drei Ursachen entsprechender Strömungen denkbar: erstens werden durch das Eingießen der Flüssigkeit in den Teller unregelmäßige Strömungen ein-

geleitet, welche an den Rändern anprallend, endlich in stehende Wellen übergehen, welche vom Centrum zum Umfang sich hin und her bewegen. An der Oberfläche bewirkt die Verdunstung der Flüssigkeit Abkühlung der obersten Schichte, welche sinkt, während wärmere Schichten von unten aufsteigen; so entstehen zahlreiche verticale Rotationen, welche in der Bildung von Tupfen und Netzen zum Ausdruck kommen. In der Mitte des Tellers wird ein aufsteigender, an dem Umfang ein absteigender Strom herrschen oder umgekehrt.

Hat die Flüssigkeit nicht ganz genau die Temperatur der Umgebung, so wird vom Tellerumfang oder vom Boden aus eine Erwärmung oder Abkühlung beginnen, so daß auch dadurch Ströme entstehen, welche ebenfalls in radialer Richtung oder concentrisch mit dem Umfange wirken können.

«Aehnlich, wie bei der Entstehung der Klangfiguren, theilt sich die Flüssigkeitsschicht in mehrere Partien, in deren jeder eine verticale auf- und absteigende Bewegung stattfindet; an den Grenzen je zweier Partien treffen oben und unten entgegengesetzte Bewegungen auf einander, um dann gleichlaufend neben einander auf- oder abzuftiegen; an solchen Stellen werden die Oeltropfen sich sammeln und je nachdem dieselben leichter oder schwerer als die Flüssigkeit sind, werden sie endlich auf der Oberfläche oder am Grund zur Ruhe kommen. Es ist leicht ersichtlich, daß bei diesen Vorgängen sehr unbedeutende und unmerkliche Einflüsse bestimmend auf die Form der Figur einwirken können.» (SACHS, Flora a. a. O.)

Die polarisirten Figuren entstehen nur, wenn an zwei entgegengesetzten Punkten des Tellerrandes Maxima der Abkühlung oder Erwärmung liegen. Die mit — bezeichneten Punkte in Fig. 264 *ABC* sind diese Stellen stärkster Abkühlung, oder doch schwächster Erwärmung, die mit + bezeichnen die Orte stärkster Erwärmung. Von + nach — hin nimmt die Differenz stetig ab; in der rechten und linken Hälfte sind diese Orte symmetrisch vertheilt.

Unmittelbar nachdem die Flüssigkeit in den Teller gegossen ist, machen sich, wie vorher, die Tupfen und Netze der concentrischen Figuren geltend; ist aber die Temperaturdifferenz der beiden Wärme-Pole des Tellers hinreichend groß, so entsteht eine Hauptströmung, welche endlich die andern überwiegt. So verschwinden die Tupfen und Netze und es entsteht eine Randlinie und die polarisirte Figur. An allen rechts und links liegenden Punkten zwischen + und — werden ebenfalls Strömungen entstehen, welche von der Richtung + — divergiren und von rechts und links herkommend in der Hauptrichtung auf einander treffen.

Herrscht bei +, Fig. 264, höhere, bei — niedere Temperatur, so wird die bei + erwärmte Flüssigkeit am Rande emporsteigen, in Richtung

nach — hinüberfließen, dort abwärts sinken und am Boden des Tellers wieder zurück nach + gehen. «Diese rotirende Strömung ist deutlich zu sehen, wenn der Teller bei *A* auf einem sehr warmen Körper (von etwa 60° C.) steht; in diesem Fall ist die Strömung sehr rasch und man sieht die Oeltropfen sehr deutlich an der Oberfläche von + nach —, am Grunde von — nach + hinschwimmen, bei + aufsteigen, bei — absteigen. Wie von + aus wird aber auch von jenem Punkte des Umfangs aus links und rechts eine ähnliche Strömung nach dem Punkt — hin stattfinden; die fächerartige, nach *B* hin zugespitzte Figur ist der Ausdruck dieser von rechts und links herkommenden Seitenströme, welche hier schief auf einander treffen und, indem sie an Stoßkraft verlieren, hier die leichteren Oeltropfen zur Ruhe kommen lassen; ist aber das Oel schwerer als die Flüssigkeit, so sinkt es an diesen Stellen hinab, wird am Grunde der Flüssigkeit mit den zurückkehrenden Strömen zurückgeführt, um dort liegen zu bleiben, wo diese wieder am Rande emporsteigen. Es leuchtet ein, daß eine der vorigen ähnliche Figur am Grunde entstehen muß, deren Spitze aber dem wärmeren Pole des Tellers zugekehrt ist.»

Die Randlinie bildet sich an dem kälteren Tellerrand und bleibt selbst nachdem die Figur verschwunden ist als Anhäufung aller Tropfen, nachdem alle Bewegung erloschen ist. Sie liegt am Grunde und zwar am wärmeren Rand, meist jedoch nicht als schmale Linie, sondern als breite Wolke, wenn das Oel schwerer ist. «Die rotirende Bewegung der Flüssigkeit bringt dagegen alle Oeltropfen, wenn sie leichter sind, an den kälteren Rand; weil hier die Flüssigkeit abwärts biegt, die Tropfen aber eine Tendenz nach oben haben, bleiben sie endlich alle hier an der Oberfläche liegen. Haben die Tropfen dagegen eine schwache Tendenz nach unten, d. h. ist ihr spezifisches Gewicht größer als das der Flüssigkeit, so werden sie schließlich alle da liegen bleiben, wo die letztere immer wieder emporsteigt, d. h. am Grund der wärmsten Stelle des Tellers».

9. Wirkung einseitiger Bestrahlung¹⁾.

Nur im Experiment können an höheren Pflanzen auffällige Formänderungen durch einseitige Beleuchtung hervorgerufen werden, wie die durch Fig. 265 veranschaulichte. Eine Sonnenrose wurde im Dunkelraume so aufgestellt, daß sie nur durch einen 4 cm breiten Spalt diffuses Tageslicht erhielt, während der Zeit, in welcher sie ihre Blüthen entwickelte. Der dem Lichte zugekehrte Rand ist mächtig gefördert, gegenüber dem verschatteten.

¹⁾ Ueber die einseitige Beschleunigung des Aufblühens einiger kätzchenartigen Inflorescenzen durch die Einwirkung des Lichtes. Von Dr. A. B. FRANK. — COHN, Beitr. Heft 3, S. 51. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag.

Auch an den männlichen Kätzchen von *Salix Caprea* findet man eine einseitige Förderung an der bestrahlten Außenseite, und in auffälliger Weise an der Außenseite der Zapfen bei der *Pinus montana*, *uncinata*.

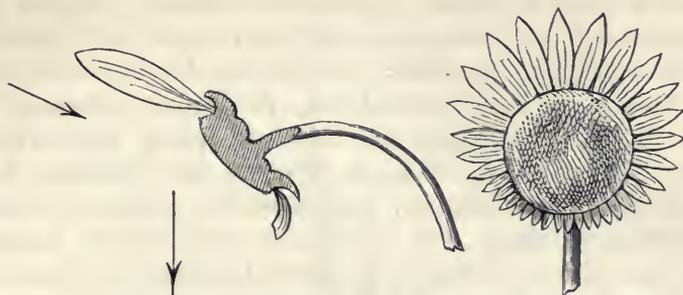


FIG. 265. Eine Sonnenrose mit gradweise geschwächten Randblüthen. Die erste Figur in der Einfallsebene des Lichtes der obere Pfeil, die zweite von der Scheibenfläche.

10. Wirkung des Lichtes auf die Zelltheilung.

FAMINTZIN¹⁾ kommt in einer Reihe von Untersuchungen an niederen Pflanzen, Algen zu diesen Resultaten:

a) Die Zelltheilung geht im Lichte, sowie im Dunkeln vor sich, sie wird nicht durch das Licht aufgehalten.

b) Die Bildung der Stärke, welche als Assimilationsprodukt in den beleuchteten Zellen auftritt, wird sofort sistirt, sowie die Beleuchtung aufhört.

c) Erlischt die Zellbildung bei anhaltender Verdunkelung in Folge davon, daß der Verbrauch der Assimilationsprodukte, insbesondere der Stärke nicht durch Neubildung gedeckt wurde, so tritt bei erneuter Beleuchtung die Stärkebildung fast instantan, die Zellbildung aber erst nach einiger Zeit ein.

d) Die Zellbildung wird nur von den minderbrechbaren Strahlen beeinflusst.

Die Angaben FAMINTZIN's haben ein gewisses Interesse, weil hier genauere Zählungen vorliegen.

1^o Aus 100 Spirogyrenzellen in einem Faden entstanden im vollen Lampenlicht, im Zeitraum von 7 Tagen, 7730 Zellen. Wurden dieselben 100 Zellen 12 Stunden beleuchtet, 12 Stunden verdunkelt, so entstanden nur 4762 Zellen.

Ebenso 8 Stunden beleuchtet, 16 Stunden verdunkelt 2810.

2^o Im schwachen Lampenlicht wurden von 100 Zellen, im Faden bei 8stündiger Beleuchtung und 16stündiger Verdunkelung, in 7 Tagen 327 Zellen gebildet.

¹⁾ Die Wirkung des Lichtes auf die Zelltheilung der Spirogyra. *Mélanges phys. et chim. Bulletin de l'acad. imp. des sciences de St.-Petersbourg. T. VII. Sep.-Abdr. 1868.*

3^o Im diffusen Tageslicht wurden in 7 Tagen bei klarem Wetter, 8 Stunden beleuchtet, 16 Stunden verdunkelt, 1194 Zellen gebildet.

4^o Im Dunkeln wurden Stärke-erfüllte Spirogyrafäden beobachtet, sie ergaben in 14 Tagen 177 Zellen, in ähnlichen Versuchen 216, 164, 137, 114.

Es stellte sich im Verlauf der Versuche heraus, daß die Zellvermehrung und die Stärkebildung einer Periode unterliegen. Die erstere beginnt schon nach 30 Minuten nach der Beleuchtung, die letztere erst nach wenigen Stunden. Es folgt hieraus, daß nach der Erschöpfung des Stärkevorrathes der Zellen während der Nacht durch Athmung und Theilung, die Stärkebildung am Tage zuerst beginnt, einen gewissen Vorsprung erreicht, ehe die Zelltheilung nachfolgt. Die Versuche in gelbem und blauem Lichte verdienen vielleicht eine Revision. F. wandte Lösungen von faurem, chromfaurem Kali und von Kupferoxyd in Ammoniak an.

§ 27. Formverhältnisse, welche complexen Einwirkungen aus der Bestrahlung und gegenseitigen Lage der Organe entspringen.

Ein Hauptzug in dem Auszweigungssystem der Pflanzen, welche eine Hauptaxe in die Lothrichtung orientiren, so namentlich der Bäume, besteht in der Veränderlichkeit des Winkels zwischen dem Haupttrieb und dem Seitentrieb. Da die letzteren mit dem Haupttrieb um Licht und Raum concurriren, durch den größeren Vorsprung der ersteren aber in der Zeit benachtheiligt sind, so findet man allgemein, daß der Winkel zwischen beiden Richtungen von der Spitze nach der Basis wächst, Fig. 266.

Zur Gravitation und zum Lichte verhalten sich daher solche Zweige auch an den wachsenden Spitzen wesentlich abweichend, wie sonstige saftreiche einjährige Pflanzen: sie krümmen sich draußen weder im Sinne der geotropischen, noch heliotropischen Pflanzen.

Der Vortheil, welchen die unteren Aeste in φ''' , Fig. 266, erreichen, wenn sie sich dem Horizont nähern, ist leicht ersichtlich, sie erreichen rascher die äußere Schale der Krone, und damit einen größeren Lichtgenuß.

1. Heliotropische und geotropische Pflanzentheile.

Die Richtung der kriechenden Pflanzen wird durch die Angewöhnung an das Licht und die Gravitation beeinflusst. Solche Pflanzen können, negativ-heliotropisch, sich der Unterlage anpressen, während gleichwohl der

negative Geotropismus ihnen sonst als Charakterzug zukommt, z. B. *Polygonum aviculare*.



FIG. 266.

Fraxinus excelsior 5–6 Meter hoch. Silhouette. Das System zeigt, daß der Winkel der Äste von der Spitze nach der Basis veränderlich ist $\varphi \varphi'$ u. f. f. Die äußeren Zweige der 3. Ordnung sind die herrschenden mit Ausnahme der endständigen.

Populus laurifolia, Silhouette. Man beachte die Winkel der Äste der 1. Ordnung. Das System veranschaulicht: In dem Aste φ''' ist der Haupttrieb in o eingegangen, der Ast der 3. Ordnung ersetzt die Hauptrichtung. Die Äste der 3. Ordnung $\alpha' \alpha''$, welche nach außen und unten gehen, überwiegen die nach oben gerichteten.

Nicht heliotropisch, aber positiv-geotropisch sind die Ausläufer der Fragarien. Negativ-geotropisch sind die Convallarien, *C. multiflora* und *latifolia*. Geotropisch sind die Coniferenzweige, welche draußen horizontal standen, beugen sich im Experiment senkrecht, die Spitze nach unten aufgestellt, so lange bis das Zuwachsstück horizontal steht.

Wie schon oben gezeigt, S. 251, erweisen sich die Laubblätter, welche ihre Spreite horizontal stellen, allein von dem Einfluß der Gravitation abhängig. Die jungen Marchantieentriebe sind negativ-geotropisch. In älteren aber überwiegt der (Transversal-)Heliotropismus, sie stellen sich daher normal zum einfallenden Lichtstrahl.

FRANK will für die hier zu betrachtenden Phänomene zwei ver-

schiedene Bewegungen unterschieden wissen: den Longitudinal-Heliotropismus und -Geotropismus für alle cylindrischen Gebilde, Stengel, Wurzeln, Blattstiele u. f. f. und den Transverfal-Heliotropismus und -Geotropismus für die Blattspreiten und flachen Lager¹⁾.

2. Lage der Hauptaxe zum Loth.

Ein geradwüchsigter Stamm unserer Waldbäume kann durch die Bedingungen seines Wohnortes oder durch Zufall in diese vier Lagen gerathen.

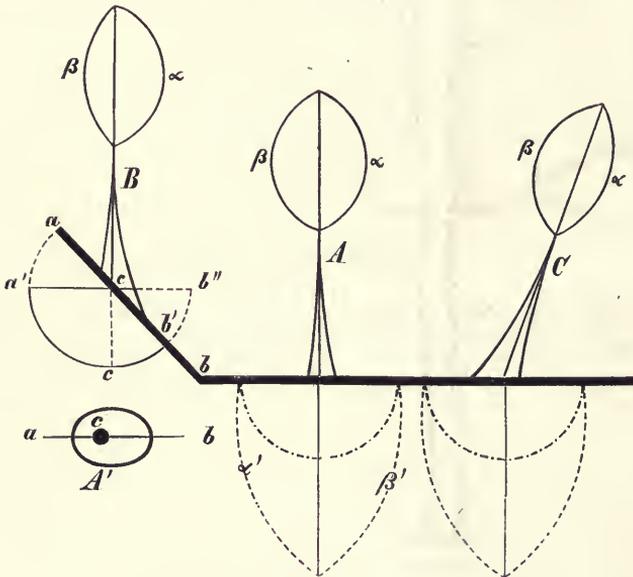


FIG. 267.

Er steht im Loth an der Böschung a, b, B , er steht vertical in der Ebene gleichmäßig nach allen Richtungen verschattet oder gleichmäßig ebenso beleuchtet, A . Er steht in der Ebene geneigt, C . Endlich kann er ein Randbaum sein in einer dieser Lagen.

Es kommt durch diese Lagen eine complexe Bewegung in der Entfaltung und dem Dickenwachstum zu Stande, welche sich zuletzt selbst in der anatomischen Structur der Zweige und Aeste verräth.

Bei hängenden Aesten, so bei den Aesten der sogenannten Trauerbäume Eiche, Esche, Buche u. f. f., Fig. 268, geräth der Zweig der Außenseite in den Schatten der Zweige der Innenseite. Die Folge davon ist, daß er zurückbleibt, rascher eingeht wie der letztere. In dieser Hinsicht verhält sich also der Trauerbaum gerade umgekehrt wie der Baum, welcher seine Aeste aufrecht trägt (vergl. die beiden Fig. 268).

Ein jeder Ast befindet sich also gegenüber dem Schaft, Fig. 268 A , in der Lage $B C$, Fig. 267, insofern sich eine Licht- und eine Schattenseite ausbildet.

¹⁾ FRANK, Natürliche wagrechte Richtung von Pflanzentheilen. Leipzig. H. Weißbach. 1870.

Astquerschnitte zeigen nun Fig. 269, bezogen auf die Markröhre *M*, als ideale Axe die Holzmasse verschieden vertheilt; *A*, die größere Masse liegt unten (Hyponastie). *B*, die größere Masse liegt oben (Epinastie).

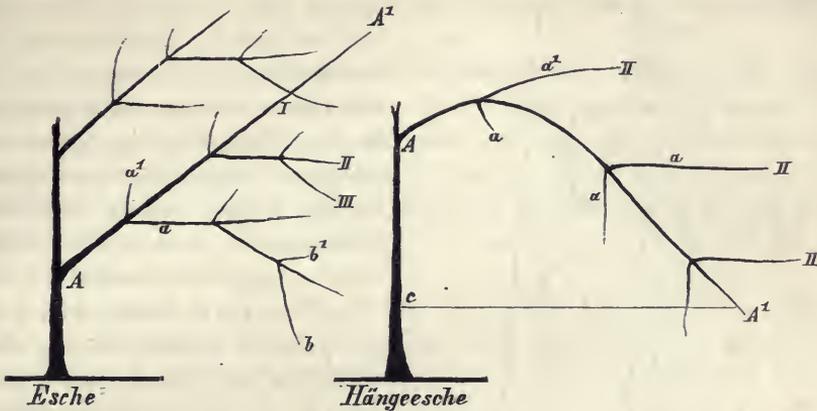


FIG. 268.

C, sie liegt links. *D*, sie liegt rechts. Diese Vertheilung ist Folge davon, daß eine größere Anzahl von Zweigen höherer Ordnung in dem gegebenen Ast an der Seite eingefügt ist, an welchen die größere Masse angehäuft ist.

1° An einem Baume, z. B. bei der Fichte, herrscht immer die Hyponastie an der Astwurzel, Fig. 270. Diese Anordnung kann als Folge des Umstandes angesehen werden, daß alle Fasern, welche aus dem Schaft *A* in den Ast eintreten, von unten kommen. Die Fasern, welche oberhalb der Markröhre in den Ast eintreten, umwandern den ganzen Astquerschnitt. Der Fasernverlauf vom Stamm nach dem Ast ist kürzer für die untere Seite, wie für die obere (f. § 32 E weiter unten).

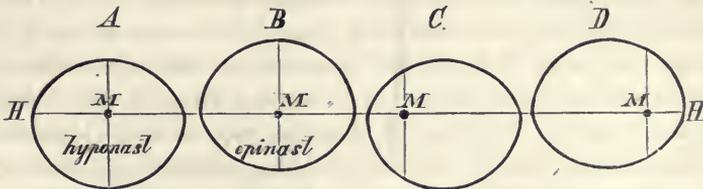


FIG. 269. Querschnitte von Buchenästen in ihrer Lage zum Horizont *H*. *M* das Mark.

2° An einem und demselben Baum kommen alle, in Fig. 269 dargestellten Verhältnisse der Holzvertheilung vor. Wir betrachten, um dieß zu erklären, zunächst den Baum unter den Bedingungen, unter welchen er sich nach allen Richtungen gleichmäßig entfalten kann. Er stehe nach allen Himmelsrichtungen frei und in der Ebene, vergl. Fig. 267. Die Krone sowie das Wurzelsystem sind alsdann nach allen Richtungen gleich stark entwickelt. Steht

er aber an einer Böschung, so bewirkt diese eine einseitige Förderung der Krone. Daselbe, wenn schon in anderer Weise, tritt ein, wenn durch Zufall der Schaft in eine geneigte Lage geräth. Die Discussion dieser drei

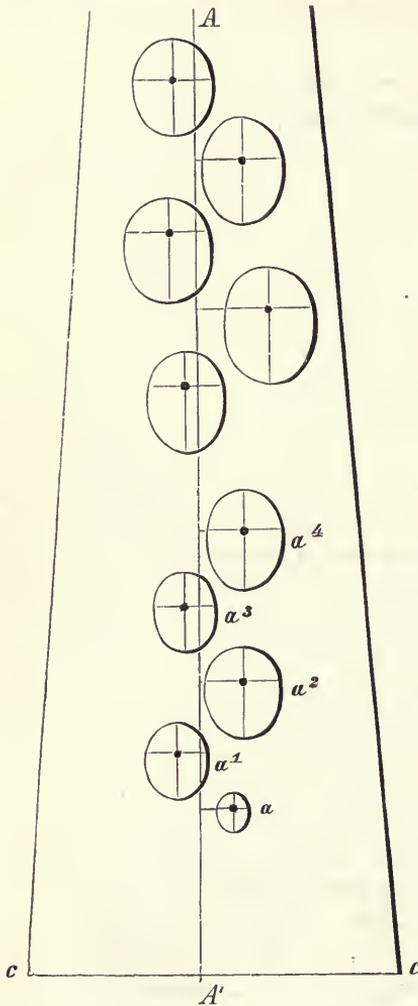


FIG. 270. 100jährige Fichte in schematischer Darstellung der Vertheilung des Holzes in Stamm und Aesten. $A A'$ Axe des Stammes. $a^1 a^2 a^3 \dots$ die aufeinanderfolgenden Aeste fast sämtlich hyponastisch. Die Längendimensionen $1/100$ nat. Gr. $c c$ Stammumfang als aufgewickelter Kegel $1/20$ nat. Gr. Astdurchmesser $1/2$ nat. Gr.

Lagen des Schaftes: die lothrechte in der Ebene, die lothrechte an der Böschung und die geneigte in der Ebene führt uns, wie zu zeigen ist, zur Erklärung derjenigen ungleichen Vertheilung des Holzes an den Aesten, welche seit C. W. SCHIMPER mit «Epinaestie und Hypo-
nastie» bezeichnet wurde.

Wenn in der lothrechten Lage des Schaftes in der Ebene die Entwicklung der Zweige nach allen Richtungen gleich, nicht etwa einseitig durch die Nachbarn gehindert ist, wenn der Boden in dem Wirkungsareal der Wurzel nach allen Richtungen homogen ist, so kann das Areal des Wurzelsystems im günstigsten Fall als eine Halbkugel, deren Aequatorialebene mit der Ebene der Bodenoberfläche zusammenfällt, oder allgemein als ein Rotationskörper angesehen werden, dessen Kreisfläche mit der Bodenfläche zusammenfällt. Der Stammquerschnitt ist in diesem Falle kreisrund und isoradiär. Bei der lothrechten Lage an der Böschung $a b$, Fig. 267, wird die Krone nach der Abhangsseite a gefördert, nach der Böschung zu beeinträchtigt. Der Stamm vertheilt seine Holzmasse so, daß in der Richtung b eine größere Masse angelegt wird, wie in der Richtung a ; wir rechnen hier von der Markröhre ab, Fig. 267 A' . Der Fall B fordert aber zu einer noch eingehenderen Discussion heraus. Nennen wir den Stamm B , wiewohl er senkrecht steht, hyponastisch, weil sein Querschnitt, Fig. 267 A' , den größten Durchmesser in der Richtung des steilsten Anstieges

der Böschung $a b$ orientirt zeigt, so lautet die Erklärung dafür: Wenn die Produktion in der Krone wegen einseitiger Bestrahlung und somit einseitiger Förderung der Blattmasse auf der betreffenden Seite stärker wird, so tritt auf derselben Seite des Schaftes eine stärkere Ablagerung des Holzes ein.

Es kommt hiebei offenbar die Leitungsgeschwindigkeit nach den drei Richtungen im Stamm in Betracht. Diese ist am größten in der Längsrichtung, eine mittlere in der radialen und eine kleinste in der tangentialen Richtung. Somit beruht die Bildung excentrischer Stämme in Folge einseitiger Ausbildung der Krone auf zwei Urfachen: auf der einseitigen Bestrahlung und der größten Leitungsgeschwindigkeit in der Längsrichtung.

Beachten wir nun, daß für den Verbrauch von plastischem Material während der Zuwachsperiode an einem beliebigen Punkte in der Fläche des Schaftes die beiden Zweigsysteme $\alpha \beta$ und $\alpha' \beta'$, Fig. 267, das der Blattregion und das der Wurzel, als zwei in Bezug auf die Ablagerung unter sich gleichwerthige Reservoirs angesehen werden müssen, von welchen das Material nach dem Orte des Verbrauches hinströmt, so sehen wir für die verschiedenen Richtungen des Stammquerschnittes gleichmäßigen Zufluß in der Längsrichtung für den Fall A , weil $\alpha \beta$ und $\alpha' \beta'$ isoradiär sind. In der Böschung $a b$ aber wird, da die positiv-geotropischen Wurzeln höchstens in horizontaler Richtung wachsen, der Rotationskörper $\alpha' \beta'$ um den Abschnitt $a a' c$ verkleinert und auf $a' c b'$ reducirt. Von der Axe CB abgerechnet, kommt somit die Seite, welche in der Krone $\beta \alpha$ gefördert ist, im Wurzelsystem um den Abschnitt $b'' c b'$ zu kurz, hierauf wird es beruhen, daß die Excentricität des Stammes in der Wirklichkeit nicht so auffällig ist, wie man aus der einseitigen Förderung der Krone erwarten sollte.

Der Fall C endlich bildet den Uebergang zu der Lage, in welcher sich die Aeste befinden. Da im Allgemeinen die intensivste Beleuchtung in zur Erdoberfläche normaler Richtung stattfindet, so besitzt der Baum C eine Licht- β und eine Schattenseite α und er bildet nach β stärker belaubte Aeste, welche demgemäß auch den Schaft nach der β -Seite mehr verdicken helfen.

Als Urfachen gleichzeitig vorkommender Epi- und Hyponastie können wir diese heranziehen:

a) die Veränderlichkeit des Winkels zwischen dem dominirenden Aste und dem Schaft. Dieß läßt sich an jedem Baume in dem Sinne constatiren, wie wir es in der Silhouette, Fig. 266, wahrnehmen, d. h. der dominirende Ast geht mit der Zeit von φ nach φ' u. s. f. über. Dieß entspricht aber dem Uebergang von A nach C , Fig. 267, und kann kurz ausgesprochen werden: Mit der Zeit geht jeder Ast der ersten Ordnung aus einer Lage, in welcher er von allen Seiten gleiche

Befstrahlung erhält, in eine Lage über, wo er eine Licht- (Ober-) und eine Schatten-(Unter-)Seite besitzt;

b) das Vorherrschcn der oberen oder unteren Aeste der nächst höheren Ordnung ist das Verhältniß, welches demgemäß zunächst herangezogen werden muß. Mustern wir die Silhouette, Fig. 268, der Aft reinigt sich innen rascher wie außen, bei der Hängeesche ist es umgekehrt. Bei der ersteren wird *A A'* hyponastisch, bei der Hängeesche wird *A A'* epinastisch.

Wir haben somit hier gezeigt, daß die ungleiche Vertheilung auf eine und dieselbe Urfache zurückgeführt werden kann.

Nennen wir, da wie oben erwiesen, von den seitlichen Aesten abzu- sehen ist, diejenigen Aeste, deren Infertionsebene (die Ebene zwischen dem tragenden Aste und dem Zweig der nächst-höheren Ordnung) mit dem Lothe zusammenfällt, «Aeste im Hauptschnitt», so können wir sagen:

1^o in dem Kampf der Baumkrone um das Lichtareal ist der Unterschied in der Wahrscheinlichkeit des Sieges (man beachte die schematische Figur des Hauptschnitts für die natürliche Reinigung der Buche) am größten für die Aeste im Hauptschnitte;

2^o da der Schattengrad von unten nach oben langsamer sinkt wie von innen nach außen, und da die dominirenden Aeste die horizontale Lage nicht völlig erreichen, so wird in den unteren Theilen der Krone der morphologisch äußere (untere), in den oberen Theilen aber der morphologisch innere (obere) Aft herrschend;

3^o daher herrscht in der unteren Region Hyponastie, in der oberen die Epinastie vor. Man könnte hier leicht einwenden, daß diese Erklärung wohl für die decussirten Blattstellungen, nicht aber für die cyklischen, namentlich nicht für die Buche Geltung haben kann. Dieser Einwurf würde zur Geltung kommen, wenn die Bäume, deren seitliche Divergenz $\frac{1}{2}$ ist, geometrisch absolut streng aus der Knospenlage herauswachsen. Für solche gäbe es allerdings nur einen Hauptschnitt, die Ebene nämlich, welche den Stamm und die Aeste der ersten Ordnung aufnimmt. Es ist aber leicht einzusehen, daß die Gesetzmäßigkeiten, welche in der Anlegung herrschten, bei der entwickelten Krone in Folge der natürlichen Reinigung verwischt sind.

c) Der Trockenast und der unterdrückte Aft der unteren Stammregion beeinflussen die Vertheilung des Holzes bei der Hainbuche. Sucht man hier die Einfügungsstelle, so findet man auch die tragende Axe zum Theil corrodirt, durch die Gummofis, welche hie und da die Zellwandungen auflöst. Von dem gefundenen Cambium des tragenden Astes aus wird eine callose, ringförmig die Basis des Trockenastes umfassende Holzmasse gebildet, welche den vermorften Aft abchnürt.

Man kann daher aus der Art und Weise der natürlichen Reinigung die Schafthölzer in aſthaltige (Fichte, Tanne, Kiefer) und aſtreine eintheilen (Buche, Eiche, Pappel, Weide). Damit ſoll nicht gefagt ſein, daß in den

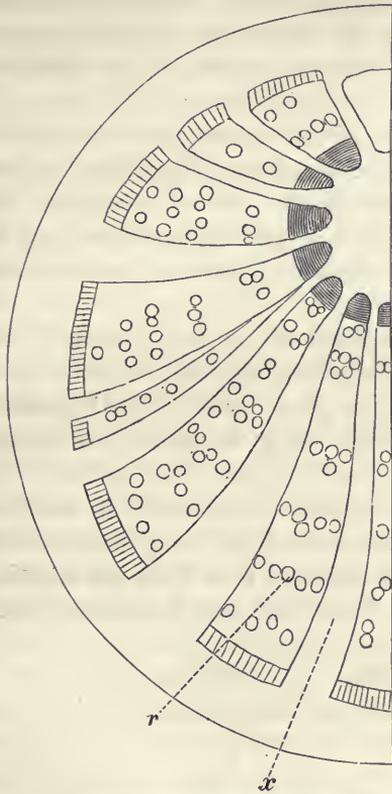


FIG. 271. *Aristolochia Serpentaria*. Querschnitt des Holzkörpers. *x* Markſtrahl, *r* Holzkörper.

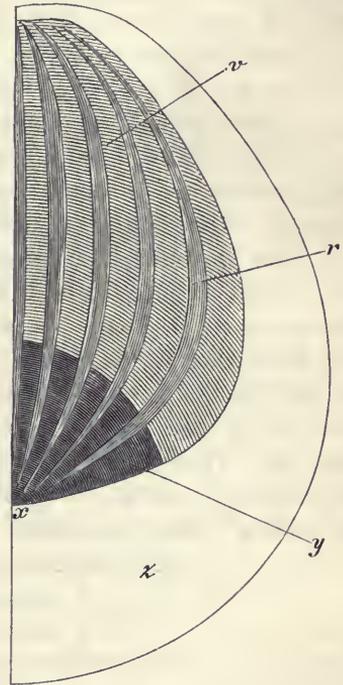


FIG. 272. *Polygala Senega*. Querschnitt des Holzkörpers. *r* Markſtrahl, *x* Holzkörpermittelpunkt, *v*, *r* Rinde.

letzteren überhaupt keine Aeſte eingewallt werden. Bei der Fichte aber iſt es Regel, daß die Holzconvolute des tragenden Stammes über den unterdrückten oder trockenen Aſt Jahrzehnte lang vorgeſchoben werden, während bei den Laubhölzern früher Bruch der Trockenzweige höherer Ordnung und muſchelförmiges Ausbrechen der mittleren Trockenäſte Regel, das Ueberwachen und Einwallen auf viele Centimeter weite Strecken die Ausnahme bilden.

d) Das Verhältniß des ausdauernden Zweigſystems zu dem alljährlich hinſälligen bewirkt Hyponaſtie bei einigen Rhizomgewächſen mit horizontal im Boden wachſendem Stamme. Am lehrreichſten iſt das Rhizom von *Afarum europæum* und *Aristolochia Serpentaria*.

Die Hyponaſtie beruht hier darauf, daß, bezogen auf das horizontal

wachsende Rhizom, die Reservoirs für die plastischen Nährkörper alle auf der Unterseite liegen: es sind die Wurzeln. Da die Blätter- und Blütenzweige einjährig sind, so kommen sie zur Zeit des Zuwachses im Holzkörper des Stammes (im Beginn der Vegetationsperiode) gar nicht in Betracht. Der periodische Zuwachs, welcher sich im Holzkörper in concentrischen Ringen isolirter Holzelemente, Fig. 271, kenntlich macht, ist auf der Oberseite fast unterblieben.

Auf der Anordnung der im Hauptschnitt belegenen Aeste beruht es, daß die der Anlage nach völlig gleichen Blätter der Decussirten (Ahorn, Esche, Roskastanie) so außerordentlich ungleiche Größen erreichen. Bei der Roskastanie und dem Ahorn wirkt dieß in auffälligster Weise auf die Massenvertheilung in denjenigen Zweigen nächster Ordnung zurück, welche ebenfalls im Hauptdurchschnitt liegen.

Ein 2 m langer horizontal stehender Ahornast aus dem unteren Theile der Krone wurde unterfucht, um eine Vorstellung von der Vertheilung der Holzmasse zu erhalten. Es wurden die Zweige derjenigen Wirtel gemessen (nachdem ihre Neigung zum Lothe bestimmt war), welche im Hauptdurchschnitt liegen. Derjenige Zweig, welcher nach abwärts gerichtet ist, erhält das positive, der aufwärts gerichtete das negative Vorzeichen. In der nachfolgenden Tabelle ist die Länge des Zweiges, die Entfernung von der Basis des tragenden Astes, die Neigung zum Lothe und zum Theil das Gewicht verzeichnet. Die aufeinander folgenden Wirtel sind mit Buchstaben belegt.

Zweig.	Neigung zum Loth.	Länge in Centimetern.	Entfernung in Centimetern.
— a1	120°	20	30
a2	65°	26	
— b1	120°	15	42
b2	65°	25	
— c1	120°	21	55
c2	65°	36	
— d1	130°	80	70
d2	70°	113	
— e1	120°	2,5	100
e2	85°	4,5	
— f1	170°	4,8	110
f2	45°	5,5	
— g1	140°	17	145
g2	45°	40	

Die Gewichte der beiden stärksten Zweige sind: 80,349 g für den abwärts gerichteten d₂, und 50,899 für den aufwärts gerichteten d, somit ein Unterschied von 29,460 g für zwei der Anlage nach gleichwerthige

Knospen. Bei den decussirten, namentlich bei der Roßkastanie, ist dieser Unterschied jedenfalls nicht von der Neigung zum Lothe direct abhängig in der Weise, daß die Gravitation den Größen- und Massenunterschied bewirkt, sondern die Bestrahlung wird für die mit dem Lothe wachsenden Blätter größer, so daß dieß Verhältniß ganz unter den Gesichtspunkt fällt, welchen wir bei Betrachtung der Fig. 268 *a' a''* S. 273 entwickelt haben.

Der Satz «ein jedes Stofftheilchen, welches in der Pflanze einkehrt, unterliegt in allen seinen Bahnen gleichzeitig dem Einfluß der Gravitation», wird somit aus den Versuchen S. 231 ff. und Beobachtungen S. 239 ff. dahin ausgesprochen werden müssen:

Ein jedes Stofftheilchen, welches gegen die Gravitation in die Pflanze hereingezogen wird, unterliegt in allen seinen Bahnen der Schwere, die Verschiebung, welche diese Componente bewirkt, ist aber verschwindend klein gegenüber derjenigen, welche durch die in dem vorhandenen System herrschenden Anziehungskräfte bewirkt wird.

Die Wirkung einseitiger Förderung der Krone zeigt sich endlich am deutlichsten in der Ausbildung der Callusmassen, welche sich an geringelten Bäumen an dem oberen Wundrande bilden. Man erkennt an solchen geringelten Aspen-, Buchen- und Eichenstämmen, welche drei Jahre vor der Abmusterung etwa handbreit geringelt wurden, daß die Callusmasse nach Süden am stärksten entwickelt ist. Sie ist über die Wunde vorgeschritten

im Norden um	2,5 mm,
Osten »	2. »
Süd-Süd-Ost um	5 »
Süd um	7,5 »
West »	2 » .

Viele hier einschlägige Phänomene lassen sich unter demselben Gesichtspunkte erklären, welcher in dem Vorstehenden dargelegt ist. So sind alle Spalierobstbäume, in welchen das System von $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{8}$ u. f. f. durch künstlichen Eingriff auf die Stellung der Zweige nach $\frac{1}{2}$ gezwungen ist und die durch Anpressen an eine feste Wand einseitiger Bestrahlung ausgefetzt sind, in der Richtung des Strahles abgeplattet.

Alle Kiefernwurzeln, gleichgültig wie ihre Lage zum Lothe, sind im Querschnitte elliptisch und stets liegt das Mark excentrisch. Der große Durchmesser aller Ellipsen fällt aber in die Ebene der Insertion der nach $\frac{1}{2}$ gestellten Seitenwurzeln. Das Mark liegt je nach der Stellung des nächsten Wurzelzweiges sowohl nach außen wie nach innen verschoben (innen entspricht der Richtung nach dem Querschnitte der Hauptwurzel).

Nach diesen Betrachtungen muß in einem und demselben Baume im unteren Theile der Krone die Hyponastie häufiger sein, weil mehr Aeste

auf der unteren Seite des tragenden Astes herrschend werden. In der mittleren Region muß sich das Verhältniß gleich bleiben. In der oberen aber muß die Epinaftie vorherrschen.

In den drei Regionen der Buchen-Krone 8 bis 15 m, 15 bis 20 m, 20 bis 23 m, fand ich:

1. Region 36 % epinaftische,
60 % hyponaftische,
4 % iforadiäre.
2. Region 36 % epinaftische,
39 % hyponaftische,
24 % iforadiäre.
3. Region 64 % epinaftische,
28 % hyponaftische,
7 % iforadiäre.

Damit ist das Phänomen entsprechend den Voraussetzungen auch im complicirtesten Fall auf die äußeren Einflüsse der Lage und Bestrahlung zurückgeführt.

An dem Rhizom der *Polygala Senega*, Fig. 272, ist der Holzkörper nur nach einer Seite typisch ausgebildet, nach der andern Seite nicht. Dieser Querschnitt muß eine Schraubenlinie beschreiben um eine in x senkrechte Axe, alsdann wird ein Körper beschrieben, in welchem die normale Holzseite bald nach oben bald nach unten bald nach der Seite des horizontal liegenden Rhizomes hinweist.

In ähnlichem Sinne, aber mit deutlicher, wennschon mit rudimentärer Ausbildung des Holzkörpers nach der oberen Seite des horizontalen Rhizomes wird bei der *Aristolochia Serpentaria*, Fig. 271, die Zuwachsmasse vorzugsweise nach unten abgechieden, weil, wie schon oben angedeutet, nach dieser Seite das größere und perennirende Reservoir der assimilirten Nährkörper liegt, nämlich die Wurzeln. Die Erklärung dieser Erscheinung fällt somit unter den in d entwickelten Gesichtspunkt.

§ 28. Periodische Bewegungserscheinungen.

Allgemeine Betrachtung der Perioden¹⁾.

Wir rechnen hieher:

1° die Bewegungen der Blätter und Fiederblätter der *Trifolium*, *Oxalis*, *Stellaria* (Keimblätter), *Mimosa pudica* (und vieler Akazien), des *Desmodium gyrans*, der *Dionnaea* und *Drosera*;

¹⁾ DAN. MÜLLER, Ueber die Reizbarkeit der Genitalien bei einigen Compositen. 789. Bot. Ztg. 53. — Dr. J. SACHS, Ueber das Bewegungsorgan und die periodischen Bewe-

2° das Oeffnen und Schließen der Blüten: Convolvulaceen, Gentianeen, Compositen und zahlreiche andere.

Hiebei ist zu beachten, daß die betreffenden Organe ausgewachsen sind, eine Spannungsänderung durch Wachsthumsvorgänge also ausgeschlossen ist. Als Urfachen der Lageänderungen, wie wir sie an den genannten Pflanzentheilen beobachten, werden wir ansehen:

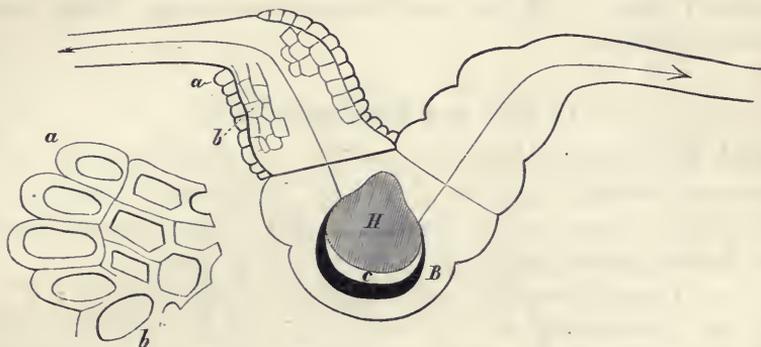


FIG. 273. *Acacia lophanta*. Querschnitt der Blattrippe an der Einfügung zweier Fiederblättchen. *a b* vergrößerte Parthie der Außenzellen vom Gelenkpolster. *H* Gefäßbündel, *C* Cambium, *B* Bast desselben.

1° den Wechsel äußerer Zustände Tag und Nacht, Licht und Dunkel, höhere und niedere Temperatur (allgemein Temperaturwechsel), künstliche Eingriffe, Druck, Erschütterung, Berührung, electriche Schläge, Veränderung des Druckes der Atmosphäre, Einwirkung schädlicher Gase und Dämpfe (Kohlenäure, Alkohol, Aetherdampf);

2° innere Zustandsänderungen werden hervorgerufen durch ungleiche Ernährung, Verdunstung, Athmung in den verschiedenen hintereinanderbelegenen Zeitpunkten.

Hier wird man beachten müssen, daß, wenn ein äußerer Wechsel, z. B. in der Beleuchtung oder Temperatur die Reizpflanze so afficirt, daß die in ihren Zellen strömenden Assimilationsproducte gehäuft oder vermindert werden, die volle Rückwirkung über das ganze System der Pflanze Zeit in Anspruch nimmt, daß eine Verzögerung in der Wirkung des äußeren Zustandswechsels an der Pflanze eintritt.

Auf die innern Zustandsänderungen wird man leicht aufmerksam, wenn man eine und dieselbe Pflanze ein Mal bei constantem Drucke an einem Quecksilbermanometer, das andere Mal (bei sonst gleichen Umständen)

gungen der Blätter von *Phaseolus* und *Oxalis*. 793. 809. Bot. Ztg. 57. — W. KABSCH, Ueber die Einwirkung verschiedener Gase und des luftverdünnten Raumes auf die Bewegungsercheinungen im Pflanzenreiche. 341. 53. Bot. Ztg. 62. — W. PFEFFER, Ueber Fortpflanzung des Reizes bei *Mimosa pudica*. PRINGSH. Jahrb. Bd. IX. S. 309. HECKEL's Ansichten über Reizbewegungen. 289. Bot. Ztg. 75.

bei sinkendem Drucke verdunsten läßt. Bei constantem Drucke sind die Wassermengen, welche verdunsten, constant. Sinkt aber während der Verdunstung der Druck in dem Manometer bis 0 und damit die in der Zeiteinheit verdunstende Wassermenge, so ändert sich der Zustand der Vertheilung namentlich dann, wenn die Pflanze in's Saugen geräth (also einen negativen Druck erfährt). Steigert man jetzt plötzlich den Druck auf die anfängliche Größe, so ist die Verdunstung jetzt anfangs kleiner wie im Beginn des Versuches.

A. Tag- und Nachtperioden¹⁾.

Sind die Stellungsänderungen von Tag und Nacht abhängig, so muß die Bewegungsursache Folge des Licht- oder Temperaturwechsels sein. Mit diesen täglichen Perioden aber coincidiren mehr oder weniger genau die inneren Zustandsänderungen an der Pflanze. Diese sind:

1^o die Gewebefspannung, welche Nachts im Maximum ist;

2^o die Verdunstung, welche Nachts ihr Minimum erreicht;

3^o der größte Wassergehalt der Gewebe in Folge von 2^o wird Nachts erreicht.

Ueber die Periodicität der Gewebefspannung mögen die Arbeiten MILLARDET's herangezogen werden, um so mehr, als dieser Forscher gerade die sehr empfindliche *Mimosa pudica* als Studienobject gewählt hat. Er stellte eine Mimosenpflanze unter dem Winkel von 45^o geneigt an's Fenster auf und führte von einem oberen Internodium einen Seidenfaden nach einem Zeiger, welcher um eine horizontale Axe in einer verticalen Ebene sich bewegt.

Mit Hilfe dieses Apparates kann bestimmt werden, wie rasch die geotropische Krümmung erfolgt und sich bei dem Umkehren der Pflanze wieder ausgleicht. Diese ist nach der Auffassung MILLARDET's direct abhängig von der Größe der Gewebefspannung.

Die Gewebefspannung ist des Nachts größer wie am Tage. Das absolute Maximum liegt in den Stunden 5—7 Uhr Morgens (Fig. 274), das absolute Minimum liegt im Zeitraum von 11—2^{1/2} Uhr des Mittags. Außer diesen giebt es noch eine geringere Schwankung mit zwei Maximis, eines am Morgen, eines am Abend, diese aber besitzen nicht die gefetzmäßige Lage in der Zeit, f. Fig. 274.

Die Cotyledonen der Alfineen ändern ihre Lage in dem Sinne, daß sie sich des Nachts mit den morphotischen Oberseiten des Blattes aneinander-

¹⁾ MILLARDET, *Nouv. rech. sur la period. de la tension*. Strasbourg, Silbermann 1869. — PFEFFER, *Physiolog. Unterf.* Leipzig. Engelmann. 1873. *Period. Bewegungen der Blattorgane*. Ebd. 1875.

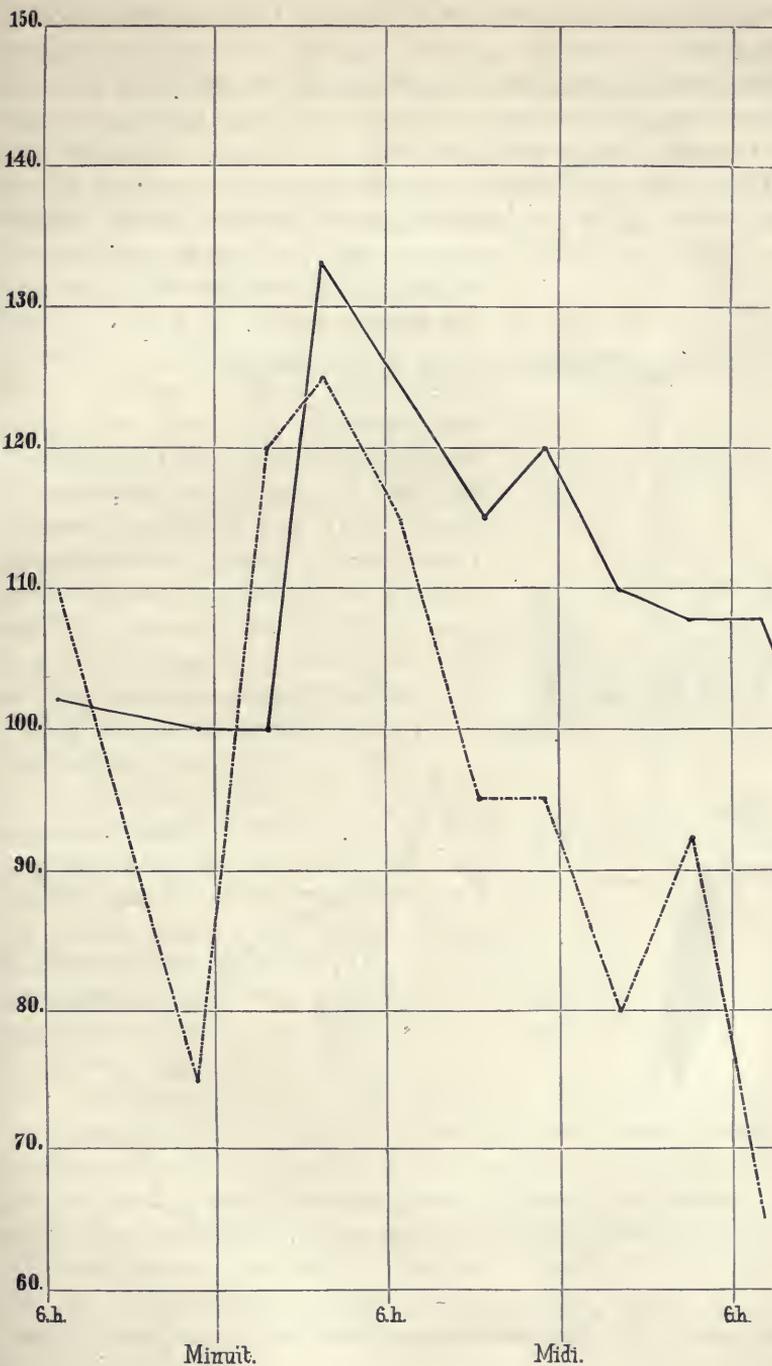


FIG. 274. Gang der Gewebespannung in 2 Blättern einer *Mimosa pudica* nach MILLARDER. Die Abscisse ist die Zeit, die Ordinate die Größe der Spannung, gemessen in dem Winkel, welchen der Hauptblattstiel mit der Axe einschließt.

legen, am Tage öffnet sich der Winkel zwischen den beiden Medianen bis zu 180° , Fig. 275.

Die Theilblättchen des Klees, des *Phaeolus*, *Papilionaceen* u. a. m., die *Oxalis*arten ändern ihre Lage periodisch. Sie legen sich mit der morphotischen Unterseite an den Hauptblattstiel des Nachts und erheben das Blatt am Tage. Bei allen diesen geschieht die Drehung um ein Gelenk im Blattstiel, an welchem ein parenchymatöses Gelenkpolster als Muskelapparat thätig ist. Die complicirteste Bewegung, aber auch die lehrreichste zeigt die *Mimosa pudica*. Das Blatt ist vom Hauptblattstiel aus getheilt in 5—7 Seitenblätter, jedes dieser ist gefiedert. Verfolgt man die Bewegung vom letzten Fiederblättchen nach dem Hauptblattstiel:

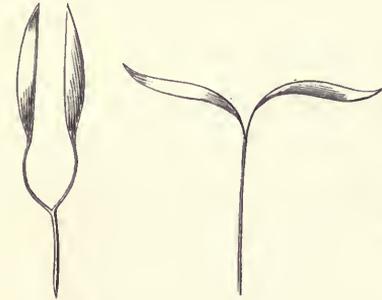


FIG. 275. Tag- und Nachtstellung der Cotyledonen der *Alföineen*. Das Licht ist die Urfache.

wird die Pflanze im empfindlichen Zustande durch eine leise Berührung am Fiederblättchen gereizt, so schließt sich zunächst das erste Paar von Blättchen, indem sich die Spreiten um die Einfügungsstelle um 180° drehen. Die Blattfläche wird dabei gegen die Schwere gehoben. Der Reiz pflanzt sich vom berührten Blättchenpaar zum nächsten mit gelegentlicher Ueberspringung eines Paares über das ganze Theilblatt

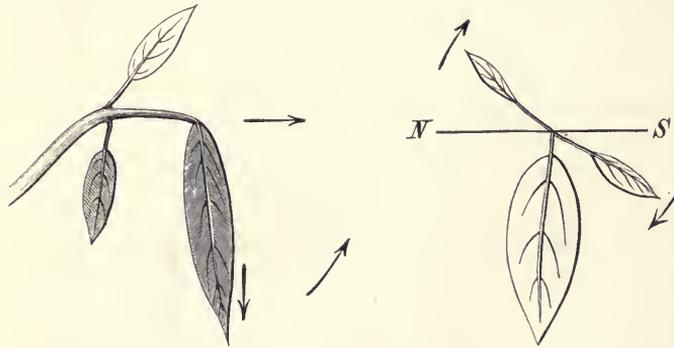


FIG. 276. Schema der periodischen Bewegung am Blatte von *Hedyfarum gyrans*.

fort, läuft in den nächsten Theilblättern weiter, bis alle Blattpaare geschlossen sind, sodann legen sich die Hauptblattstiele dieser zusammen und endlich dreht sich der Hauptblattstiel um seine Einfügungsstelle so, daß der Winkel

an der unteren Seite mit der Axe verkleinert wird. Diese letztere Bewegung geht im Sinne der Schwerkraft vor sich. Das Blatt sinkt. Nach einiger Zeit hebt sich der Blattstiel wieder, die Blättchenpaare entfalten sich, das Blatt ist von Neuem reizbar. Gestaltlich ist die Nachtstellung mit der Reizstellung gleich. Am Tage entfaltet sich das Blatt, in der Nacht schließt es sich.

Hedyfarum gyrans bewegt das Endblatt im Rhythmus oscillirend; im Zeitraum von mehreren Minuten wird eine Oscillation vollführt, die Seitenblättchen gehen abwechselnd auf und ab, je eine Oscillation erfordert aber nur wenige Secunden.

Das große Blatt bewegt sich einmal auf und ab, während die kleinen etwa 5 Schwingungen ausführen. Die Bewegung ist vom Lichte unabhängig. Fig. 276.

Bei Megacalinium falcatum oscillirt die Lippe der Blüthe mit kleiner Amplitude, aber großer Geschwindigkeit.

B. Theorie der Bewegung.

1. Muskelapparate, Gelenke¹⁾.

Bei allen um ein Gelenk drehbaren Blättern der Papilionaceen ist ein sichtbarer Muskelapparat in Thätigkeit, welcher das drehbare Organ während der Tagstellung in labilem Gleichgewicht hält. Es sind kleine parenchymatöse Polster, welche positiv gespannt sind und antagonistisch wirken. Der eine befindet sich auf der Ober-, der andere auf der Unterseite des Blattstiels.

Wird der obere durch einen Messerschnitt abgetragen, so kommt der untere Muskel allein zur Wirkung, das Blatt hebt sich und gelangt in eine stabile Lage, die Reizbarkeit verschwindet aber vollständig.

Bei Entfernung der unteren senkt er sich ebenso, die Reizbarkeit verschwindet nicht vollständig (LINDSAY und BRÜCKE).

Wirken beide aber gleichzeitig, so genügt ein geringer Spannungsüberschuß des einen oder anderen Muskels, um das Blatt in dem einen oder andern Sinne um das Gelenk zu drehen.

Daß es ein geringer Ueberschuß der Muskelkraft solcher Polster ist, welcher diese Bewegungen hervorbringt, kann bewiesen werden, indem man eine reizbare Mimosenpflanze an einem geeigneten Manometer, Fig. 278, unter einen hydrostatischen Druck von $\frac{1}{2}$ Atmosphäre setzt. Der Druck pflanzt sich, wenn schon nicht mit der ganzen Größe, nach den Polstern

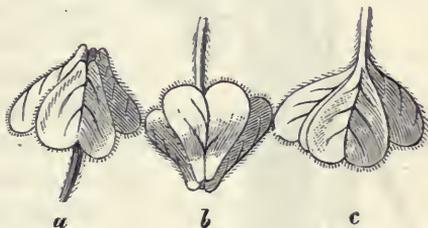


FIG. 277. *Oxalis acetosella*. *a-b* das Blatt in der Nachtstellung, *a* aufrecht, *b* verkehrt. *c* das durch Schütteln gereizte Blatt in umgekehrter Lage.

¹⁾ Prof. H. R. GÖPPERT, Ueber das Verhalten einer *Mimosa pudica* während des Fahrens. 110. Bot. Ztg. 62. — F. UNGER, Ueber die Structur einiger reizbarer Pflanzentheile. 113. Bot. Ztg. 62.

fort. Dabei erreicht der untere die größere Spannung. Das sonst unverletzte Blatt geräth in die stabile Erhebungsstellung.

BRÜCKE'S Experiment.

Bei jeder Bewegung in Folge eines Reizes muß etwas von der Muskelkraft verloren gehen. Das Blattgewicht zieht an einem langen Hebelarm.

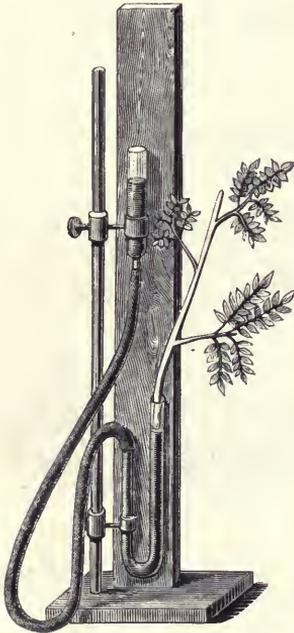


FIG. 278. Eine Mimosenpflanze am Manometer.

Die Festigkeit des Systems wird abhängen von der Spannkraft des Muskelpolsters und wird bestimmt werden können, wenn das System umgekehrt wird, so daß jetzt die Last den oberen Winkel zu verkleinern strebt.

Der Winkel betrug in der Tagstellung 50° , in der aufrechten 40° , in der umgekehrten Stellung nach der Reizung aber 30° . Bei der Nachtstellung ergab die Umkehrung eine geringere Verkleinerung. Es folgt hieraus: bei dem allmählichen Uebergang aus der Tag- in die Nachtstellung erschlaffen die Polster weniger wie bei dem plötzlichen Uebergang aus der Tag- in die Reizstellung, wiewohl beide Uebergänge gestaltlich gleichsinnig verlaufen.

Der Reiz sowohl wie die Kraft, welche die periodische Lagenänderung bewirkt, pflanzen sich in den Hauptgefäßbündeln fort. In der Anordnung dieser Bahnen ist auf ein anatomisches Verhältniß zu achten. Denkt man sich eine strömende Bewegung, etwa einen Wasserstrom von der Stammbasis nach den Auszweigungen in der Wachstumsrichtung der Pflanze, so hat diese den geringsten Widerstand zu überwinden, wenn sie von der Hauptrichtung sich abzweigt in die Gefäßbündel des Blattstiels, von da in das Theilblatt und endlich in die Nerven der Fiederblättchen. In der genannten Richtung nämlich macht jede folgende Zweigbahn einen stumpfen Winkel mit der vorhergehenden Hauptbahn.

Umgekehrt liegt das Verhältniß, wenn der gedachte Strom von der Spitze des Stammes sich über das ganze System ausbreiten soll, jetzt also der Wachstumsrichtung entgegen. Jedesmal wenn er in eine Seitenbahn einbiegt, findet ein merklicher Verlust der bewegenden Kraft statt, weil er unter spitzem Winkel in diese einbiegen muß. Daher kommt es, daß bei der periodischen Bewegung Tag und Nacht alle Blätter fast gleichzeitig in Mitleidenschaft gezogen werden. Bei der Fortpflanzung eines Reizes aber,

vom äußern Blättchenpaar nach dem Stamme zu, wird ein merklicher Zeitaufwand auffällig.

2. Einfluss des Reizes. Stoss. Electricischer Schlag. Temperaturwechsel.

Bei sehr empfindlichen Reizpflanzen (hier ist in erster Linie die *Mimosa pudica* als Studienobject zu wählen) bewirkt ein kleiner Anstoß, ein Inductionsschlag, aber auch ein plötzlicher Temperatur- und Lichtwechsel die Auslösung derselben Bewegung, welche von der Tag- nach der Nachtstellung führt.

3. Gewöhnung an den Reiz¹⁾.

Eine *Mimosa*, welche durch den electricischen Schlag in die Reizstellung übergeht und lange Zeit, mehrere Stunden fortwährend schwache Inductionsschläge erhält, gewöhnt sich an den Reiz, so daß sie endlich wieder die Tagstellung einnimmt, und in dieser für Berührung reizbar wird. Wenn nun der Strom plötzlich unterbrochen wird, so geht sie instantan in die Reizstellung über. Auch mechanische Erschütterungen, wie sie beim Fahren stetig wirken, sollen die gleiche Wirkung ausüben.

4. Phototonus und Dunkelstarre²⁾.

Bei normaler Bestrahlung und Temperatur erreicht die *Mimose* den höchsten Grad der Empfindlichkeit. Sie reagirt dann namentlich auf den Lichtwechsel, sie ist im Zustand des Phototonus.

Der umgekehrte Zustand tritt ein, wenn sie lange Zeit im Dunkeln verweilt, sie geräth in den Zustand der Starre, der Unempfindlichkeit für äußere Reize.

Paratonische Lichtwirkung wird die Bewegung genannt, welche im Zustande des Phototonus eintritt, wenn die Intensität der Beleuchtung wechselt. Sinkt dieselbe, so nähert sich das Blatt der Nacht-, steigt die Intensität, so nähert sich das Blatt der Tagstellung.

Untersuchen wir zunächst die Theorie der Mechanik der Muskelbewegung bei der *Mimose*, so ist:

1^o zu erklären, wie die Muskelhälften eingerichtet sind;

2^o sodann ist offenbar zu erklären, warum der eine jeweilig stärker ist wie der andere;

3^o in welchem Sinne löst der Reiz die Spannkraft in actuelle Energie aus?

4^o in welchem Sinne löst das Licht diese Spannkraft aus?

¹⁾ LINDSAY, *Quarterly Journal of sciences, liter. and arts* 1827. 28.

²⁾ MILLARDET, a. a. O. S. 23 ff. — PFEFFER, Untersuchungen über Reizbarkeit.

5^o wie ist ein Temperaturwechsel im Stande, die gleiche Wirkung zu veranlassen?

Natur des Muskels.

1^o Der Querschnitt der Polster ist abgeplattet eine Ellipse oder nierenförmig. Ein centrales Gefäßbündel ist umgeben von positiv gespanntem Parenchym. Das Gefäßbündel wird in der Beugungsstelle negativ gespannt, entweder so, daß die obere Seite convex wird wenn das Blatt gefenkt wird, oder die untere Seite wird convex wenn das Blatt sich hebt; trägt man die Gelenkhälfte des Polsters ab, so krümmen sich beide nach der Schnittfläche concav. Dieselben sind also wirkliche Antagonisten bezogen auf die Drehung, welche der Blattstiel ausführt. Auch an den Blättchenpaaren sind für je ein Blättchen zwei solcher Antagonisten im Spiele. Hier ist aber zu beachten, daß bei je einem Uebergang von der Nacht- zur Tagstellung der umgekehrt belegene Polstertheil das Uebergewicht erlangt, bezogen auf den Hauptblattstiel. Hier ist der untere der überwiegende, dort ist es der obere. Das Polster ist oben etwas dünner wie unten. Die Parenchymzellen desselben führen Intercellularräume, diese können mit Carmin injicirt werden (PFEFFER a. a. O., S. 12). Bei der Krümmung des oberen Polsters wird das untere comprimirt, und umgekehrt. Hierbei kann das Gesamtvolum constant bleiben. Aus dem unteren Gelenkwulst geht Wasser zum Theil nach den oberen, zum Theil in den Blattstiel. Die Dickenabnahme ist bei der befagten Krümmung im oberen Polstertheil ein wenig geringer wie die Zunahme im unteren.

Nach der Entfernung eines der Seiten dauert die periodische Bewegung noch fort.

Die Sache liegt jetzt also so, daß in der Tagstellung das untere Polster den Blattstiel hebt, indem es die Elasticität des oberen ganz und diejenige des Gefäßbündels zum Theil überwindet. «Der Reiz und die paratonische Einwirkung bewirken, daß das untere Wasser verliert. Darin und in der damit verbundenen Erschlaffung der Zellen liegt die nächste Urfache der Bewegung des gereizten Polsters.» In ähnlicher Weise müssen sich auch die Polster der Blättchenpaare verhalten. Dort erschlafft aber bei dem Reiz das obere. «Worin es beruht, daß hier das untere erschlafft, dort das obere, ist aus den vorliegenden Angaben nicht zu ergründen.»

2^o Warum die Polsterhälften jeweilig unten am Hauptblattstiel, jeweilig oben am Blättchenpaar an Stärke zunehmen, ist ebenfalls aus den vorliegenden Studien nicht zu erklären, das Einzige was man weiß ist schon im Vorhergehenden in 1^o S. 285 enthalten, daß nämlich Schwankungen in der Gewebefpannung sich rascher und energischer den unteren wie den oberen Polsterhälften am Hauptblattstiel mittheilen.

Auch in den Fragen 3^0 4^0 5^0 , S. 287, lassen uns die gefundenen Thatfachen ganz im Stich¹⁾. Die Kenntniß der äußeren Phänomene hat aber durch zwei Arbeiten PFEFFER's einen kleinen Zuwachs erfahren²⁾:

a) die periodischen Bewegungen, welche durch Verlängerung, beziehentlich Volumzunahme antagonistischer Gewebestreifen zu Stande kommen, sind rückläufig (Variationsbewegung nach PFEFFER) oder sie entstehen durch Wachstum (Nutationsbewegung nach demselben Forscher);

b) bei Lichtwechsel tritt eine Receptionsbewegung (d. h. paratonische Bewegung nach SACHS) ein, welche aus einem Hin- und Hergang besteht, weil der Lichtwechsel die beiden antagonistischen Hälften des Muskelpolsters zu ungleichem Expansionsstreben reizt. Steigerung des Lichtes bewirkt Abnahme der Expansion, Verringerung aber bewirkt Zunahme der Expansion in den Antagonisten. In gleichem Sinne wird das Wachstum beeinflusst an solchen Organen, wo dieses die Ursache der Bewegung ist;

c) plötzliche Verdunkelung steigert die Expansion, beziehentlich das Maß des Wachsthum über dasjenige Maß derselben Bewegungen, welches für die stabile Gleichgewichtslage bei lange dauernder Verdunkelung eingehalten wird;

d) nach einer durch Verdunkelung erfolgten Receptionsbewegung folgen als Nachwirkung einige Oscillationen des Blattes, deren Amplitude sich allmählig verringert. Die Dauer und die Wirkung beider Bewegungen sind nicht gleich, nehmen aber im Allgemeinen mit der Größe des Lichtwechsels zu;

e) die tägliche Periode der Bewegung kommt durch das gleichsinnige Zusammenwirken der paratonischen und der Nachwirkungsbewegung zu Stande;

f) durch constante Dunkelheit und constante Beleuchtung wird die täglich periodische Bewegung eine Zeit lang, zuletzt mit geringerer Intensität fortgesetzt, erlischt aber zuletzt. Hieraus ergibt sich, daß der tägliche Lichtwechsel der erblichen Neigung zur Bewegung gegenüber nicht als Regulator, sondern vielmehr als Ursache derselben angesehen werden muß.

C. Reizbewegung der Staubfäden.

Die Bewegungen der Staubfäden in Folge äußerer Anstöße geschehen dadurch, daß in dem Filamente einseitig positiv und negativ gespannte Streifen zur Wirkung gelangen:

¹⁾ Genaue Zusammenstellung der älteren Literatur und eine Reihe phänologischer Studien in: PFEFFER, Die period. Bewegungen der Blattorgane. Leipzig. Engelmann. 1875. S. 3 ff. S. 171 ff.

²⁾ PFEFFER zieht noch bei Besprechung der Reizerscheinungen der Cynareen-Staubfäden das Protoplasma heran. Der Reiz, in Folge dessen der Wasserverlust in den Zellen des comprimierten Polsters eintritt, bewirkt, daß das Protoplasma ähnlich wie bei der Con-

1^o bei *Berberis Mahonia* liegen solche Streifen, wie die Pfeile der Fig. 279 andeuten. Bei der leisesten Berührung schnellt der Staubfaden aus der Lage *a* nach der Lage *b*.

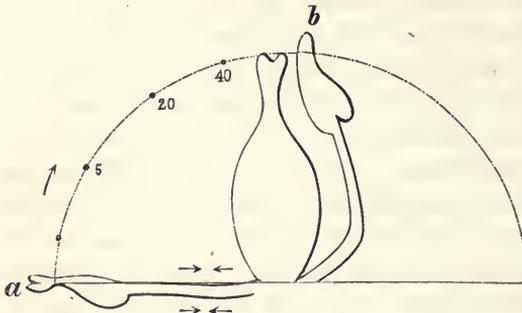


FIG. 279. Schema der Bewegung des Staubfadens von *Berberis vulgaris*.
a die normale, *b* die Lage nach der Reizung.

Die Bewegung wird nach einiger Zeit rückläufig. Es wird aber ein sehr viel größerer Zeitraum gebraucht, um die Lage *a* wieder zu erlangen;

2^o bei der *Parietaria* wird der Staubfaden durch ein, bei *c* Fig. 280 belegenes Gelenkpolster nach außen gefchnellt, *a* die Anfangs-, *b* die Endlage. Die

Bewegung geht nur einmal vor sich, sie ist nicht rückläufig;

3^o die Filamente der Mittelfeldblüthen der *Cynareen*, so insbesondere der *Centaurea*arten, verkürzen sich bei leiser Berührung so, daß die Röhre der verwachsenen Staubbeutel an dem Griffel zurückgeschoben wird, wobei häufig die ganze Blüthe sich krümmt, Fig. 281. Der Uebergang von *a* nach *c* ist fast instantan, wenn man mit einer Nadelspitze die Staubfäden berührt.

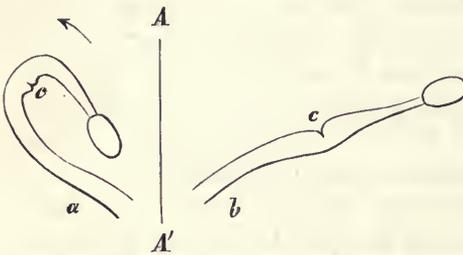


FIG. 280. *Parietaria*. *A* Blütenaxe. *a* Staubfadenlage in der Knospe, *b* in der Blüthe.

UNGER¹⁾ konnte durch Messen der Abstände der Papillen, wie sie am Filamente hier reichlich vorkommen, Fig. 282 *B*, zeigen,

daß bei der Bewegung aus der Lage Fig. 282 *A* nach der in Fig. 282 *C* eine merkliche Contraction des Filamentes stattfindet. Vor der Reizung ist die Spannung in dem Filament so vertheilt, wie es die Pfeile in Fig. 282 *C* andeuten, in dem später convexen Theil herrschte Abstoßung, in dem später concaven Theil herrschte Anziehung zwischen zwei kleinsten Membrantheilchen.

traction durch concentrirte Lösungen Wasser ausstößt, welches durch die Membran dislocirt wird. Damit soll hypothetisch die Reizererscheinung der Sensitiven auf die Reizererscheinung des Protoplasma zurückgeführt sein. a. a. O. S. 133 ff.

1) Dr. F. UNGER, Einige Bemerkungen über die Bewegungsercheinungen an den Staubfäden der *Centaurea*. 349. Bot. Ztg. 63;

Bei dieser Lagenänderung macht sich eine Volumverminderung geltend, indem ein Theil der Zellflüssigkeit in die Intercellularen dislocirt wird¹⁾.

§ 29. Schlingen und Ranken²⁾.

An den Eingang zu diesen Bewegungen muß eine Betrachtung aus der groben Anatomie der höheren Pflanzen gestellt werden: «die Gewebelemente, zwischen welchen vorzugsweise Gewebespannung herrscht, die Gefäßbündel einer- und die parenchymatösen Gewebe der Rinde andererseits, sind niemals als parallel mit der Axe verlaufende Compensationsstreifen (f. oben S. 186 ff.) in dem Stammcylinder vertheilt, sondern verlaufen schon der Anlage nach in Spirallinien oder in hier und da von der geometrischen Axe abweichenden Richtungen.

A. Drehung der Stämme um ihre Axe.

Viele Sträucher und Halbsträucher drehen an horizontalen Zweigen, während die Blattknospen sich entwickeln, die Internodien so lange, bis die sämmtlichen Blätter nach $\frac{1}{2}$ oder doch in zwei Längsreihen geordnet stehen³⁾.

Diese Drehung schreitet mit der Entfaltung von dem älteren nach dem jüngeren Blatte gleichförmig fort. Als Studienobject möge ein horizontal wachsender Zweig des *Polygonum tataricum*, Fig. 283, gewählt sein, o das älteste, 4 das jüngere der nach $\frac{2}{5}$ (näherungsweise) stehenden Blätter. Von dem äußersten Kreis p nach p^I und p^{II} soll die Drehung dargestellt sein. In p^I ist o und 1 im Horizont, in p^{II} haben sich 3 und 4 bis auf $\frac{1}{5}$ des Stammumfangs dem Horizont genähert, in p^{IV} stehen alle in 2 Längszeilen.

Bei den Decussirten muß von Wirtel zu Wirtel eine $\frac{1}{4}$ Drehung



FIG. 281. Reihe von Blüthen in verschiedener Phase der Krümmung von a der geringsten bis c der stärksten Krümmung. (Vergl. Fig. 282).

1) PFEFFER a. a. O. S. 97 ff.

2) DARWIN, Die Bewegung und Lebensweise der kletternden Pflanzen. J. CARUS. Stuttgart. Schweizerbart. 1876. — v. MOHL, Ueber Bau und Winden der Schlingpflanzen. 1827. — L. H. PALM, Ueber das Winden der Pflanzen. — DE VRIES, Arbeiten des bot. Instituts in Würzburg. 3. Heft. — DUTROCHET, Des mouvements révolutives de spontané. Compt. rend. T. XVII. XIX.

3) Studienobjecte: *Spiræa ulmifolia*. *Polygonum tataricum*. *Lonicera cærulea* u. a. Philadelphus. Deutzia.

des Stammumfanges beschrieben werden. Hierbei wird aber von einem zum andern Internodium die Richtung umgekehrt. Möge Wirtel 1 mit feiner Mediane horizontal stehen, so dreht sich das Internodium von 1 nach W_2

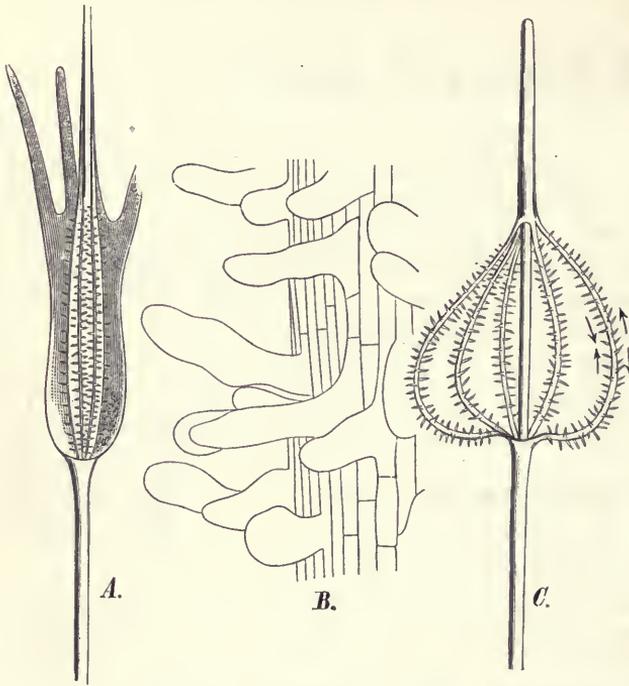


FIG. 282. A. Anfangslage der Filamente vor der Reizung. B. Kleine Parthie des mit Papillen versehenen Filamentes. C. Krümmung der Staubfäden der Cynareen (*Centaurea*) durch den Reiz der Berührung (nach UNGER).

links, das von W_2 nach W_3 rechts, je um $\frac{1}{4}$ (2π), wie das Schema, Fig. 284, dieß veranschaulicht. Möge wieder p der Knospenzustand fein an einem horizontalen Zweige, so stehen im Horizont die Blätter der Wirtel 1, 3, 5, die nach links mit l , die nach rechts mit r bezeichnet sind; im Loth stehen die Medianen der Wirtel 2, 4, 6, die nach oben mit o , die nach unten mit u bezeichnet, Fig. 284. Nach der ersten Drehung um $\frac{1}{4}$ des Stammumfanges in Richtung des Pfeiles stehen in

p'' nunmehr im Horizont $1l, 2, 4, 6$ von der unteren Seite auf links und $1r$ und $2, 4, 6$ von der oberen Seite auf rechts. $1l, 2u$ und $1r, 2o$ bleiben stabil, alle andern aber drehen sich mit dem Pfeil β u. s. f., so daß, wenn alle Wirtel im Horizont untergebracht sind, die Vertheilung ist:

links: $1l, 2u, 3l, 4u, 5l, 6u,$
rechts: $1r, 2o, 3r, 4o, 5r, 6o.$

B. Rotirende und schraubenlinige Bewegungen.

Es find hier im Wefen der Sache, wenn man von solchen Kletterpflanzen abfieht, welche mit Wurzeln sich an die Unterlage befestigen (Epheu) oder mit Haaren sich festhalten (Hopfen und Galium Aparine), drei Bewegungsformen zu beschreiben, welche indeß an einem und demselben Pflanzentheil gleichzeitig vorkommen können.

a) Stämme und Wurzeln.

1^o Die Stämme und Wurzeln regellos ausgefäher Keimpflanzen krümmen sich geotropisch ohne festzuwachsen. Der Keimling fällt um, so, daß der schwerste Theil wieder nach unten zu liegen kommt. Die Krümmungen erfolgen von Neuem entsprechend der neuen Lage, die jungen Organe beschreiben mannigfache und regellose Curven.

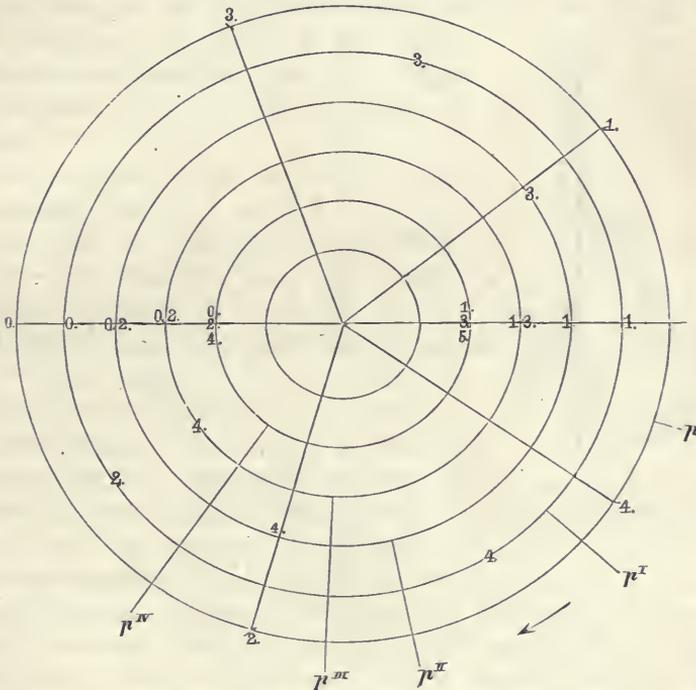


FIG. 283. Schema der Drehung der Blattfiele oder Interfolien an einem horizontal stehenden Zweige von *Polygonum tataricum*.

2^o Die festgewurzelte Pflanze beschreibt mit der Stammspitze rotierende Bewegungen. Die Axe beschreibt eine Kegelfläche, welche das Loth als Axe aufnimmt.

Humulus.

Convolvulus.

Ranken der Papilionaceen.

3^o Die Axe der festgewurzelten Pflanze dreht sich um sich selbst.

Hopfen, Convolvulus.

b) Ranken der Stämme und Blätter, metamorphe Gebilde.

4^o Die Axe rollt sich zur Spirale oder Schraube ein.

Vitis.

Smilax.

Pisum.

Bryonia.

Bignoniä.

5⁰ Die Axe umkreift eine Stütze schraubenlinig.

Humulus.

Convolvulus.

Ranken von Vitis, Cucurbita, Bryonia, Passiflora.

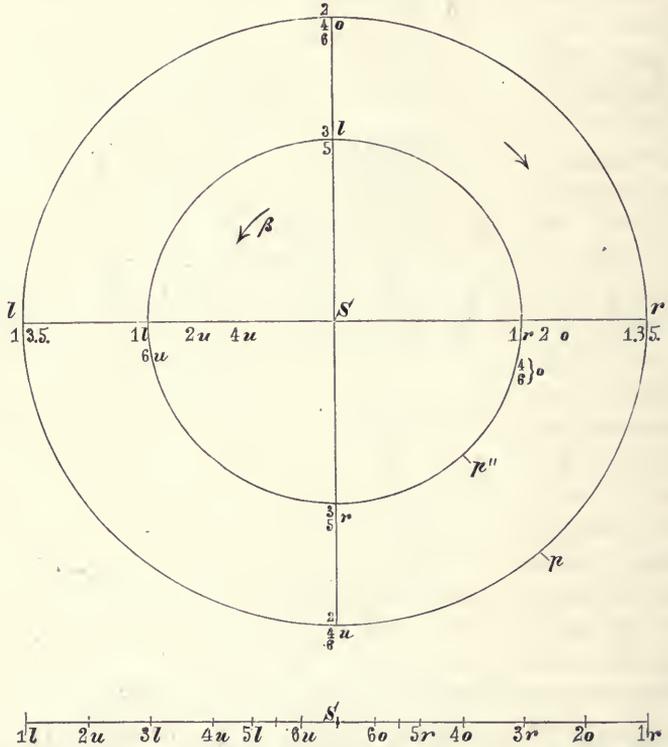


FIG. 284. Schema der Drehung der Internodien bei horizontal stehenden Zweigen der Decussirten (Philadelphus Deutzia).

Es muß am Eingang dieser Betrachtungen im Auge behalten werden:

1⁰ daß in allen hier in Frage kommenden Pflanzen die Spannung der Gewebe schon in der Anlage nicht absolut symmetrisch um die geometrische Axe vertheilt, sondern so, daß eine Torsion schon in der anatomischen Beschaffenheit begründet ist;

2⁰ auch in einer sehr großen Anzahl von saftigen Schößlingen, ja man wird bei fortgesetzter Prüfung des Gegenstandes zu dem Resultat kommen: bei allen nicht rasch verholzenden Pflanzen, ist die Gewebespannung so vertheilt, daß bei einem Zug oder Anstoß an einen geradlinig gewachsenen Pflanzentheil eine Krümmung eintritt.

Auch eine Reihe sehr feiner Anstöße¹⁾, welche den Sproß um eine minimale Größe stets im gleichen Sinne beugen, bewirkt nach einiger Zeit eine viel beträchtlichere Krümmung, wie der jedesmal in Folge eines einzelnen kleinen Anstoßes bewirkte Ausschlag des Sproßes von der ursprünglichen geraden Lage, Fig. 285.

Diese Krümmung kann auch gegenständig zu derjenigen Richtung erfolgen, in welcher der Sproß angestoßen wurde. Der Sproß, Fig. 285, kann in Richtung des Pfeiles α eine Reihe feiner Anstöße erfahren haben und sich in Folge davon trotzdem in Richtung des Pfeiles β krümmen.

Die jüngsten Theile der Cuscuten-, Convolvuluspflanzen u. a. m. sind nicht windend (wie bei der Mehrzahl der Schlingpflanzen). Der Stamm ist gracil und vermag feine eigene Last nicht zu tragen. Er wächst, strebt die Spitze zu heben, sinkt wieder, bis er eine Stütze erreicht hat, um welche er nun wachsend, linksumläufige (Convolvulus) oder rechtsumläufige (Humulus) Schraubebewegungen ausführt. Von dem Momente, wo die Spitze die Stütze berührt, verhält sich das nun hinzuwachsende Stück wie eine Ranke.

Es legt sich die linke Kante bei linkswindenden und die rechte Kante bei rechtswindenden Pflanzen der Stütze an, Fig. 286. Auf dem Wege $a b$ mag die Winde gelegentlich jene Drehungen um ihre eigene Axe ausführen. Ein strenges Erforderniß für die Umschlingung der Stütze ist dieß nicht²⁾.

Die Bestrahlung, sowie Licht- und Temperaturwechsel sind ohne directen Einfluß und ohne urfächliche Wirkung für das Zustandekommen der Bewegung. Auch die anatomische (ist zu sagen die histologische) Beschaffenheit ist nicht wesentlich von Einfluß. In vielen Gattungen befinden sich windende und nicht windende Arten³⁾. Somit ist das Winden und Schlingen eine Gewohnheit, welche auch gelegentlich verstärkt oder geschwächt auftreten kann, je nach den Umständen, welche der Kampf um das bewohnte Areal mit sich bringt.

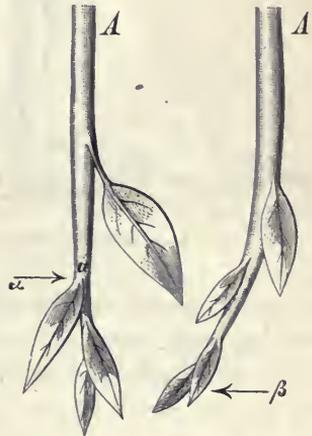


FIG. 285. Verkehrt stehender fästiger Sproß bei A festgeklammert und in Richtung des Pfeiles α leife gezerrt.

¹⁾ Das Fundamentelexperiment für diese Studien ist von HOFMEISTER zuerst angestellt.

²⁾ DARWIN, Bewegung und Lebensweise der Kletterpflanzen. CARUS. Stuttgart. Schweizerbart. 1876.

³⁾ Hieracien. Cynanchum. Die Farrnkräuter sind fast alle in dieser Hinsicht stabil mit Ausnahme des Lygodium.

Verdunkelung steigert neben der Uebersverlängerung der Stämme in Folge des partiären Etiolements die Neigung derselben, zunächst die Axe zu tordiren, sodann aber auch das Schlingen und Winden bei den Papilionaceen (*Vicia Faba*, *Pisum*). Die windenden Stämme (*Humulus*, *Califtegia*, *Convolvulus*, *Cuscuta*) sind nicht reizbar durch die Berührung, wie es die Ranken sind.

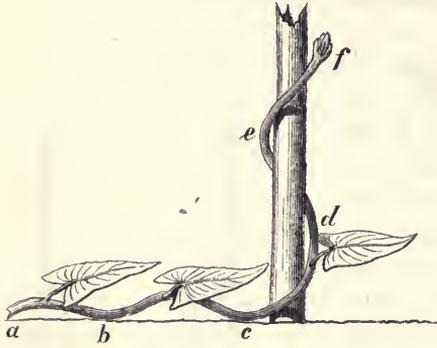


FIG. 286. Schema der Schlingbewegung der Winde (*Convolvulus Califtegia*).

Die metamorphen Stammranken der Cucurbitaceen, *Bryonia*, *Cucurbita*, der Ampelideen, *Vitis*, *Ampelopsis*, Fig. 287, die Blattranken von *Pisum*, *Vicia*, *Bignonia capreolata*, *Smilax* und selbst die Blattstiele von *Clematis*, wachsen

zunächst aus der erzeugenden Blätterknospe geradlinig. Sie krümmen sich an der Spitze oder sie rollen sich ein bis zu mehreren Schraubenumläufen.

Wird die Ranke der *Passiflora*, Fig. 288 (eine der empfindlichsten) im Zustande *a* durch Berührung mit dem Finger oder durch Anlegen dicker Stäbe oder selbst ganz feiner Gold-, Platin-, oder Coconfäden gereizt, so geht sie in den Zustand *b* über. Die Krümmung wird gesteigert. Hört der Reiz auf, so geht die Spitze nach einigen Stunden wieder mehr oder weniger vollständig in die alte Lage zurück.

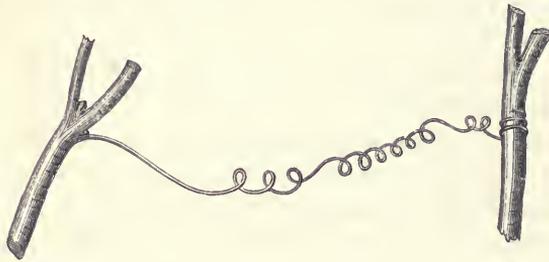


FIG. 287. Eine angeheftete Ranke von *Bryonia dioica*, in entgegengesetzten Richtungen spiral zusammengezogen (DARWIN, S. 127).

H. v. MOHL gründete, nachdem er gezeigt, daß die Temperatur und sonstige Beschaffenheit der Stütze ohne Einfluß auf den weiteren Verlauf der Umschlingung sei, diese Theorie: bei der Berührung der Stütze wird die Ranke an einem gegebenen Punkte gereizt, wie in Fig. 288 dargestellt, sie krümmt sich gegen die Stütze, und es kommen dabei immer jüngere Theile in Berührung mit derselben, so bringt eine continuirliche, träge verlaufende Reizbewegung die Schraubenlinie zu Stande.

Die schraubenlinige Einrollung tritt aber auch ein ohne eine Berührung. Die Ranken der *Bryonia* und der *Passiflora* rollen sich zur Schraube, ehe sie noch die Stütze berührt haben.

Bei solcher Drehung, welche an nicht rankenden, wohl aber in ganz

fteiler Schraubenlinie an gewundenen Organen anderweit beobachtet wird, ist es wahrscheinlich die einseitige Erschlaffung der negativ gespannten Gewebe in Folge der Schwankungen durch den Wind, welche die erste Krümmung veranlaßt. Die Krümmung, welche zuerst auftritt in den Ranken der tordirten Stämme und im Experiment, Fig. 285 und Fig. 288, kann offenbar dadurch hervorgerufen sein, daß in der convexen Seite die Expansion der positiv gespannten Gewebe größer wird wie in der concaven Seite. Sie kann aber auch darin beruhen, daß die Dehnbarkeit der negativ gespannten in der convexen Seite zunimmt, gegenüber der concav werdenden, während die Spannkraft in dem Moment, wo die Krümmung soeben beginnt, für die beiden Seiten in dem positiv gespannten Gewebe gleich groß ist. Die Krümmung tritt unter der zweiten Voraussetzung jetzt ein, dadurch, daß in der convexen Seite Spannkraft in actuelle Energie ausgelöst wird. Kaum wird sich experimentell entscheiden lassen, ob das Eine oder Andere der Fall ist. Mit großer Vorsicht darf vielleicht dieser von HOFMEISTER angestellte Versuch als Ausgangspunkt für die Untersuchung gewählt werden:

Die flachen Alliumblätter sind um einen (oder wenig mehr) Schraubenumgang tordirt. Schält man die negativ gespannte Epidermis ab und legt das Blatt in Wasser, so wächst die Anzahl der Schraubenumgänge, das Blatt vermehrt seine Torsion. Hierbei ist freilich nach dem Versuch (über die Gewebefspannung, s. oben S. 186) die Gesamtspannkraft durch Wasserzufuhr (Quellung) in den positiven Geweben gesteigert. Die Ausdehnung in der zur Axe geneigten Richtung aber zeigt doch, daß in dem Gewebe vorher schon die Anziehung für Wasser in der vorgeschriebenen Richtung bereits vorhanden war.



FIG. 288. Schema der Bewegung einer empfindlichen Paffiflorenranke, bei *a* mit einer Borste gereizt.

§ 30. Nutation.

Ausgehend von dem Experiment (S. 295 Fig. 285) hat man noch die von DUTROCHET und DARWIN, später von HOFMEISTER u. A. beobachteten Erscheinungen der nutirenden Bewegungen zu untersuchen. Was die Bewegungsform angeht, so fällt sie mit derjenigen Drehung der Spitze in Kreislinien zusammen, bei welcher die Torsion des Stammes ausgeschloffen

ist oder wo doch das n-malige Beschreiben der Kegelfläche nicht der n-maligen Torsion der Axe um den ganzen Kreisumfang entspricht.

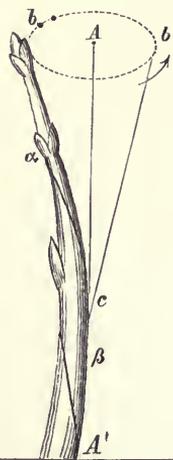


FIG. 289. Rotirende Nuttation des Hopfens.

Der Hopfen, eine schlingende Pflanze, Fig. 289, dreht seine Spitze in einer Kegelfläche und beschreibt dabei 37 Umläufe derselben, ehe er 2 bis 3 Mal sich um seinen Querschnitt tordiert. Die Torsion und die Drehung um jene Kegelfläche sind somit nicht in directem Causalnexus.

DARWIN¹⁾ benutzte, um die nutirende Bewegung zu studiren, ein auf der Innenseite beruhtes Uhrglas, daselbe war so gewählt, daß der nutirende Pflanzentheil den Radius dieses Kugelabschnittes bildete. Das Uhrglas wurde an einem Stativ über der Erbsenpflanze befestigt, so, daß die Spitze soeben die Rußschicht berührte und im Verlauf der Bewegung den Ruß von dem Glas abstreifte.

Das nutirende Ende geht von 1 nach 2, Fig. 290, Vormittags in zwei Stunden und bewegt sich dabei gegen das Fenster, also im positiv-heliotropischen Sinne. Alle späteren in Bezug auf den Lichtquell rückläufigen Bahnstrecken erfordern längere Zeit²⁾.

Von	2	nach	6	=	4	Stunden	30	Minuten	während	der	Mittagszeit,
»	6	»	8	=	1	»	30	»	am	Nachmittag,	
»	8	»	11	=	1	»	30	»	»	»	
»	4	»	14	=	2	»	5	»	»	»	
»	15	»	17	=	0	»	45	»	gegen	Abend 7 Uhr,	
»	17	»	19	=	1	»	10	»			
»	19	»	20	=	0	»	45	»			
»	20	»	22	=	1	»	30	»	bis	9 Uhr Abends.	

Die Bewegung wird sichtlich im Allgemeinen mit dem Sinken der Lichtintensität langsamer.

§ 31. Bewegung in Folge verschiedener Austrocknung der Gewebe.

Hierher sind alle Spannkkräfte zu rechnen, welche frei werden, wenn zwei aneinander grenzende Gewebefschichten durch Austrocknung sich un-

¹⁾ DARWIN a. a. O. S. 2 ff.

²⁾ DARWIN a. a. O. S. 86 ff.

gleich zusammenziehen. Man wird auch die Springfrüchte der *Impatiens noli me tangere* hierher zählen dürfen.

A. Saftige Springfrüchte.

Die Frucht der *Impatiens* hat in sich ein hohes Maß von Spannung in der Weise angehäuft, daß die fünf Klappen, in welche sie bei der Berührung mit einer Explosion zerfällt, sich mit der Außenseite concav zu krümmen bestrebt sind. Diesem Streben wird endlich ein immer geringerer Widerstand in den fünf Berührungslinien und dem Hautgewebe entgegengesetzt, so daß schließlich der allgeringste Stoß die Explosion bewirkt, der in der Innenseite belegene Schwellkörper wird convex und krümmt sich im Spiral bis zu mehreren Umläufen. Der negativ gespannte Theil besteht aus den nicht sehr stark ausgebildeten Gefäßbündeln und dem Hautgewebe.

B. Trockene Springfrüchte.

Alle Spaltkapseln gehören hierher. Die Früchte trocknen in den Richtungen senkrecht zur Spaltfläche stärker ein, wie in allen anderen. Es häuft sich die Spannkraft, bis es zum Zerreißen kommt. Bei den Euphorbienkapseln geschieht dieß mit Explosion, so namentlich bei den stark verholzten Früchten der *Hura crepitans*. Unsere größeren sumpfbewohnenden Euphorbien schleudern ihre Spaltkapseln mehrere Meter weit hinweg.

C. Fruchtklappen der Leguminosen.

Das einzige Carpellblatt zerfällt bei der Reife in zwei kahnförmige Hülsen, in welchen das Endocarp trockenhäutig und in zur Längsaxe schiefer Richtung spaltbar ist, in dieser Richtung rollt sich die Hülse mit convexer Außenseite in eine steile Schraube beim Trocknen. Wasserzufuhr hebt die Krümmung zum Theil wieder auf.

Die Leguminosenfrucht ist bei manchen Gattungen wie bekannt auch eine Spaltfrucht, welche in Glieder zerfällt (*Coronilla*).

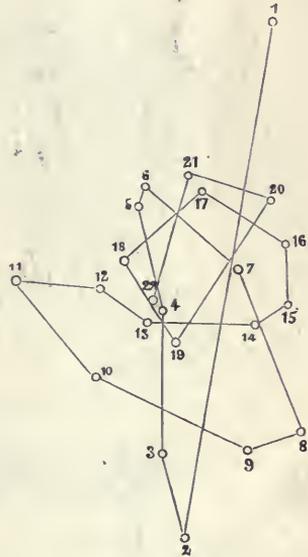


FIG. 290. Seite des Zimmers mit Fenster. Schema, welches die Bewegung des oberen Internodiums der gemeinen Erbse zeigt, auf einem halbkugligen Glase aufgezeichnet und auf Papier übertragen; um die Hälfte verkleinert, nach DARWIN.

D. Zapfen der Abietineen.

Die Schuppe steht im geschlossenen Zapfen aufrecht, mit verschmälter Basis, der Axe des Zapfens eingefügt. Beim Austrocknen krümmt sie sich in der Nähe der Einfügungsstelle, so, daß dort ein Theil der innern Gewebe sich dehnt, während sich die äußern zusammenziehen. Die Schuppe geräth in die Lage Fig. 291 C, welche beim Wiederbenetzen nur wenig

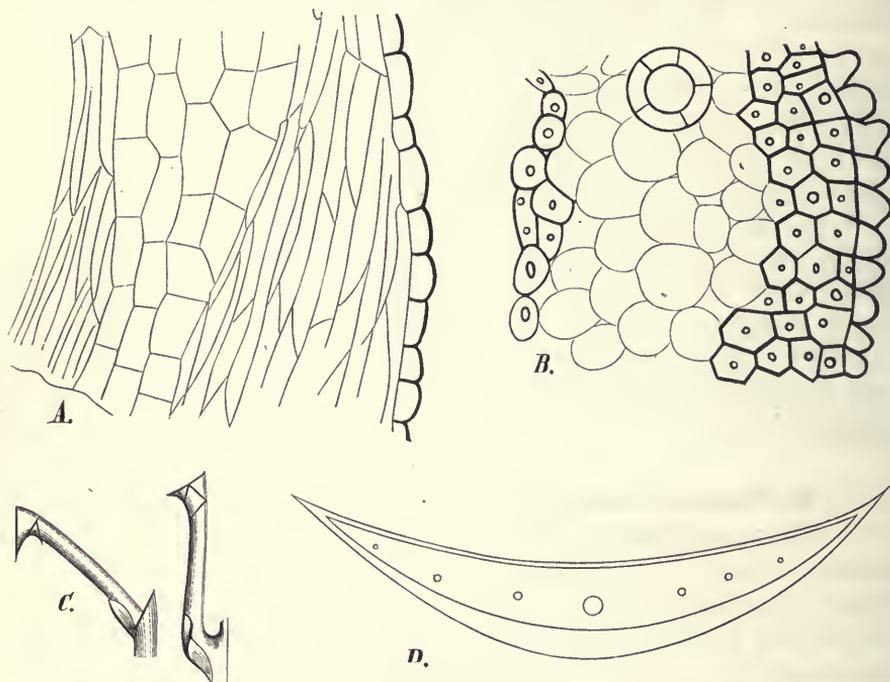


FIG. 291. Kiefernscuppe des Zapfens. A. Längsschnitt durch die Basis derselben. B. Querschnittsparthie. C. Lage, der Schuppe im Längsdurchschnitt, links im trockenem, rechts im geschlossenen Zustande des Zapfens. D. Querschnitt der Schuppe schematisch.

verändert wird. Die anatomische Structur der Schuppe zeigt bei der Kiefer, Fig. 291 *ABD*, die Innenseite mit einer einzigen Zellenchicht stark verdickter Faerzellen (Sklerenchym), die Außenseite aber mit einer gleichen Schicht, welche im oberen Theil aus 3—4, unten nahe der Einfügungsstelle aber aus zahlreichen Zellenlagen besteht. Das Grundgewebe ist porös, dünnwandig, luftführend, von geringem Expansionsstreben, 5—7 Gefäßbündel sind in eine Reihe symmetrisch um die Mediane vertheilt.

Jedenfalls ist es die stärkere Contraction der Sklerenchymzellen der Außenseite, welche die Zapfenschuppe beim Austrocknen in die neue Lage zwingt. In den Samendarren werden die Zapfen bis 30° C. rasch erwärmt, die Außenseite zieht sich dabei rasch stärker zusammen, der Zapfen öffnet

sich. Zu beachten ist indeß hierbei, daß die Schuppe in ihrer ganzen Ausdehnung nicht wesentlich deformirt, sondern nahe an ihrem Einfügungspunkte gebeugt wird.

E. Geraniumfrüchte (Moosseten, Granne).

Diese Gebilde sind hygroskopisch, krümmen sich bei niederem Wassergehalt im Spiral oder in Schraubenlinien, im nassen Zustand rollen sie diese wieder auf. Sie strecken sich. Soweit die Vorgänge der ursprünglichen Anlegung und des Wachstums hier in Betracht kommen, muß beachtet werden, daß:

a) die Geraniumfrüchte sind Schizocarpe, an welchen jedenfalls die Außenseite anatomisch verschieden beschaffen und verschiedenelastisch ist gegenüber der Innenseite, welche der Commissuralfläche entspricht;

b) die Granne und die Moosseten dagegen sind frei erwachsen, die anatomische Anordnung der positiv und negativ gespannten Gewebestreifen, welche die Bewegung bewirken, ist nicht bekannt.

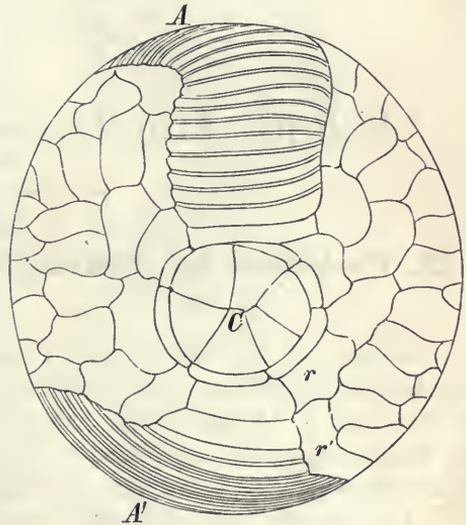


FIG. 292. Farnsporangium, nach KNY.

F. Bewegung in elastischen Zellen begründet.

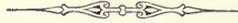
a) Die Streifen aus der Zellhaut der Spiralmutterzelle (f. oben S. 57 u. 77) der Equifeten sind ursprünglich in einer Kugelfläche differenzirt, sie krümmen sich im Spiral beim Trocknen und werden gerade bei der Benetzung.

b) Die Spiralzellen der Lebermoose sind cylindrisch oder spindelförmig auf der Innenseite der Wand mit zwei oder drei spiralig geordneten Verdickungsbändern versehen, sie drehen sich korkzieherartig beim Trocknen, strecken sich gerade, wenn sie naß werden.

Beide, a und b, lockern in den geöffneten Kapfeln beim Austrocknen das Sporenpulver.

c) Elastische Zellenringe und Zellenmäntel finden sich differenzirt in den Sporangien der Farnkräuter, Fig. 292 A A' und an den Antheren. Sie sind stärker verdickt, gerathen in Spannung, zerreißen schließlich beim Austrocknen die angrenzenden dünnwandigen und weniger festen Gewebe-

parthieen. Der Ring im Sporangium der Farrnkräuter erstreckt sich in dem Meridian AA' der Kugel vom Einfügungspunkt des Sporangium in C . Zwischen diesem und dem anderen Ende des elastischen Ringes ist eine kleine Gewebeparthie weniger verdickt rr' , dort reißt das Sporangium zuerst, wenn zur Zeit der Sporenreife der Ring sich in ein flaches Band zu beugen bestrebt ist (f. Morphol., Systematik der Farrnkräuter).



Siebente Abtheilung: Grobe Anatomie.



§ 32. Wachstum und Theilung unter dem Vegetationspunkt.

Indem ich die Theilungsvorgänge des Vegetationspunktes als die schwierigste Darstellung der vergleichenden Morphologie vorbehalte, stelle ich mir hier die Aufgabe, von dem jüngsten Ursprung der Gefäßbündel in der Baumknospe, die anatomischen Verhältnisse entwickelungsgeschichtlich so darzustellen, daß sie als eine Bewegung in der Zeit erscheinen.

Die vergleichende Anatomie der fertigen Pflanzenorgane habe ich in die Systematik verlegt. Dort mag der Zustand der ausgewachsenen Stämme, Wurzeln, Blätter mit als Arten-, Gattungs- oder Familiencharakter abgehandelt werden.

Soweit aber die allgemein gültigen Züge in dem anatomischen Bau zum Verständniß der Lebenserscheinungen in Betracht kommen, habe ich sie schon in früheren Paragraphen berücksichtigt und mögen sie hier insbesondere für den Baum weiter abgehandelt werden.

A. Geometrische Aufgabe.

a) Volumvermehrung der verschiedenen Zellen.

1^o Die mikroskopische Beobachtung von Organen, welche in der Entwicklung begriffen sind, zeigt uns nach § 21, daß nach dem jüngsten Orte hin das Volum der Zellen sinkt. Die Verschiedenheit der Zellen-Elemente eines Gewebes entsteht dadurch, daß von der jüngsten Zelle oder dem jüngsten Zellencomplexe ungleich gestaltete Tochterzellen gebildet, abgetheilt werden. Wir erhalten hier schon eine Differenzirung in Zellen von ungleichem Volum und ungleicher Umgebung: Die Begrenzungszellen einer-

feits werden durch die Lage nach dem umgebenden Medium einerseits, nach den Binnenzellen andererseits von letzteren gestaltlich abweichen müssen.

2° Nach § 22 ist ein zweites Moment der Differenzirung das ungleiche Wachstum, während des Ueberganges vom jüngsten nach dem ältesten Zustand.

3° Die Zellenabkömmlinge eines gegebenen Organes besitzen im ausgewachsenen Zustande desselben ungleiche Function, in Bezug auf die Translocation.

So durchläuft an einem gegebenen Zweigé von *Populus angulata*, Fig. 293, der Querschnitt die verzeichnete Configuration; *A* der jüngste Zustand, *B* der mittlere, *C* der älteste, und es ist zu beachten, daß das obere Querschnittelelement des prismatischen Körpers in einem etwas späteren Zeitpunkt nach *B*, *B* nach *C* übergeht, d. h. der Zustand *C* rückt an dem in der Entwicklung befindlichen Stamm von unten nach oben fort.

Hiebei gehen¹⁾ die Veränderungen vor sich, welche bei den Betrachtungen über das Wachstum der Membran besprochen wurden. In den Orten *b*



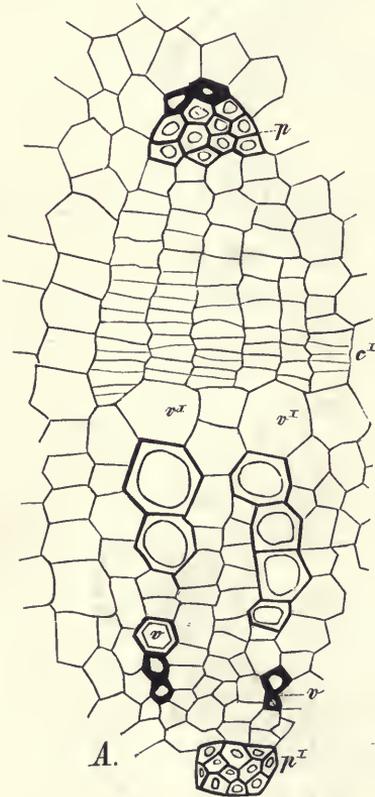
FIG. 293. *Populus angulata*. Schema der Zweigquerschnitte. Im obersten Querschnitt sind die primären Gefäßbündel soeben differenzirt, es ist der Knospenzustand in Fig. 294 *B* stärker vergrößert. Die zweite Fig. *B* nach dem Aufbrechen der Knospe in mittlerer Region, *K K'* Korkleisten in Fig. 297 im aufgerollten Cylinder dargestellt. Ein Gefäßbündel ist in Fig. 294 *A* stärker vergrößert. *C* Zustand desselben Zweiges nachdem der Cambiumring geschlossen ist, in Fig. 295 ist eine Kantenparthie stärker vergrößert.

¹⁾ Dr. C. SANIO, vergl. Untersuchungen über die Zusammensetzung des Holzkörpers. Bot. Ztg. 63. Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers. Bot. Ztg. 63. — A. B. FRANK, Ein Beitrag zur Kenntniß der Gefäßbündel. Bot. Ztg. 64. — Dr. C. SANIO, Ueber endogene Gefäßbündelbildung. Bot. Ztg. 64.

v, Fig. 294, verdicken sich bestimmte Zellen. Es sind die Elemente des Gefäßbündels. In diesem liegen die Gefäße, Tracheiden, die Holzzellen, die Bastzellen, die Leit- oder Gitterzellen.

b) Längsstreckung gleich bei ungleicher Theilung (Curve f. früher S. 172).

Die Entstehung längerer Zellen neben kürzeren in einem und demselben Niveau, aus einem Gewebe, in welchem alle Elemente ursprünglich gleichgroß waren, ist nur möglich, wenn während dieser Differenzierung das betreffende Organ noch wächst. Man denke sich in dem Niveau der gleichgroßen Zellen, Fig. 189, zwei gleiche Zellen und lasse die Wachstumsfunction in der Zeit fortfließen, so wachsen beide, die eine aber erreicht ohne sich zu theilen die Gestalt einer Röhre oder prismatischen Faser, sie wird zu einem Element des Gefäßbündels, die andere theilt sich in dem Maße wie sie wächst, sie wird zu einem Element des Grundgewebes.



c) Ungleiche Querausdehnung (f. S. 185).

Die vorstehend besprochene Differenzierung geht stets so vor sich, daß

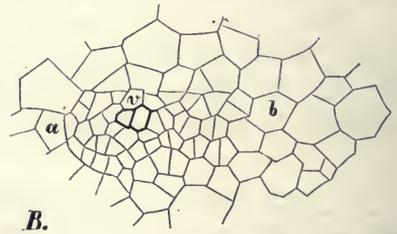


FIG. 294. A. Aelterer Zustand, das Gefäßbündel hat Radialketten *v* von Tracheiden gebildet, *c*¹ Cambium, *p* primäres Bastbündel, *p'* das Gefäßbündel der Niederblätter, an *p'* grenzt das Mark, an *p* die Rinde (vergl. Fig. 293). B. Querschnitt eines Cambialtreifens, vergl. Fig. 293; *a* Mark, *b* Rindengrenze, *v* die ersten verdickten Gefäßelemente, Tracheiden umgeben von Cambiumzellen, welche in der Theilung begriffen sind.

in dem jugendlichen Organ während des Ueberganges, Fig. 293, und der Streckung nach der Wachstumscurve, Fig. 176, sich Theilungen durch Längswände vollziehen. So entsteht für den Querschnitt der kleinzellige Gewebecomplex, Fig. 294 B, in welchem *v* ein erstes primäres Gefäßelement (eine Tracheide) darstellt. Die theilungsfähige Gewebegruppe mag

das Procambium des Fibrovafalfranges genannt werden. Aus solchen Zellen differenziren sich die später auftretenden Elemente des Gefäßbündels.

d) Ungleiches Dickenwachsthum der Membranen.

Entstehung von continuirlichen Porenbahnen.

Die Gewebegruppe, Fig. 294, zerfällt in Zellen, welche ihre Wand verdicken und ihren Plasmakörper verbrauchen, die Holz- und Gefäßzellen, Tra-

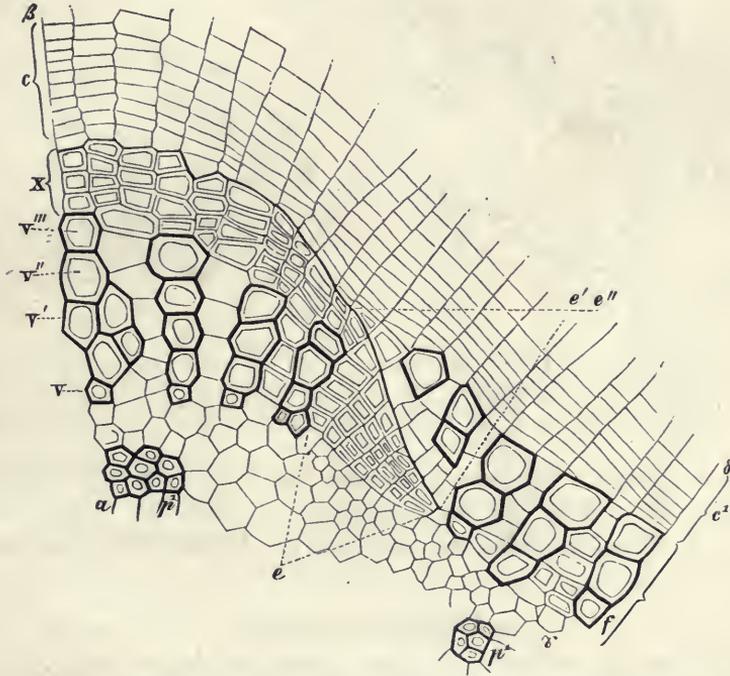


FIG. 295. *Populus angulata*. Querschnittsparthie des Zweiges kurz nachdem die Bildung des ersten Jahrringes beginnt (Mitte Juni), vergl. Fig. 293, 294. Diese Parthie liegt zwischen α β γ δ in der Figur 293 C. Die Radialketten von Holzzellen, welche in e e' e'' durch punktirtre Linien eingeschlossen sind, differenziren sich zuerst, so bildet sich das Kantenbündel (Fig. 293) zuerst aus, v v' die Tracheiden des primären Theiles, c c' der Cambiumring, ρ' ρ'' die Spuren der Niederblätter.

cheiden und in dauernd thätige Zelldecendenten, die Cambiumzellen. In den ersteren treten mannigfache Verdickungen, sowie auch Reforptionen gewisser Theile der Membran ein, so daß in ihrem Verlauf continuirliche Strombahnen für tropfbare und gasförmige Flüssigkeiten möglich werden.

Hier ist aber zu beachten, daß die Porendurchgänge im Holz der Dicotylenpflanzen wirklich unter geringem Drucke am Manometer Wasser transpiriren lassen. Die Nadelholzzelle aber verhält sich anders. TH. HARTIG injicirte die Zweighölzer der Kiefer mit einer Flüssigkeit, in welcher Farbestheilchen suspendirt sind (Carmin, Zinnober, Chinesische Tufche). Dief-

werden in geringer Tiefe zurückgehalten, gelangen nur in die angechnittenen Zellen, welche an die Schnittfläche grenzen, an welcher die Flüssigkeit injicirt wird und bis in die Tüpfelräume, gehen aber nicht durch den Porencanal des Tüpfels, Fig. 297. Es folgt aus diesen Versuchen, welche ich wiederholt und in den von HARTIG angegebenen Resultaten bestätigt ge-

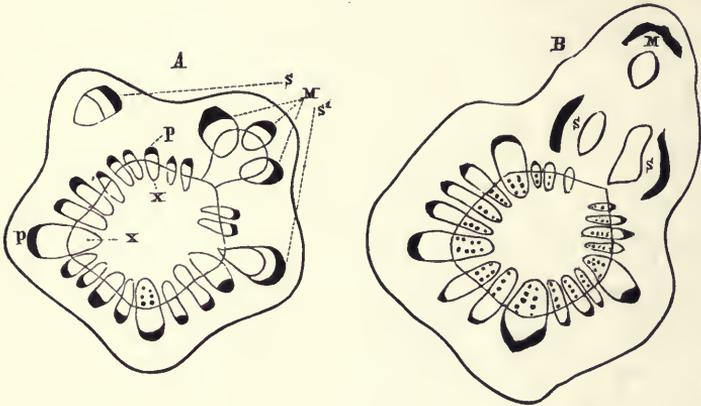


FIG. 296. *Quercus Robur*. Schema des Zweigquerschnittes *A* nahe unterhalb der Einfügung des Blattes, *M* das mediane, *s s'* die beiden seitlichen Gefäßbündel, welche in das Blatt eintreten, *x* der Holz-, *p* der Basttheil der Gefäßbündel. *B* ähnlicher Schnitt in der Einfügungsstelle des Blattes. Die Anordnung *A* ist in der Kante *M s s* verändert, dadurch, daß *M s s* nun aus dem Zweigquerschnitt nach der Blattbasis, dem Blattkissen divergiren.

funden habe, daß die sogenannte primäre Membran als Schließhaut dem Tüpfelraum nach einer der kleinen Poren zu verbleibt, eine Communication als Transfusion verhindert und nur die Membranfiltration gestattet.

B. Zellengenerationen.

Da in der ganzen Reihe des hier zu Grunde gelegten Studienmaterials, Fig. 293 *ABC*, 294, 295, nirgends eine Resorption ganzer Zellen vorkommt, und die durch die genannten Figuren demonstirte Evolution durch stetige Wachstums- und Theilungsvorgänge herbeigeführt wird, so muß es auch möglich sein, zwischen Fig. 293 *A* und Fig. 293 *C* alle Zellengenerationen aufzufinden. Wir nennen in einer Reihe von unendlich vielen, oder doch sehr zahlreichen, durch Theilung entstandenen Zellen «eine Generation» den Zustand einer Zelle zwischen dem ersten Theilungsvorgang, welcher ihr selbst Ursprung gab und dem zweiten, durch welchen sie in zwei, drei und mehr Tochterzellen zerfällt. Diese stellen die zweite Generation dar, bis sie wiederum sich theilen in *n. 1*, *n. 2* . . . Einzelzellen. Würde jede Zelle in einem gegebenen Niveau des wachsenden Stammes sich in 2 theilen, so erhielte man eine geometrische Reihe 1, 2, 4, 8, als die Descendentenreihe der Ausgangszelle.

a) Stammbaum der Gewebe.

Diese Reihe ist der Stammbaum des betrachteten Gewebes. Setzen wir an Stelle der die Ordinate angehenden Linien, Fig. 176, genaue Abbildungen der Durchschnitte, in welchen alle Wachstums- und Theilungsvorgänge als histologische Zeichnungen festgehalten wären, von Zeitpunkt zu Zeitpunkt, Zeichnungen, welche gewiß angeben, wann der *nte*-Descendent seine Wand zu verdicken beginnt, wann er sein Wachstum einstellt, wann er seinen Protoplasmakörper verliert und verholzt u. f. f.; so übersehen wir alle Vorgänge der Leitung, Translocation, Verdunstung und wir würden aus der Coincidenz mehrerer Vorgänge auf ihren causalzusammenhang schließen, oder auf einen Causalnexus mit äußeren Einflüssen, welche, wie die Strahlung, Temperatur u. f. f. den pflanzlichen Organismus beeinflussen.

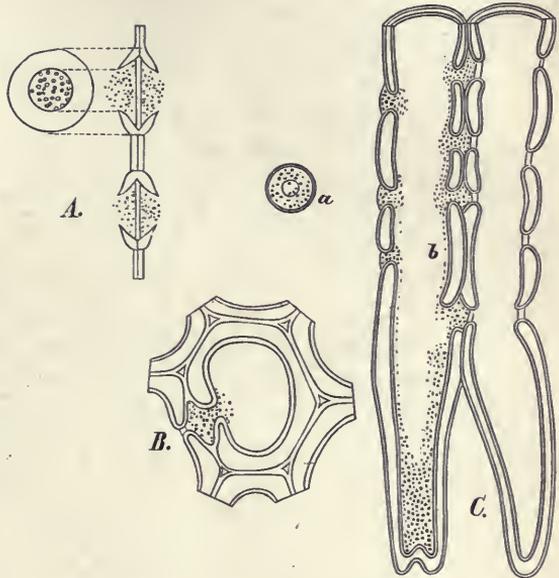


FIG. 297. Kiefernholzzellen mit Zinnober injicirt nach THEODOR HARTIG. A. Längswand im radialen Durchschnitt, der Zinnober hat sich links und rechts von der Scheidewand angefammelt. B. Querschnitt des Tüpfels. C. Längschnitt der Holzzellen, in a Flächenansicht der gefüllten Lufträume, b radialer Längschnitt.

b) Erlöschende Descendenten: Epidermis, Mark, Holz, Borke, Kork.

Nicht alle Descendenten, welche in der besprochenen Reihe auftreten, bleiben in dem Sinne dauernd thätig und lebensfähig, daß sie stetig, so lange das Organ (Stamm, Blatt, Wurzel) wächst, mitwachsen, sich theilen und an dem Stoffwechsel theilnehmen. Es erlöschten frühzeitig ganze Gewebeparttheien in diesem Sinne, so die Epidermis, welche mit dem Zustand, wo das Organ ausgewachsen ist, ihre Theilungen einstellt und die Fähigkeit der Reproduction absolut verliert — das Mark, welches sehr bald schon im ersten Jahre der Dauergewächse vertrocknet und nur an der Peripherie (ganz seltene Fälle nachträglicher Neubildung abgerechnet) leitungs-fähig bleibt. Holz, Borke, Kork, sind Gewebe, welche fast sofort nach der Entstehung im ersten Jahre absolut theilungsunfähig werden.

c) Dauernd thätige Descendenten: Cambiform, Gitterleitzone, Cambium, leitendes Grundgewebe.

Gewisse Zellenabkömmlinge unterhalten den Vorgang der Theilung und Leitung, der Theilung allein oder der Leitung allein, von dem ersten Moment des Entstehens des Organes (Stamm, Wurzel u. f. f.) durch ein Jahr, ein Jahrzehnt, Jahrhundert und bei den tausendjährigen Baumriesen¹⁾ während eines Jahrtausends. Wir erhalten für den Dicotylenbaum:

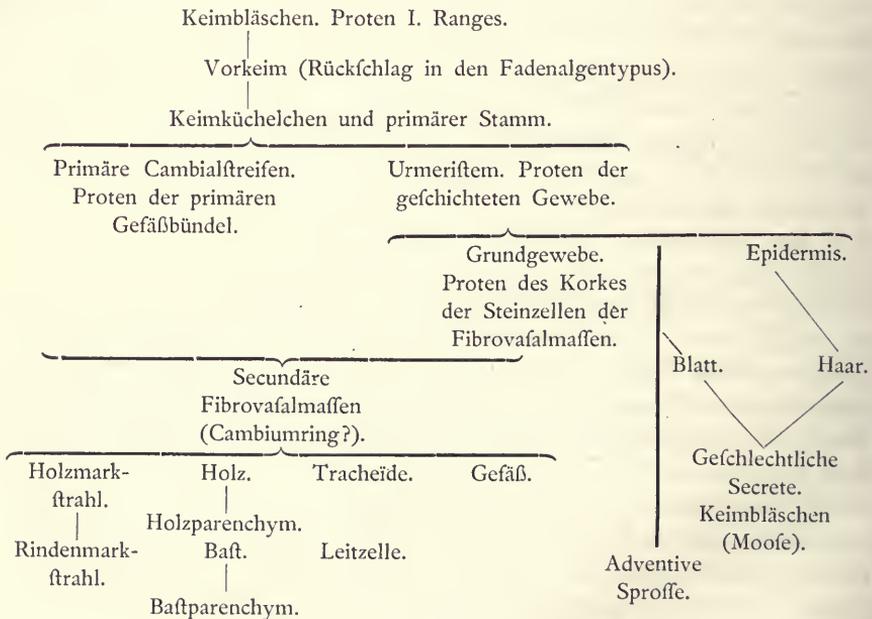
1^o die Theilung erlischt im ersten Jahr: Kork, Holz, Mark, Epidermis;

2^o die Theilung und die Leitung erlöschen: Kork;

3^o die Leitung dauert durch Jahrzehnte und erlischt im Lauf vieler Jahrzehnte in centrifugaler oder centripetaler Richtung: Holz, Rinde (Borke), Mark der Bäume (Cambiform, Gitterzelle, Grundgewebe, Holz- und Bastparenchym);

4^o Leitung und Theilung dauern durch das ganze Leben: Cambiumring, Vegetationspunkt (f. allgem. Morphologie).

Mit Bezug auf die Holzbildung im Stamme, erhalten wir das folgende Schema des Stammbaumes der Gewebe und somit der Blutsverwandtschaft der Zellen:



¹⁾ Linde von Dortmund. Californische Riefenfichte. Wellingtonia gigantea. Eiche in Petersburg.

Wir haben uns an den Gedanken gewöhnt, daß wenn ein Element einmal so weit differenzirt ist, wie die Elemente des Holzzuwachses es sind, daß dann der Keim zu dem ganzen Stammbaum verloren gegangen ist. Es läßt sich aber zeigen, daß in einem bestimmten Zeitpunkt der Entwicklung das Holz in sich die Fähigkeit besitzt, sich zu verjüngen, derart, daß selbst aus den fertig differenzirten Zellen neue Gewebe hervorgehen. Dieß tritt namentlich in Folge eines äußeren Reizes, wie die Verwundung durch Menschenhand oder Thiere, ein.

C. Vertheilung der Gefäßbündel¹⁾.

Die primären Gefäßbündel durchziehen die Pflanze als ein continuirliches Netzwerk, von der äußersten Nervenendigung im Blatte bis zur Wurzelendigung.

Die Vertheilung derselben im Querschnitte ist abhängig von der Stellung der Blätter. Für die große Mehrzahl der Pflanzen (die Ausnahmen sind unter der Systematik abzuhandeln) kann man für den, vor dem secundären Zuwachs belegenen Zeitraum sagen:

1^o wenn man alle Nerven der vorhandenen Blätter resp. Zweige rückwärts in den tragenden Stamm verfolgt, so beschreibt man den Verlauf der sämtlichen Gefäßbündel, und es entsteht ein Maschensystem bei den Gefäßcryptogamen und Dicotylen von der Beschaffenheit der Fig. 298, 299, welches in einer Cylinderfläche liegt. Außer diesen finden sich dann nur die sehr kleinen Ausläufer der Niederblattregion.

Vorzüglichste Studienobjecte, neben unseren Waldbäumen, sind die Opuntien. Fig. 299 stellt ein Skelett dar, welches durch Ausfaulen des Grundgewebes entstanden. Die rhombischen Maschen sind noch mit einer großen Anzahl von Faserverzweigungen ausgefüllt. Die rhombische Masche

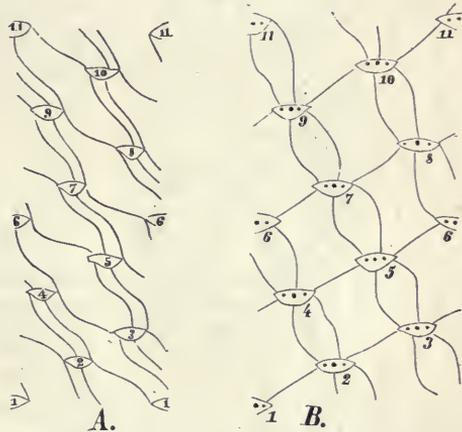
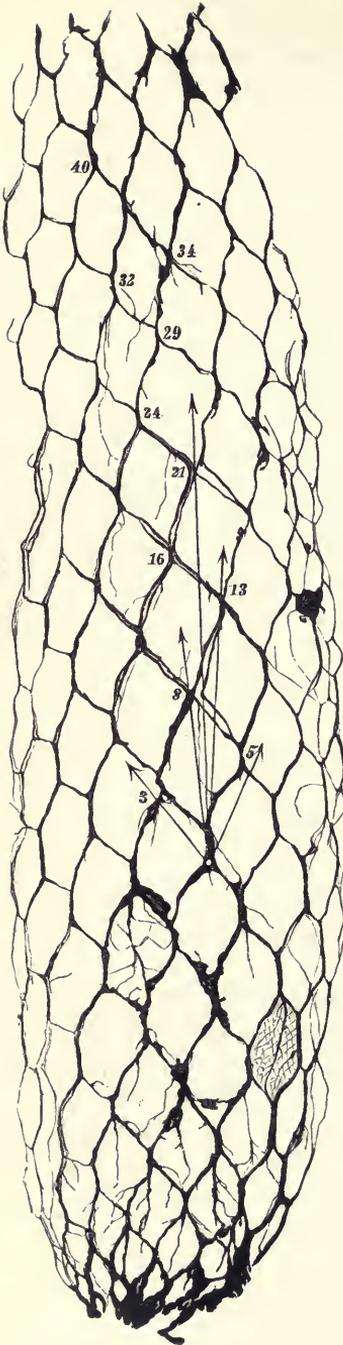


FIG. 298. A. Aufgewickelter Cylinder eines Zweiges von *Populus laurifolia*. In jede Blattnarbe treten drei Spuren, von jeder Blattnarbe stehen dieselben mit den Nachbarn in Zusammenhang. B. Aufgewickelter Cylinder des *Quercus prinus* wie vorher. Ein Theil der Spuren steigt nach links, ein anderer Theil nach rechts.

¹⁾ NÄGELI, Beiträge zur wissenschaftl. Botanik. I. Heft. Leipzig. Engelmann. 1858. Ueber Wachstum des Stammes u. f. f.



ist der Ort, wo bei den Cacteen die rudimentären Nebenorgane (Haarbüschel) sitzen.

Das vorliegende Skelett stellt die Hälfte des flachen Stammes dar. Jede rhombische Masche ist von vier Nachbarmaschen eingegrenzt. In den Rhombenseiten verlaufen die Parastichen 0,3, 0,5. In die lange Diagonale fällt die Parastiche 0,8. Die 13er ist die Verbindungslinie aus den Schnittpunkten durch zwei in der 5er Richtung nebeneinanderliegende Maschen.

Aehnliche Gesetzmäßigkeiten, wie sie in der Anordnung der primären Gefäßbündel hier und in den schematischen Darstellungen Fig. 298 vorliegen, herrschen bei allen höheren Gefäßpflanzen;

2^o es besteht keine Gefäßbündelverbindung zwischen dem Stamm resp. Blatt einer- und den accessorischen Organen: Stachel, Haar, Drüse andererseits.

Als einfachstes Schema der Entwicklung für die Baumknospe möge die Figur 300 dienen. Sie stellt einen Durchschnitt dar, parallel der Zweig- beziehentlich Stamm-axe, nachdem soeben die Niederblätter (Knospenschuppen), deren Gefäßbündel mit den unteren Pfeilen verlaufen, entwickelt, oder abgefallen waren. Die primären Gefäßbündel, welche, in die Laubblätter *L* eintretend, dort die Nervatur bilden, und dieselben für die Knospenschuppen *N*, welche die Knospe im laufenden Sommer wieder schließen, verlaufen auf der Innenseite des schraffirten Theiles der Zeichnung; dieser stellt den Durchschnitt der ersten Jahresholzlage dar; da wo dieselbe oben bei ξ endigt,

FIG. 299. Skelett der Gefäßbündel in einem Opuntienstamm. Die rhombischen Maschen sind mit einem feinverästelten Netzwerk von Gefäßbündeln ausgefüllt, so wie dieß mehrere Maschen in dem unteren Theile der Figur zeigen, in den Schnittpunkten der Rhomben sitzen die Haarbüschel der Pflanze, die Pfeile führen nach den 3er, 5er u. f. f. Parastichen (nach einer photographischen Paufe).

beginnen die primären Gefäßbündel derjenigen Blätter, welche in dem nächsten Sommer zur Entfaltung kommen. In der Richtung der Axe dürfen wir das Wachstum als unbegrenzt anfehen, stets schließen nun die primären Gefäßspuren in derselben Richtung an bereits vorhandene an, so daß dieselben gewissermaßen weiter fließen, mit gelegentlichen seitlichen Abzweigungen, welche in die seitlichen Organe ausmünden. (Man vergl. auch die Figur 315.)

Stellung und Verlauf der primären Gefäßbündel¹⁾.

Die primären Gefäßbündel stehen im Querschnitt in einem Kreis: Mehrzahl der Dicotyledonen; in zwei Kreifen: Stamm der Tradescantien, Piperaceen und viele andere; endlich weit über den ganzen Querschnitt zerstreut bei den baumartigen Monocotylen.

Der Bewegungsvorgang, dessen Studium wir oben S. 303 zum Vorwurf machten, kann zunächst in den Längsschnitten Fig. 301 und Fig. 300 dargelegt werden.

Die Gefäßbündel Fig. 301 *f*, *f'*, *f''* geben Ausläufer ab, welche zum Theil in die seitlichen Organe *T T'*, Blätter, einmünden, zum Theil aber gehen ihre oberen Endigungen nach der Endknospe *A*. In der nächsten Nähe dieser stehen die Blätter *T T''*. In diesen differenzirten sich die Gefäßbündel, ehe noch der Anschluß an das Gefäßbündel *f'''* z. B. hergestellt ist. Dieser wird erreicht, indem während der nachträglichen Streckung des ganzen hier im Durchschnitt verzeichneten Stammabschnittes das Blattbündel nach unten fortrückt, während das Stammbündel ihm entgegenrückt.

Bei den Palmen, Dracænen, Pandanus, Fig. 302, haben wir Studienobjecte, welche den Vorgang der hier herrschenden Verschiebung noch deutlicher demonstrieren. Wir brauchen hier nur zu fragen: wie muß sich der Kegel *AB* mit allen in ihm verzeichneten Gefäßbündeln verschieben, damit alle Blätter, *T*, *T'*, *T''*, welche jetzt dicht gedrängt stehen, später auf größere Intervalle am Stamme gerathen und doch alle mit Gefäßbündeln versehen werden?

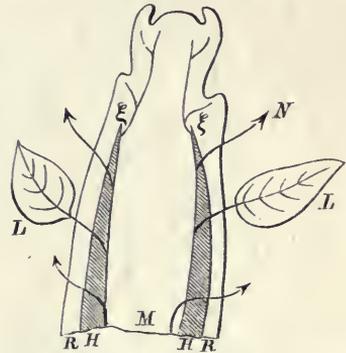


FIG. 300. Schema eines Stammdurchschnittes dicotyler Holzpflanze. *H* der Holzkörper. *M* Mark. *R* Rinne. In ξ gehen die primären Gefäßbündel nach der Knospe und den Blättern. *N* die Spuren der Nieder-, *L* die Laubblätter.

¹⁾ Dr. C. SANIO, Einige Bemerkungen in Betreff meiner über Gefäßbündelbildung geäußerten Ansichten. 165. 71. 84. 91. 97. Bot. Ztg. 65. — HAUSHEIM, Ueber gürtelförmige Gefäßstränge-Verbindungen im Stengelknoten dicotyler Gewächse. 1858. Berlin. Dümmler.

Schon in der Anlage im Kegel AB verlaufen die Bündel zur Achse des Stammes geneigt; sie beschreiben tangential und radial schiefe Bahnen, und es muß ein Bündel, welches in der Zone AB nach A convergirt, in

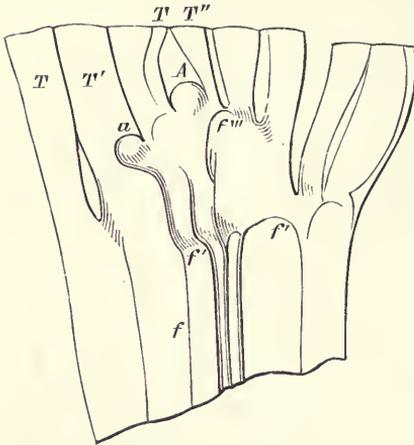


FIG. 301. Tradescantiafamm, Längsschnitt. $T T'$ Blattbasen. A Vegetationspunkt. $f f'$ die Gefäßbündel. a Axillarsproß.

eines der Blätter T eintritt, später nach der Richtung der Peripherie divergiren, wenn das entsprechende Blatt selbst mehrere Fuß von dem Vegetationspunkt A durch das Wachstum entfernt wurde, oder mit Bezugnahme auf unser Photogramm, Fig. 302, muß das Stückchen $\alpha \beta$ mit der Zeit in die Lage $\alpha' \beta'$ gerathen. Wir wollen diesen Verlauf den Typus der baumartigen Monocotylen nennen. Die Blätter $T T'$ u. $f. f.$ stehen auf einem flachen Kegel dicht gedrängt, und in dem Maße, wie der Stamm wächst, rücken sie in dessen Cylinderfläche auseinander. In demsel-

ben Maße entstehen am Vegetationspunkt aber auch wieder neue Blätter und in jedes soll eine bestimmte Anzahl von Gefäßbündeln eintreten. Es wird daher stetig die Configuration über dem Niveau B , Fig. 302, übergehen in die Anordnung, welche unter dem bezeichneten Niveau herrscht.

Mit Bezug auf die Blattstellung (f. Allgem. Morphologie, Buch I. 1) muß darauf geachtet werden, daß bei den Dicotylen mit streng gesetzmäßiger Stellung der Blatt- und Gefäßspuren, diese nicht in der Orthostichen-¹⁾, sondern in der Parastichen-Richtung verlaufen. Das beste Studienobject hierfür ist der von NÄGELI zuerst untersuchte Stamm von *Iberis amara*, Fig. 303. Verfolgen wir einen Strang: er geht in einer Richtung, welche parallel mit der 5er Parastiche ansteigt, so aber, daß während des in Richtung des Pfeiles fortschreitenden Wachstums die Spur 22 sich anlegt an 17, 17 legte sich früher an 12, 12 an 7 u. f. f., und es müssen in je einem sehr dünnen Querschnitt je 10 Gefäßbündel auftreten.

Anders liegt dieß bei den decussirten Pflanzen, wo im Allgemeinen, wenn von den Drehungen des Stammes abgesehen wird, die Gefäßbündel fast streng parallel der Axe verlaufen, Fig. 304. In dem Niveau α stehen die Keimblätter AB Figur mit je einer einzigen Gefäßspur, dort aber kommen noch

¹⁾ Orthostiche ist die Verbindungslinie der Blatt-, beziehungsweise Zweiginfertionen, welche parallel der geometrischen Axe des cylindrisch gedachten Organes verläuft.

zwei kleine Spuren $A' B'$ für die Axillarsprosse der beiden Keimblätter hinzu. Das Cylinderstückchen $\alpha \beta$ ist congruent zu $\beta \gamma$, die beziehungsweise Blatt- und Axillarsprosse sind um 90° entsprechend der decussirten Stellung der Laubblätter verschoben. a, b, c und d, e, f sind die Gefäßbündel, welche zu dem ersten Blattpaar (den Primordialblättern) führen. In den nun folgenden drei Blattpaaren sind alle Gefäßbündel ausgebildet, mit Ausnahme des obersten Paares, wo erst die Medianfränge v und n angelegt sind. Nach abwärts führen die Hauptfränge A, B, C, D in den hypocotylen Stammtheil.

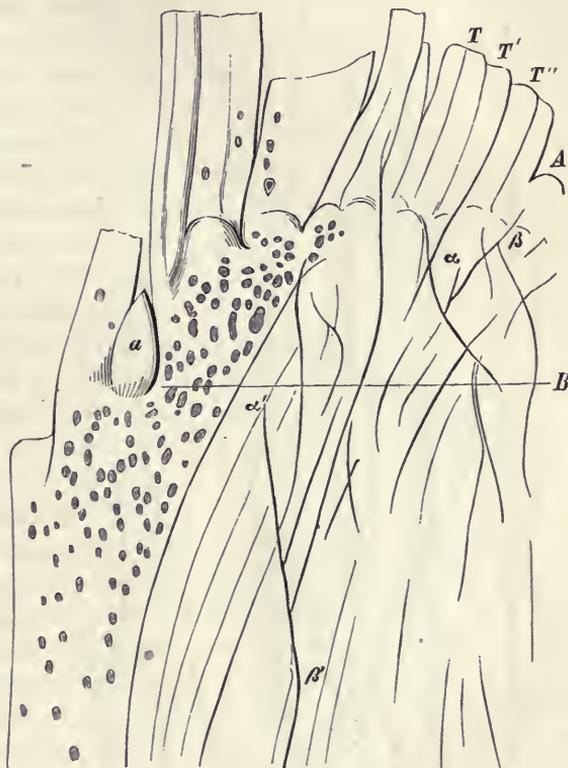


FIG. 302. *Pandanus graminifolius*. Längsdurchschnitt durch den Stamm. A dessen Vegetationskegel, T Blattbasen, $\alpha \beta$ Axillarsprosse, $\alpha \beta$ Gefäßbündel, welches in radialer Richtung nach A convergirt, $\alpha' \beta'$ ein solches in divergenter Richtung, bezogen auf die Axe, getroffen. Die Rinde mit zahlreichen Raphiden von oxalsaurem Kalk.

D. Festigkeit der Gewebe¹⁾.

Ein neuer und origineller Weg, die histologischen Verhältnisse zu behandeln, ist von SCHWENDENER betreten worden. Er untersucht zunächst die Festigkeit der verschiedenen Gewebe-

arten, nachdem er gezeigt, daß in der bisherigen Bezeichnungsweise der Histologen nur die Lage und gegenseitige Anordnung der Gewebe maß-

¹⁾ f. SCHWENDENER, *Mechan. Princip im anat. Bau der Monocotylen*. Leipzig 1874. W. Engelmann. S. 1 ff. S. 14 ff.

Ist T das Tragvermögen, b die Länge, so ist der Elasticitätsmodul

$$E = \frac{Tb}{\lambda},$$

wo λ die Verlängerung bedeutet.

gebend waren. Er unterscheidet zwischen mechanischen Zellen (Fasern, Baft) und dem Füllgewebe oder Grundgewebe und Collenchym, Parenchym.

Um die Elasticität und Festigkeit der Baftbündel zu prüfen, wandte SCHWENDENER eine ähnliche Methode an wie HOFMEISTER, als er die Größe der Spannung in den Geweben untersuchte. Er klammert die Baftstreifen, belastet sie in senkrechter Lage, bestimmt die Verlängerung und das Gewicht, bei welchem der Streifen reißt, sowie den Elasticitätsmodul (f. die Anmerkung S. 313). Es ergibt sich, daß die stärksten Baftfasern in Hinsicht des Tragvermögens und der Elasticität dem Schmiedeeisen wenig nachstehen. Das Tragvermögen pro qmm ist beim neuseeländischen Flachse 20 k, bei *Pincetia recurvata* aber steigt es bis 25 k. Bei Schmiedeeisen ist es in Drähten 21 k, der größte Werth bei Stahl ist 24,6. Das Maximum der Verlängerung ist bei den Fasern des Papyrus 15,2 pro mille. Das Maximum der-

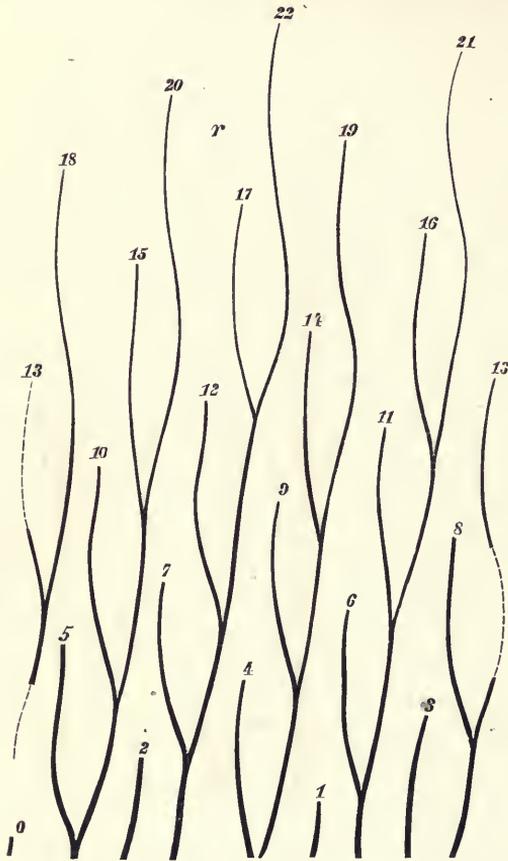


FIG. 303. Aufgerollter Stamm von *Iberis amara* nach NÄGELI. Schematische Darstellung des Fibrovascularverlaufs; überall wo eine Zahl steht, geht das Bündel aus der Cylinderfläche in ein Blatt über.

Die Tragkraft eines Balkens hängt von feiner Construction ab. Der T Träger, welcher heutzutage so vielfach in Eisen den Holzbalken ersetzt, möge als Beispiel dienen. Die Querstriche des T Trägers werden die Gurtungen desselben genannt. Wenn h die Höhe des Balkens oder Eisenträgers, l seine Länge, Q die gleichmäßig vertheilte Last bedeuten, so ist R die resultirende Zug- oder Druckkraft in der Mitte des Trägers

$$R = \frac{l}{2h} \cdot Q.$$

Ist das Tragvermögen T der Gurtungen für die Flächeneinheit (13 k pro qmm beim Schmiedeeisen), so ist $F T$ die größte zulässige Druck- oder Zugspannung und es besteht zwischen ihr und der Belastung Q die Beziehung

selben bei Metallen kommt dem Messing zu, mit 1,35 pro mille. Die stärksten Pflanzengewebe unterscheiden sich somit nicht in der absoluten Festigkeit von den Metallen, sie sind dagegen dehnbarer. Sie unterscheiden sich weiter «durch die geringere Differenz zwischen Tragmodul und Festigkeitsmodul, d. h. zwischen den Zugkräften, welche bloß eine Verlängerung bis zur Elasticitätsgrenze und denjenigen, welche ein sofortiges Zerreißen bewirken». Das Schmiedeeisen reißt erst bei der dreifachen Belastung, welche seinem Tragvermögen entspricht, die Faser aber sofort nach dem Ueberschreiten ihrer Elasticitätsgrenze.

Bei den Bäumen kommt eine Drehung in Betracht, welche den Schaft um seinen Fußpunkt tordirt. Erfasst der Sturm die Krone, so wird der Schaft in erster Linie pendelartig hin- und hergezerrt. Sodann aber wird die Krone selbst um den Schaft als Axe kleine Theile des Kreisumfanges, welcher um die Axe beschrieben ist, durchlaufen und dabei den Schaft bald von links nach rechts, bald von rechts nach links tordiren. In gleichem Sinne wird der Ast gebeugt, dabei aber wird er ebenfalls einer Torsion unterliegen, indem bald die linke bald die rechte Seite des Schirmes von dem Wind herabgedrückt wird. Der horizontale Ast oscillirt um seine Axe.

Das Auszweigungssystem der Baumwurzel unterliegt solchen Einflüssen nicht.

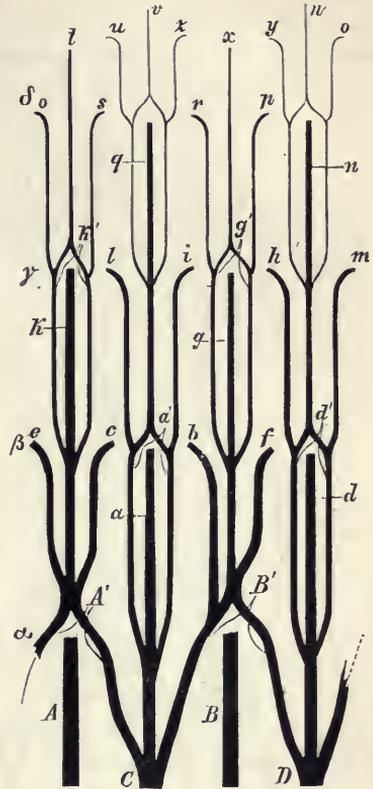


Fig. 304. *Urtica Dodartii* nach NÄGELI. Gefäßbündelverlauf im aufgewickelten Cylinder dargestellt.

$$Q = \frac{2b}{l} FT.$$

Die Verbindungsglieder sind am wenigsten gespannt. Man beachte, daß ein zweiseitig befestigter elastischer Stab, welcher in der Mitte die Last trägt, bei der Biegung in der oberen Seite positiv, in der unteren negativ gespannt ist, in der Mitte liegt die neutrale Zone, wo die Compression der Oberseite in die Expansion der Unterseite übergeht. In dem Gewebe der Pflanzen sind die Gurtungen mechanische Zellen, Fasern, die Füllungen dagegen Parenchym, Grundgewebe.

Vergleich der Biegefestigkeit des Baftes mit der einer Eisenbrücke¹⁾.

Der Querschnitt in der Britanniabrücke ist in Fig. 305 *B* dargestellt. Die Röhre ist 14' breit, an den Enden 23', in der Mitte 30' hoch. Die

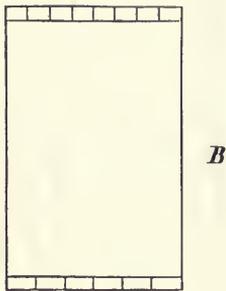
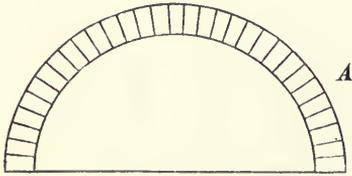


FIG. 305.

Seitenwände bestehen aus Eisenblech von 13—16 mm Dicke. Die Decke hat acht, der Boden sechs Zellen. Läßt man den rechteckigen Querschnitt zum Kreisring werden (Fig. 305 *A* stellt die Hälfte dieses dar), so bekommt der Durchmesser 10 m. Die Differenz zwischen dem inneren und äußeren Radius ist 50 cm. Die Zahl der Rippen im ganzen Umfang ist 60 cm. Wenn die Wanddicke für die Röhren 1,5, für die Rippen 1 cm beträgt, so ist die Querschnittsfläche 11,860 qcm und das Maß des Biegemomentes 1340 Million kcm. Die Senkungsgröße, wenn die Röhre mit den Enden frei aufliegt, berechnet sich nach (I) zu 4,6 cm.

Vergleicht man nun einen Scirpusstengel oder Grashalm in dieser Hinsicht mit der Brückenconstruction, so muß der Querschnitt derselben auf 1000 cm Durchmesser berechnet werden. Das spezifische Gewicht des frischen Baftes ist 1,5, etwa $\frac{1}{5}$ von dem des Eisens. Sei der Elasticitätsmodul 125 000. $\frac{Q}{E}$ erhält einen constant anderen Werth. Q ist etwa 5 mal, E 15 mal kleiner als beim Eisen. Die Senkung ist in der Mitte daher $\frac{15}{5}$ mal größer. Zu beachten ist nun, daß der Querschnitt der Baftconstruction für den Querschnitt des Organs größer ist, wie der Querschnitt oder Träger in der Brücke. Er erreicht das Zehnfache der letzteren. Denkt

¹⁾ (I) Die Senkungsgröße S wird aus der Länge der Röhre l , welche beiderseits befestigt, aus dem Maß des Biegemomentes W , aus dem Elasticitätsmodul E und aus dem Gewicht der Röhre Q gefunden.

$$S = \frac{l^3}{384 WE} \cdot Q.$$

(II) Das Biegemoment ist die Größe, welche bei der Belastung eines Trägers der Beugung des Trägers umgekehrt proportional ist. Das Moment ist bestimmt (unter der Voraussetzung, daß die Füllung vernachlässigt werden darf), indem die Querschnitte der Gurtungen mit dem Quadrate ihres Abstandes von der neutralen multiplicirt wird.

man sich den Querschnitt des Moliniahalmes auf 1000 cm Durchmesser vergrößert und diese Construction in Eisen ausgeführt, bei einem Querschnitt von 90,000 qcm und dem Eigengewicht Q von 1,350,000 k, so erhält man bei 100 m Länge eine Senkung von 12 cm, diese würde gesteigert auf 16 cm, wenn die Belastung um 450,000 k (Gewicht eines starken Güterzuges) vergrößert würde. Damit wäre das Maximum der zulässigen Belastung aber noch nicht erreicht (III).

SCHWENDENER unterscheidet zwischen mechanischen Zellen und morphologischen. Zu den ersteren rechnet er die Bastbündel, welche namentlich bei den Monocotylen ganz unabhängig von den übrigen Elementen des Gefäßbündels über den Querschnitt des Stammes und Blattes vertheilt stehen, ferner das Collenchym.

In zweiter Linie kommen wenigstens bei den Monocotylen die Zellenelemente in Betracht, welche der Translocation von Protoplasma, Cambiform, Cambium, von Luft und Wasser, Gefäße- und Holzzellen dienen. Diese nennt SCHWENDENER das Meftom des Gefäßbündels. Ihre Bedeutung für

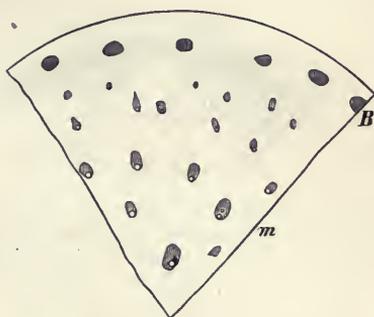


FIG. 306. *Arum maculatum*, Querschnittsparthie durch den Blüthenachse. *m* Meftom, d. i. ein System von Bündeln mit dünnwandigen Gefäßen und Leitzellen. *B* peripherer Kreis von Bastbündeln.

Form des Trägers.	Maß des Biegemomentes.	Verthverhältniß $r_2 = \frac{5}{6} r.$
Cylinder	$F \frac{r^2}{4}$	1000.
Hohlcyllinder	$F \frac{r_1^2 + r_2^2}{4}$	5545.
Quadratischer Balken	$F \frac{r^2}{6}$	1046.
Hohler quadratischer Balken	$F \frac{r_1^2 + r_2^2}{6}$	5800.
Dreikantiger Balken	$F \frac{r^2}{8}$	936.
Hohler dreikantiger Balken	$F \frac{r_1^2 + r_2^2}{8}$	5192.
Sechskantiger Balken	$F \frac{5 r^2}{24}$	1009.

(III) Zur Reduction auf die wirklichen Verhältniffe im Pflanzenstengel beachte man, daß wenn n die Verkleinerungsziffer ist, so wird in

$$S = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^3 Q}{WE}$$

der Zähler n^6 mal kleiner, weil Q den dritten Potenzen der Längeneinheit proportional ist.

die Befestigung des Systems ist eine geringere. Sie dienen aber in höherem Maße den Anforderungen der Ernährung.

Die Bastzellen besitzen die größte Festigkeit. Das ganze System des Stammes kann als eine mechanische Construction aufgefaßt werden, in welcher die Bastbündel die Träger bilden, während die übrigen Gewebe

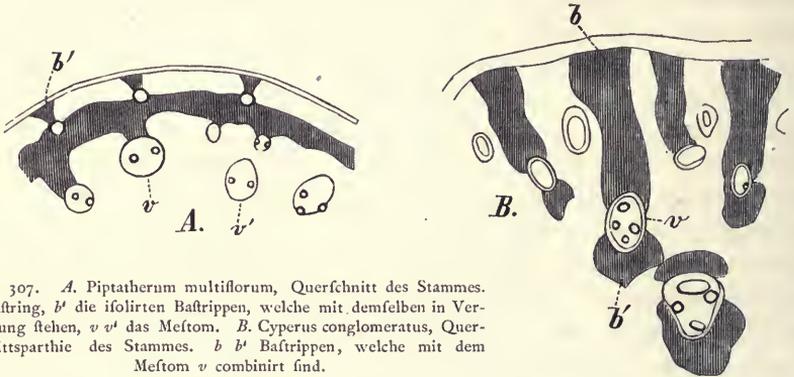


FIG. 307. *A.* *Piptatherum multiflorum*, Querschnitt des Stammes. *b* Bastring, *b'* die isolirten Bastrippen, welche mit demselben in Verbindung stehen, *v* *v'* das Mestom. *B.* *Cyperus conglomeratus*, Querschnittspartie des Stammes. *b* *b'* Bastrippen, welche mit dem Mestom *v* combinirt sind.

als Füllungen und Verbindungen dienen. In der citirten Abhandlung sind die wichtigsten derartigen Constructions, nachdem ein Abriß der Festig-

Im Nenner ändert sich aber bloß W mit der vierten Potenz. Die Senkung fällt also n^2 mal kleiner aus, d. h. das Organ muß im Verhältniß zu seiner Dicke vielmal länger fein, wenn sein Eigengewicht, plus einer entsprechenden Belaftung, eine erhebliche Senkung veranlassen soll.

(IV) Die Senkungsgröße einer Röhre, welche einerseits befestigt, andererseits in horizontaler Stellung frei und an diesem Ende belaftet, ist

$$S = \frac{l^3}{3WE} P,$$

wo P das angehängte Gewicht bedeutet.

Ist der Stab oder Faßerabschnitt einerseits befestigt, in senkrechter Lage am anderen Ende belaftet, ist λ die beobachtete Verlängerung, G das Gewicht, r der Radius des Bastringes, so hat man:

$$3WE = \frac{3}{2} \frac{l}{\lambda} r^2 G.$$

(V) Außer den Zug- und Druckkräften kommen in einem horizontalstehenden, einerseits befestigten, andererseits belafteten Träger noch «schiebende Kräfte» oder Schubkräfte zur Wirkung, welche die Theilchen nach allen Richtungen zu verschieben trachten. Solche Kräfte werden sowohl parallel der Axe, als auch senkrecht zu ihr wirksam sein. So ist z. B. das am Ende hängende Gewicht bestrebt, die betreffende Querschnittscheibe senkrecht zur Axe zu verschieben. Die positive und negative Spannung und die Schubkräfte parallel und senkrecht zur Axe lassen sich in ihrer vereinigten Wirkung betrachten, und es kann für jede zur Axe geneigte Richtung die Resultirende gesucht werden. Möge die Fläche den Winkel φ mit der neutralen Faserschicht einschließen, die Spannung, welche in dieser Fläche zur Wirkung kommt, ist die Tangentialspannung

keitslehre vorausgeschickt ist, welchen ich in hier beifolgenden Noten berücksichtigt habe, in 20 Typen abgehandelt, von welchen einige der interessanteren hier abgehandelt sein mögen.

A. Einfache Bastrippen unter der Epidermis.

1^o Die Bastrippen in einfacher Ringlage mit dünnwandigem Meftom combinirt, z. B. *Arum B* Fig. 306.

2^o Kleinere und größere Bastrippen wechseln ab und sind getrennt durch chlorophyllführende Zellen. Blattfiel der *Colocasiaen*. Das Maß des Biegemomentes, wenn die Bastrippen als vierseitige Träger in Anschlag kommen, beträgt 1500 Millionen.

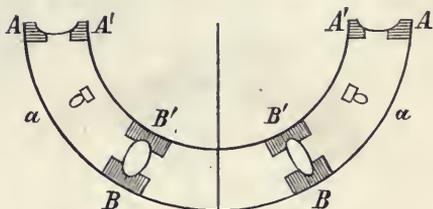


FIG. 308. Schema der Stammhälfte von *Scirpus caespitosus*. Der Querschnitt zeigt sechs größere combinirte Träger und vier kleinere.

B. Combinirte periphere Träger.

3^o Je zwei Bastrippen, deren Verbindungslinie im Radius liegt, und welche durch Meftom oder Parenchym verbunden sind, bilden einen zu-

T , diejenige, welche senkrecht zu ihr wirkt, die Normalspannung, so erhalten wir mit Rücksicht auf T

$$\text{tang. } 2\varphi = \frac{1}{2} \frac{Sb}{Ssa},$$

worin Sb die Spannung in Folge der Biegung, und Ssa die Schubspannung parallel der Axe bedeuten,

mit Rücksicht auf die Normalspannung N

$$\text{tang. } 2\varphi = -2 \frac{Ssa}{Sb}$$

als die Werthe des Winkels, bei welchen die Tangential- oder die Normalspannung zum Maximum oder Minimum werden.

Die Druck- und Zuglinien oder Spannungstrajectorien an einem Träger Fig. 309, welcher in p mit $2k$ belastet ist, die Höhe von 2 , die Dicke senkrecht zur Papierfläche von 1 cm besitzt, sind berechnet. Sie stellen Curven dar, parallel welchen die Spannung nur als Druck oder Zug wirkt. Sie schneiden die neutrale Faser unter dem \sphericalangle von 45° . Sie schneiden sich selbst unter dem Winkel von 90° . Die Elemente werden im Sinne der abwärts concaven Trajectorie positiv (gedrückt), im Sinne der auf-

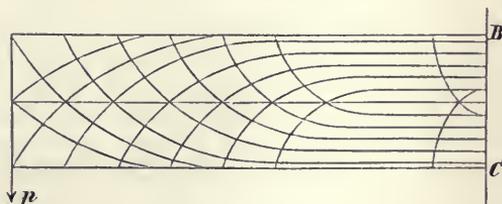


FIG. 309.

wird im Sinne der abwärts concaven Trajectorie positiv (gedrückt), im Sinne der auf-

fammengefetzten Träger, viele folche stehen in einem Kreis. Wird nach derselben Methode das Maß der Bieugungsmomente berechnet, so werden 1087 Millionen erhalten. Das System würde schematisch durch die Figur 308 dargestellt sein.

4⁰ Meftom und Baft ist combinirt, *A* der einfachere Fall für Cyperus Fig. 312, *B* der complicirtere Fig. 313. Die Festigkeit ist durch die Verbindung der Baftbündel mit dem Meftom oder parenchymatischen Gewebe wesentlich erhöht. Das Maß des Bieugungsmomentes steigt auf 1250 Millionen.

C. Bafthohlcyylinder mit radialen Rippen, welche mit der Epidermis in Verbindung stehen.

In diesen Typen verschmelzen zum Theil die Baftbündel zu Ringen, Fig. 310. Die complicirteren Systeme sind zusammengesetzt aus zahlreichen peripheren Baftbündeln und Meftomen, welche durch Parenchymstränge verbunden sind, Fig. 313.

Die großen luftführenden Gänge der Juncaceen, Potameen u. a. m. sind durch Diaphragmen von Parenchym getrennt. Diese stellen ebenfalls eine mechanische Einrichtung dar, welche das System befestigt. Bei den Scirpusarten werden die Luftgänge durch feine fadenförmige Zellen be-

wärts concaven Trajectorie negativ gespannt (gezerrt). Die steileren Enden der Trajectorie entsprechen der kleinsten, die flachen Enden der größten Spannung.

Bei den vegetabilischen Organen sind die Schubspannungen gegenüber den Druck- und Zugspannungen wegen der großen Länge verschwindend klein.

An einem horizontalen am einen Ende eingespannten Träger von 2 cm Höhe, 1 cm Dicke, 1 m Länge berechnen sich die Maxima und Minima der Normalspannungen in einer Distanz von 50 cm vom freien Ende wie folgt:

Es ist die Querschnittsfläche aus zwei Quadraten von je 1 cm Seitenlänge zusammengesetzt. *b* ist die Breite, *h* die Höhe. Das Maß des Bieugungsmomentes *W* ist

$$W = \frac{b h^3}{12} = \frac{1 \cdot 2^3}{12} = \frac{2}{3};$$

die Spannung der äußeren Fasern an der oberen und unteren Begrenzungsfläche ist

$$R = \frac{P x e}{W},$$

worin *P* das Gewicht, *x* dessen Abstand vom freien Ende, *e* die Entfernung der Grenzfafer von der neutralen Lage bedeuten. Ist der Abstand eines beliebigen Punktes von der neutralen Lage *z*, so ist die Schubkraft parallel der Axe *Ssa*

$$Ssa = \frac{6P}{b h^3} (e^2 - z^2) = \frac{1}{2} \frac{P}{W} (e^2 - z^2);$$

für den vorliegenden Träger ist allgemein: $Ssa = \frac{3}{2} (1 - z^2)$.

Der Longitudinalschub schwankt zwischen 1,5 k per qcm (für $z = 0$) und Null (für $z = e$).

festiget, welche in der lebenden Pflanze stets im gespannten Zustande angetroffen werden¹⁾.

Als Befestigungseinrichtungen gelten die Gelenkknoten der Gräser, oberhalb deren das Internodium in intercalarem Wachstum befindlich ist. Dieses aber ist durch die Blattbasis vor dem Einknicken geschützt.

Der Knoten dient zweierlei Zwecken, er ist im unteren Theil ein Organ der Befestigung, im oberen Theile dient er der Bewegung, ähnlich den Gelenkpolstern der Papilionaceenblätter.

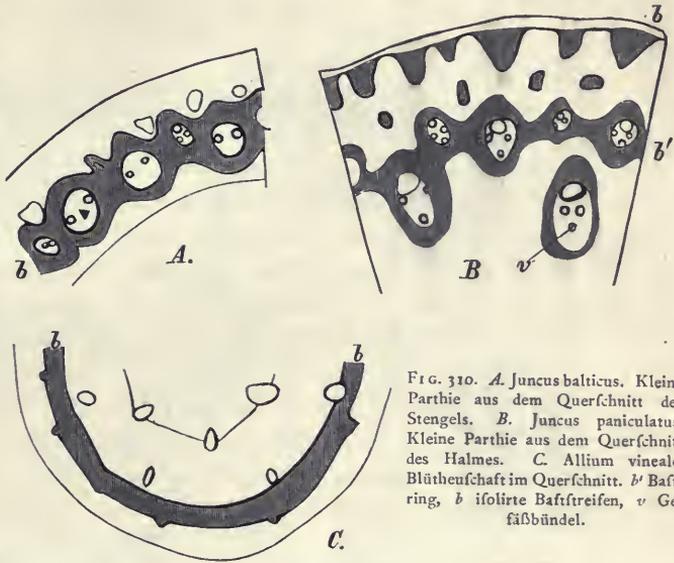


FIG. 310. A. *Juncus balticus*. Kleine Parthie aus dem Querschnitt des Stengels. B. *Juncus paniculatus*. Kleine Parthie aus dem Querschnitt des Halmes. C. *Allium vineale*. Blütheenschaft im Querschnitt. *b'* Baststreifen, *b* isolirte Baststreifen, *v* Gefäßbündel.

Die relative Festigkeit in conischen Organen, Stengeln, Baumstämmen, gegenüber der Biegung um den an der Basis der Wurzelstelle belegenden

¹⁾ «Die Normalspannung *N*, rechtwinklig-zu der oben erwähnten geneigten Ebene, deren Neigung φ übrigens nachträglich noch besonders zu bestimmen ist, erreicht, für einen

$$\text{beliebigen Abstand von der neutralen, den Maximalwerth } N_{\text{max.}} = \frac{R}{2} + \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + L^2}$$

$$\text{und den Minimalwerth } N_{\text{min.}} = \frac{R}{2} - \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + L^2}.$$

In diesen Formeln sind die Größen *R* und *L* für die verschiedenen Werthe von χ arithmetisch zu berechnen. In unserem Fall, wo *R* für die äußersten Fasern 150 k beträgt, mögen aus der Abhandlung einige Werthe für die Maximalspannung angegeben sein:

$$\text{für } \chi = 0 \quad \text{ist } N_{\text{max.}} = \sqrt{L^2} = L = 1,5 \text{ k per qcm}$$

$$\text{« } \chi = \frac{1}{16} \cdot e \quad \text{« } N_{\text{max.}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{16} + \sqrt{4,69^2 + 1,494^2} = 9,6 \quad \text{« } \text{« } \text{«}$$

$$\text{« } \chi = \frac{1}{2} \cdot e \quad \text{« } N_{\text{max.}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{2} + \sqrt{37,5^2 + 1,125^2} = 75,02 \quad \text{« } \text{« } \text{«}$$

$$\text{« } \chi = \frac{3}{4} \cdot e \quad \text{« } N_{\text{max.}} = \frac{450}{8} + \sqrt{56,25^2 + 0,656^2} = 112,50 \quad \text{« } \text{« } \text{«}$$

$$\text{« } \chi = e \quad \text{« } N_{\text{max.}} = R = 150 \quad \text{« } \text{« } \text{«}.$$

Befestigungspunkt, muß in allen Querschnitten die gleiche sein. Bei gleicher Materialvertheilung in einem solchen Gebilde muß daher eine bestimmte Beziehung zwischen der Länge und dem Radius der hintereinander belegenen Querschnitte bestehen. Die Spannung ist in dem Gebilde gleich groß, wenn die Bedingung erfüllt ist, daß die dritte Potenz des Radius (R) gleich ist dem Abstand der Last, welche an dem Ende wirkt, von dem zu R gehörigen Querschnitt, dividirt durch die Gesamtlänge. Ein Träger, welcher diesen Anforderungen entspricht, ist ein Kegel mit paraboloider Endigung. Er krümmt sich, wenn er einerseits befestigt, andererseits in horizontaler Stellung belastet wird, so, daß die Krümmungsradien am Befestigungspunkte größer sind wie an dem belasteten Ende. Pflanzstengel, Halme, lineale Blätter beugen sich so, daß die Curve dem Kreise sich nähert, dieß muß auch nach obiger Voraussetzung um so mehr der Fall sein, je schlanker der Träger gebauet ist.

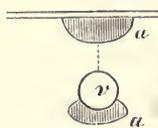


FIG. 311. Querschnitt einfacher kombinierter Träger. a der Baß, v die Gefäße.

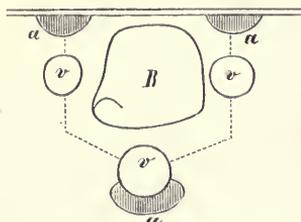


FIG. 312. Querschnitt der complicierteren Träger. a und v wie vorher. B Parenchym zwischen den Fibrovafalparthieen.

SCHWENDENER bestimmte die Senkung für mehrere schlanke Grashalme, welche einerseits bei horizontaler Stellung in den Schraubstock geklammert, andererseits belastet waren. Die Länge der Stücke war 70 mm.

Bei der Berechnung der Minimalspannungen ist statt des + vor den Wurzelzeichen ein - zu setzen. Die Ziffern bleiben unverändert. Man findet für

$$\chi = 0 \quad N_{\text{min.}} = - 1,50 \text{ k per qcm}$$

$$\chi = \frac{I}{16} \cdot e \quad N_{\text{min.}} = - 0,22 \text{ " " " "}$$

$$\chi = \frac{I}{4} \cdot e \quad N_{\text{min.}} = - 0,05 \text{ " " " "}$$

$$\chi = e \quad N_{\text{min.}} = - 0 \text{ " " " "}$$

Die negativen Vorzeichen bedeuten die entgegengesetzten Spannungen, also Druck statt Zug.

Die Richtung dieser Maximal- und Minimalspannungen ist gegeben durch den Winkel φ , welcher die Neigung der fraglichen schiefen Ebene zur Horizontalen, oder was dasselbe ist, die Neigung der Spannungsrichtungen zur Vertikalen bezeichnet. Das Maximum oder Minimum ergibt sich in der Formel $\text{tang. } 2 \varphi = - \frac{2L}{R}$.

Für die Werthe von χ erhält man: bei $\chi = 0$ ist $\text{tang. } 2 \varphi = - \infty$, also $2 \varphi = 270^\circ$ und $\varphi = 135^\circ$, welche nach rechts wie nach links herum Gültigkeit haben. Mit Rücksicht auf einen bestimmten in der neutralen Axe liegenden Nullpunkt des Kreifes, von dem aus in gleicher Richtung gezählt wird, ist also $\varphi = 135$ oder 45° .

Die beiden Richtungen kreuzen sich also rechtwinklig und schneiden die neutrale Axe unter 45° . In diesen Kreuzungspunkten haben Maximal- und Minimalspannung glei-

Senkung bei 5 g wirklicher Belastung auf 10 g berechnet.

	Juncus glaucus.			
Abtand von der Basis . .	0	200	400	700
beobachtete Senkung . .	—	5	9	16
Durchmesser des Stammes	2,4	2,28	2,2	1,8.

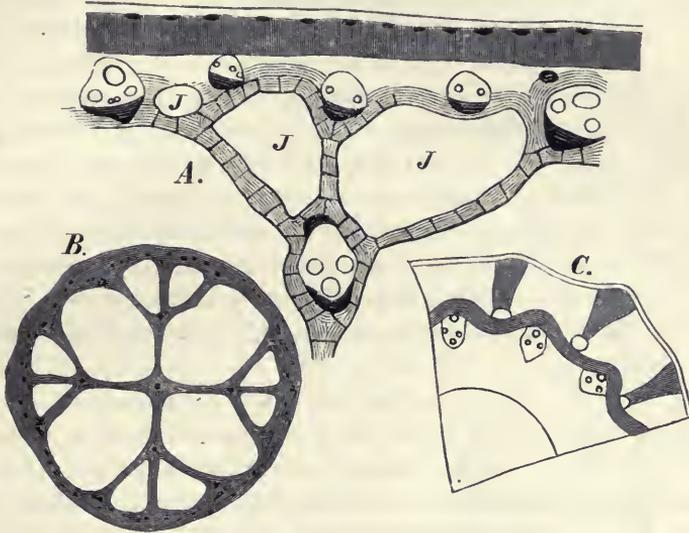


FIG. 313. A. *Scirpus lacustris*. Querschnittsparthe durch den Halm. J Intercellularräume. B. *Scirpus lacustris*. Querschnitt durch den oberen Theil des Halmes. C. *Alopecurus pratensis*. Querschnittsparthe des oberen Halmtheiles. Die schraffirten Theile sind Bastbündel oder wie in C Bastring.

chen Werth, nämlich 1,5 k per qcm, sie haben entgegengesetztes Vorzeichen, weil die eine von Druck-, die andere von Zugkräften herrührt. Für die äußerste Faser ist $\alpha = e$, und dem entsprechend $\tan \varphi = 0$, also Winkel $2\varphi = 0$ oder 180° , folglich $\varphi = 0$ oder 90° . Die Maximalspannung ist hier = 150 k und dabei longitudinal gerichtet; die Minimalspannung ist zwar in der Grenzfläche selbst gleich Null, muß aber transversal gedacht werden, da sie schon in der nächstliegenden Faser diese Richtung wirklich zeigt.

Für die übrigen Werthe von α berechnen sich in ähnlicher Weise die nachstehend bezeichneten Winkel.

Die gefundenen Grenzwerte sind der Vollständigkeit wegen noch einmal aufgeführt, die bei der Berechnung erhaltenen Minuten unter $1/2$ Grad dagegen weggelassen.

$\alpha = 0$;	$\varphi = 45^\circ$ oder 135°	$\alpha = \frac{1}{4} \cdot e$; $\varphi = 88^\circ$ oder 178° $\alpha = \frac{1}{2} \cdot e$; $\varphi = 89^\circ$ " 179° $\alpha = \frac{3}{4} \cdot e$; $\varphi = 90^\circ$ " 180° $\alpha = e$; $\varphi = 90^\circ$ " 180° .
$\alpha = \frac{1}{100} \cdot e$; $\varphi = 58^\circ$	" 148°	
$\alpha = \frac{1}{16} \cdot e$; $\varphi = 81^\circ$	" 171°	
$\alpha = \frac{1}{8} \cdot e$; $\varphi = 85^\circ$	" 175°	

«Die Richtungen der Maximal- und Minimalspannungen, welche die neutrale Axe unter 45° schneiden, nähern sich hienach sehr rasch der Längs- und Querrichtung unseres Trägers. Schon bei $\alpha = 1/8 \cdot e$ beträgt die Abweichung nur noch 5° , bei $\alpha = 1/4 \cdot e$ nur

Durch die Gewebefspannung wird die Festigkeit des Systems erhöht. Ein Theil derselben wird ihren Grund im hydrostatischen Druck der Flüssigkeiten auf die Zellwand haben, sowie eine prall mit Wasser oder Gas gefüllte Blase erhebliche Festigkeit gegenüber dem schlaffen entleerten Zustand zeigt. SCHWENDENER denkt sich einen hohlen Träger von bekannter Tragkraft und Masse (Baft etwa), derselbe soll mit Gas unter dem Druck von 5 Atmosphären gefüllt, horizontal aufgestellt, einseitig befestigt sein, wie groß ist seine Tragkraft im gefüllten und gespannten Zustande? Sieht man von der Expansion des Trägers in der Querrichtung ab, oder denkt sich diese durch starre Ringe eliminirt, so kann die Tragkraft P durch die Formeln, welche die angewandte Mechanik benutzt, berechnet werden.

Der Druck von 5 Atmosphären erzeugt unter der obigen Voraussetzung lediglich die Längsspannung (Axenkraft), deren Maß Q sein möge; ist ferner P die Tragkraft, welche dieser Spannung entspricht, P_1 aber dieselbe für den ungepannten Zustand, ohne die Axenkraft Q , F die Querschnittsfläche, l die Länge, T das Tragmodul¹⁾, so besteht diese Gleichung:

$$\frac{P}{P_1} = \left(1 + \frac{Q l^2}{3 W E}\right) \cdot \left(1 - \frac{Q}{F T}\right).$$

Die Tragkraft von P kann größer oder kleiner wie P_1 sein, je nach Verhältniß der Quotienten in der ersten und zweiten Klammer, je nach dem Maß des Biegemomentes und der Spannung längs der Axe. Es folgt hieraus, daß die Gewebefspannung eine größere Bedeutung für die nicht verholzten saftigen und dehnbareren Theile hat, wie für die festeren.

¹⁾ Tragmodul ist die Zugkraft, welche den Träger von der Einheit des Querschnittes bis zur Elasticitätsgrenze ausdehnt.

noch 2°; alle außerhalb liegenden Fasern werden also ziemlich genau in der Längs- und Querrichtung in Anspruch genommen.

Die Spannungen in der Längsrichtung steigen hiebei, wenn wir allmählig von der neutralen bis zur äußersten Fafer fortschreiten, von 1,5 k bis auf 150 k; diejenigen in der Querrichtung fallen dagegen von 1,5 k bis auf Null.»

Um die Curven zu construiren, muß beachtet werden: 1) daß durch eine kleine Verschiebung der Querschnittsfläche, für welche die Spannungen berechnet wurden, die gefundenen Spannungswerthe und Spannungsrichtungen nicht erheblich modificirt werden, und 2) daß die Curvenstücke der unteren Trägerhälfte zu denen der oberen symmetrisch sind.

Statt also die kurzen Linien, welche die Spannungsrichtungen bezeichnen, in der nämlichen Vertikalen aufzutragen, schließt man dieselben so an einander an, daß z. B. diejenigen, welche den Minimalspannungen entsprechen, eine gebrochene Curve bilden, welche in der neutralen Faferfchicht um 45°, bei $\alpha = 1/8 \cdot e$ aber schon um 85° und bei $\alpha = 1/2 \cdot e$ um 89° gegen die Horizontale geneigt ist, u. f. f. Diesen Curven ist eine möglichst regelmäßige, den Neigungen entsprechende Krümmung zu geben. Das Gleiche gilt für die Maximalspannungen, welche indeß etwas weiter von der gegebenen Querschnittsfläche hinweg-

An dieselben Gewebeformen, welche den mechanischen Anforderungen genügen sollen, werden aber offenbar im Leben der Pflanze auch die Aufgaben der Translocation der Ernährung gestellt. In letzterer Hinsicht sind die Chlorophyllzellen so vertheilt, daß sie die Lücken zwischen den mechanisch wirksamen Bastbündeln ausfüllen. Die Leitzellen liegen meist im Mestom. Die beiderlei Gewebearten passen sich, wie in vielen Fällen gezeigt werden kann, gegenseitig sowie ihren Aufgaben an (f. SCHWENDENER a. a. O., S. 107 ff.).

Wir entnehmen der SCHWENDENER'schen Arbeit das folgende Resumé.

a) Die Pflanzen haben sich im anatomischen Bau den äußeren Einwirkungen angepaßt. Sie müssen, wenn sie in der Luft leben, so die Stämme, Blätter, Blüthenschäfte, dem seitlichen Zug und Stoß (durch den Wind und einseitige Belastung) eine genügende Biegefestigkeit entgegensetzen. Andere Organe bilden sich für eine größere Zugfestigkeit aus, so die wüzelnden Stämme und die im Wasser fluthenden, welche zum Theil den Auftrieb eines großen Volumens im stehenden, oder den Zug specifisch leichter Massen im fließenden Wasser zu ertragen haben. Endlich müssen die feuchte Erde bewohnenden Rhizome der Cyperaceen, Gramineen u. a. m. zweien Anforderungen genügen: erstlich der Durchlüftung, indem sie durch große Intercellularräume das Gewebe auflockern. Zum zweiten müssen dieselben Organe durch das mechanische Gerüste der Bastbündel in Träger-

führen. Für eine genauere Construction müßte die Berechnung hier für zahlreiche Querschnitte ausgeführt werden. Aber auch ohne diese Berechnung ist ersichtlich, daß die Curve den Maximalspannungen, welche die neutrale Axe unter 45° schneidet, schon bei $\tau = \frac{1}{8} \cdot e$ nur noch 5° , bei $\tau = \frac{1}{4} \cdot e$ noch ungefähr 2° von der Längsrichtung abweicht und daß sie in ihrem weiteren Verlaufe nach der Befestigungsstelle hin sich immer mehr der Längsrichtung nähert, um in der äußersten Faser dieselbe vollständig zu erreichen. Sowohl Druck- als Zuglinien der oberen Trägerhälfte sind also für die bezeichnete Entfernung von 50 cm vom belasteten Ende bekannt, und auch der weitere Verlauf der Zuglinien ist wenigstens annähernd gegeben. Man hat jetzt zur Vervollständigung des Bildes nur noch nöthig, in der unteren Trägerhälfte das Spiegelbild der gezogenen Curven herzustellen, oder was daselbe ist, die Zeichnung auf dem Papier um die neutrale Axe zu drehen und auf der anderen Seite abzudrucken oder durchzupausen. Die Drucklinien verlaufen alsdann von der oberen Grenzfläche in der bezeichneten Weise quer nach innen, beschreiben in der Nähe der Neutralen einen starken Bogen, um dieselbe unter 45° zu schneiden und nehmen dann in der unteren Trägerhälfte ziemlich rasch eine der Axe nahezu parallele Richtung an. Die Zuglinien gehen in symmetrischer Krümmung von der unteren in die obere Trägerhälfte über. In Fig. 314 ist ein zusammengehöriges Paar solcher Linien dargestellt.

Für die Beurtheilung der oben geschilderten Trägerformen ist es nun wichtig, darauf hinzuweisen, daß hier das Verhältniß der Länge zur Höhe sich gewöhnlich in viel höheren Ziffern bewegt, als für die vorhergehende Berechnung vorausgesetzt wurde. Die Druck- und Zuglinien gehen folglich in schlanken vegetabilischen Trägern noch in viel stärkerer Krümmung, unter Umständen beinahe in rechten Winkeln

combinationen oder Gürteln (Schutzscheiden) gegen den Druck geschützt fein, welcher senkrecht auf die Fläche des Cylinders sie einzuknicken strebt.

b) Die Zellen, welche vorzugsweise in diesem Sinne mechanisch am meisten leisten, sind die Bastzellen und bastähnlichen Collenchymzellen, welche in ihrer anatomischen Gruppierung vorzugsweise das mechanische System des Pflanzenkörpers repräsentiren. Die Bastzelle ist ein zugespitzter Cylinder, in dessen Wand die Poren, die Streifen größter und kleinster Dichte, beziehentlich die Moleculreihen in longitudinaler, oder in der Richtung einer linksläufigen Schraubenlinie geordnet sind.

c) Die Bastzellen besitzen eine Zugfestigkeit innerhalb ihrer Elasticitätsgrenze, welche der des Schmiedeeisens gleichkommt, von welchem sie sich durch größere Dehnbarkeit unterscheiden. Der Elasticitätsmodul ist dementsprechend beträchtlich kleiner, und erreicht im Maximum den neunten Theil des für das Schmiedeeisen bekannten.

d) Die Bastzellen nehmen im anatomischen System, eben weil sie allen möglichen äußern Anforderungen bei verschiedenen Pflanzen genügen müssen, keine bestimmte Stellung ein, sie stehen wie oben dargelegt, bald in isolirten Streifen, bald combinirt mit den Elementen des Gefäßbündels, bald in gefonderten Cylinderflächen (Schutzscheiden).

(natürlich immer mit abgerundeten Ecken) von der Quer- in die Längsrichtung über, d. h. die Maximal- und Minimalspannungen entsprechen noch viel entschiedener der Vertikalen und Horizontalen. Wenn nun schon in unserm Falle die Maximalspannung in der äußersten Fafer 150 k erreicht, während die quer gerichtete Minimalspannung bloß zwischen 0 und 1,5 k variiert, so muß der Unterschied in schlanken Blüthenschäften u. dgl. noch viel größer sein. Mit zunehmender Länge des Trägers steigen nämlich unter übrigens gleichen Bedingungen auch die Maxima der longitudinalen Spannungen, während die Minima, ob schon sie in der Axe selbst den constanten Werth L haben, in den äußeren Fasern immer kleiner werden.

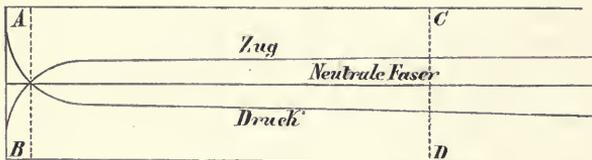


FIG. 314.

Es darf uns daher nicht wundern, wenn in der Pflanze die Füllungen zwischen den Trägergurtungen, weil dieselben ja bloß die quer gerichteten Minimalspannungen aufzunehmen haben, oft auffallend schwach gebaut

sind. Wenn vollends der einzelne Träger bloß Bestandtheil eines hohlcylindrischen Systems ist und folglich die neutrale Axe nicht in sich aufnimmt, wie das z. B. im Stengel von *Scirpus caespitosus* (vgl. Fig. 308) der Fall ist, so erreichen die Querspannungen in der Füllung nur einen verschwindend kleinen Betrag.

Wir haben nun allerdings im Vorhergehenden die Tangentialspannungen, d. h. die Schubspannungen parallel der schiefen Ebene, deren Neigungen φ für das Maximum oder Minimum nach der oben aufgestellten Gleichung zu ermitteln wären, unberücksichtigt ge-

e) Die Constructionen, welche der Anforderung der Biegefestigkeit entsprechen, sind bei den Monocotylen mannigfacher Art: zumeist ist es der Hohlcyylinder, in welchem die Bastbündel als Träger oder Pfosten verbunden sind, mit Xylem, Parenchym und Parenchymdiaphragmen. Die Festigkeit nimmt in acropetaler Folge, entsprechend dem geringeren Widerstandserforderniß, ab.

Die Folge davon ist, daß sich die Organe, Stengel, Blüthenschäfte und die einzelnen Blätter in eleganten Curven (Parabel) beugen.

Die Festigkeit wird bei intercalarem Aufbau durch die Blattstcheiden unterstützt, z. B. Gräser, Liliaceen.

f) Nach den Anforderungen in Hinsicht der Festigkeit machen sich die lichtbedürftigen Chlorophyllzellen des Grundgewebes und die mechanischen Bastzellen an der Peripherie den Raum streitig, die letzteren weichen zurück, herrschen aber an solchen Organen, wo die ersteren durch andere Umstände ihre Bedeutung in der Peripherie verlieren, dort wieder vor, z. B. in den Blattstcheiden.

g) In gleichem Sinne geben die Bastzellen die periphere Lage in solchen zugfest zu construierenden Organen auf, in welchen die Rinde durch lockermaschiges Parenchym für die Durchlüftung in erster Linie eingerichtet ist. Hier wird z. B. bei den Wurzeln, den Stämmen der Wasserpflanzen die Festigkeit durch einen peripheren dünnen Basttring erlangt, während die Gefäßbündel in das Centrum des Stammes zurückgedrängt erscheinen.

h) Die mechanischen Zellen dienen außer der Befestigung des ganzen Systems auch noch der Durchlüftung, in diesem Falle werden sie lockerer und besitzen größere Poren, so die Libriformzellen der Coniferen, aber auch der baumartigen Monocotylen (*Dracæna*, *Cordyline*).

lassen. Allein dieß ist unter den gegebenen Umständen gestattet. Denn obgleich die Rechnung für die peripherischen Fasern einen nicht unbedeutenden Maximalschub ergibt und überdieß zeigt, daß die Richtungen, in denen diese Schubkräfte ein Maximum erreichen, die rechten Winkel der sich kreuzenden Druck- und Zuglinien genau halbiren, so kann doch die schiefe Schubspannung für die weiche Füllungsmasse schon deshalb nicht in Betracht kommen, weil jeder schiefe Schnitt nicht bloß die Füllung, sondern auch die festeren Gurtungen trifft. Die Füllung hat also für sich allein bloß den oben bezeichneten kleinen Spannungen zu widerstehen. Aus demselben Grunde haben z. B. die Nietensreihen in der Mittelwand eines schmiedeeisernen Blechträgers, wie sie bei kleineren Brücken angewandt werden, nicht dem Maximum der schiefen Schubspannung, sondern einfach dem Longitudinalschub zu widerstehen, wozu dann allerdings zunächst der Gurtung noch die entsprechende Zug- oder Druckspannung kommt.

Mit den Spannungstrajectorien belasteter Träger nicht zu verwechseln sind die Drucklinien in Gewölben, auf deren nähere Besprechung an dieser Stelle ich indeß verzichte, weil die Spannungsverhältnisse gewölbartiger Constructionen im Allgemeinen bekannt, oder doch jedenfalls weniger unbekannt sind. Einiges Specielle hierüber soll bei Besprechung bestimmter Fälle mitgetheilt werden.»

E. Secundärer Zuwachs am Baume¹⁾.

Wir fangen zunächst von den Verhältnissen der Blattstellung und von den Aesten, Zweigen ab und suchen uns einen Ueberblick zu verschaffen über die augenfälligsten Bewegungen. Ich wähle dazu ein Schema, in welchem alle Nebendinge der feineren Anatomie und Morphologie bei Seite gelassen sind, Fig. 315. Es möge in dem Jahre 1870 ein Niederblatt und ein Laubblatt in dem Längsdurchschnitt getroffen sein, ebenso im Jahre 1871 und 72, und das System befinde sich im Winter 1872/73. *A* ist der Vegetationspunkt, *F*, *F'* mehrere Blattanlagen, *a* die Axillarknospe, *N* das Niederblatt des geschlossenen Endtriebes. Von *A* bis zum Niveau *A'* ist alsdann das System ohne Jahrringe; es ist die Region der primären Gefäßbündel.

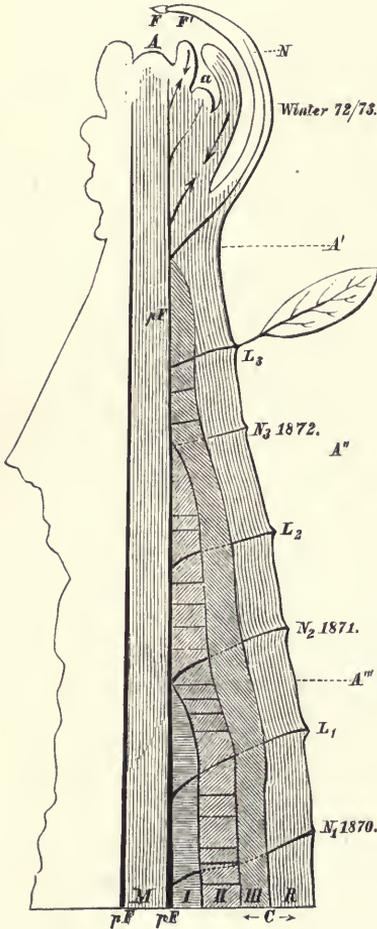


FIG. 315. *pF* primäre Gefäßbündel. *I II III* erster, zweiter, dritter Jahrring. *M* Mark. *R* Rinde. *N* Niederblatt. *L* Laubblattspur am Rindemantel. *F* Laubblatt. *A* Vegetationspunkt der Hauptaxe, *a* derselbe für den Axillarsproß.

Die durch Pfeile angedeutete Spur im Blatte *F* geht während der nächsten Zeit, dafern Wachstum herrscht, der entsprechenden, durch einen Pfeil bezeichneten Stammspur entgegen, ebenso in *F'*.

Gehen wir nun eine Etage an dem System hinab nach *A''*, so liegt jetzt über der immer parallel mit dem Marke und diesem dicht anliegenden Gefäßspur *pF* der das ganze System bis *A'* überziehende Jahrring III. In ihm stecken die abgerissenen Spuren des Laub- und Niederblattes, welche im Sommer des Jahres 1872 sich entfalten und schließlich abfielen. In der Etage *A''*, *A'''* liegen über *pF* zwei Jahrringe, und die entsprechenden Spuren *L₂* (für das Laubblatt), *N₂* (für das Nebenblatt)

¹⁾ TH. HARTIG, Forstliche Culturpflege Deutschlands. Entw. des Jahrrings. Bot. Ztg. 1853. S. 553. Die Entstehung der Markstrahlen. Bot. Ztg. 55. S. 217. — HUGO v. MOHL, Ein Beitrag zur Lehre vom Dickenwachstum des Stammes der dicotylen Bäume. I. Bot. Ztg. 69. — DR. ROBERT HARTIG, Zur Lehre vom Dickenwachstum der Wald-

find nun ganz zugedeckt von einer Jahreslage des Holzes und von einer entsprechenden der Rinde, die punktirte Linie bei L_2 und N_2 stellt die ursprüngliche Verbindung dar.

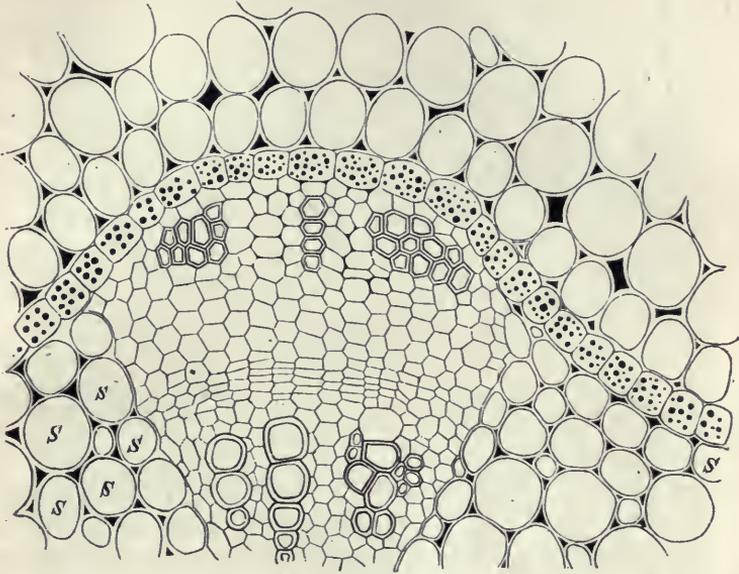


FIG. 316. *Ricinus communis*. Querschnittsparthie eines Gefäßbündels vor der Verschmelzung der Cambialstreifen zum Cambiumring in der primären Keimaxe nach SACHS.

Das Zustandekommen jener Holzlagen geschieht so: die Gewebe der primären Markstrahlen gerathen nach einiger Zeit nach der Entfaltung des Zweiges aus dem Knospenzustand ebenfalls in den cambialen Zustand, so daß eine Ueberbrückung der Markstrahlen stattfindet, nach welcher der ganze Kreis von einem Cambiumring umgeben ist. Diese Gewebeschicht functionirt periodisch bei unseren Waldbäumen, so daß die Markstrahlen stetig in radialer Richtung weitergeführt werden.

Bei einer großen Anzahl von krautartigen Dicotylen bleiben die einzelnen Gefäßbündel, im Querschnitt betrachtet, seitlich isolirt. Ueberhaupt scheint dieser Zustand ganz allgemein der Anfangszustand zu sein. Dieses Verhältniß ist in der Figur 316, welche wir dem Lehrbuch von SACHS entlehnten, sehr gut dargestellt. Die äußeren Zellen bis zu dem Gürtel, dessen Zellinhalt punktirt ist, gehören der primären Rinde an. Der Gürtel ist der Stärkering, eine Zellenchale, welche vorzugsweise der Translocation der

Oktober. Die innere Rindengrenze wird in diesem Zeitraum um die Dicke des Jahrringes in centrifugaler Richtung fortgeschoben.

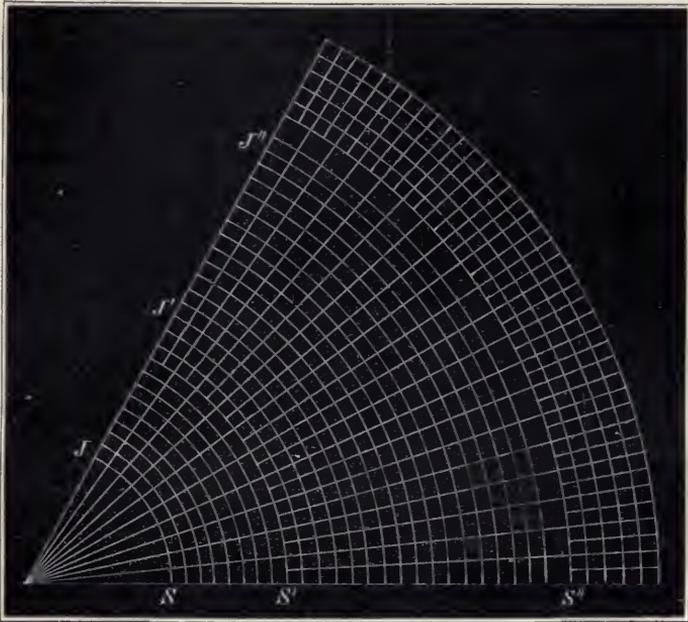


FIG. 318. Schema der einfachsten Theilung im Zuwachs eines Nadelholzstammes. $J S'$ erster, $S' J''$ zweiter Jahrring streng radial geordneter Zellenketten, in welchen dieser Voraussetzung genügt ist, daß die tangentiale Ausdehnung der Zellenkette wächst, bis durch eine radial gestellte Wand zwei Zellen entstehen, jede von der Größe der ursprünglichen in $J S$.

In physiologischer Hinsicht haben die Holzelemente diese Bedeutung:

1^o dient der Holzkörper der Befestigung des Systems während der Jahrzehnte langen Dauer;

2^o leiten die Gewebe aufwärts das Bodenwasser;

3^o leiten sie abwärts die Reservekörper, Stärke, Zucker, und es sind vorzugsweise die Markstrahlen und die Holzparenchymzellen, welche hier eine Rolle spielen¹⁾;

4^o dienen die Holz- und Gefäßzellen der Durchlüftung.

Die Holzstructur ist gerade für die vortheilhafteste Leitung in der Längs- und transversalen Richtung eingerichtet. (angepaßt).

Schema der Theilung.

In allen Cambien sind die Zellen in radialer Richtung reihenweise geordnet. Es herrscht die Theilung durch tangentiale Wände vor. Wie sehr diese Ordnung auch später in dem Holzkörper einerseits, in der Rinde

¹⁾ SANIO, Ueber die im Winter Stärke führenden Zellen im Holze.

andererseits gefört fein mag, ftets läßt sich zeigen, daß die Zellen derselben im Beginne radial geordnet waren. Es läßt sich für den Querschnitt der Wachstumsvorgang auf das Schema, Fig. 318, zurückführen.

Die Ausdehnung der Zelle in tangentialer Richtung muß dadurch aber in den späteren Descendenten außerordentlich wachsen, von *J* nach *J'* u. f. f., Fig. 318. Von Zeit zu Zeit wird daher eine Reihe in zwei übergehen und jedesmal, wenn eine Cambiumzelle diese Theilung vollführt hat, dauert diese fort für alle Abkömmlinge.

Hiebei aber ist auf eines streng zu achten. Die neuen radial gestellten Wände *a' b*, *c' d*, *d' g*, Fig. 319, müssen, damit die Verfränkung der Spitzen *e*, *f*, *g*, in der Tangentialrichtung erhalten bleibe, nicht so geordnet fein, wie dieß

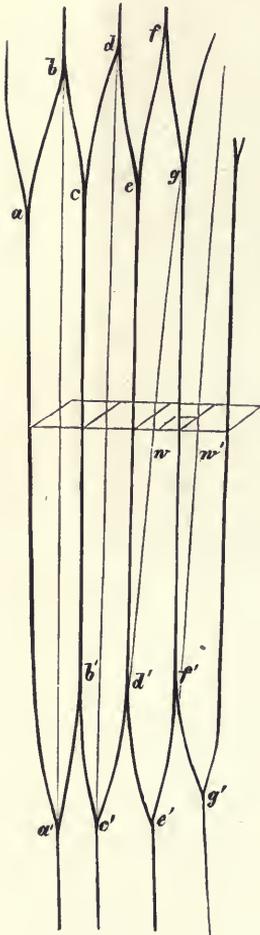


FIG. 319. Schema der Theilung im Cambium durch radial gestellte Wände. Zwei Formen sind möglich: entweder zerfällt die stärker ausgezogene Zelle durch eine Wand *a' b*, welche die Mutterzelle genau halbt, oder die neue Wand hat die Lage *g d'*, wodurch die Mutterzelle asymmetrisch gehälfet wird.

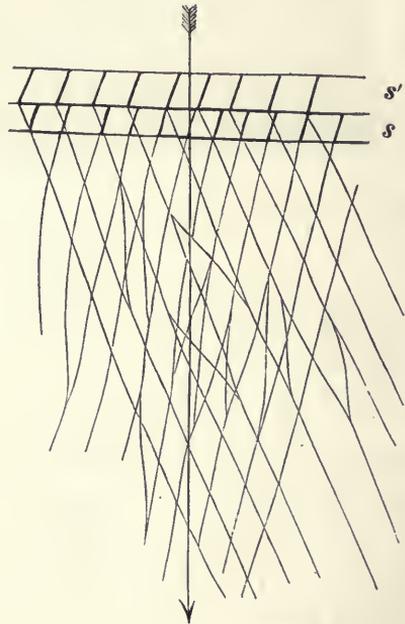


FIG. 320. Schema des Zellfaserverlaufs im Schwammholz einer alten Weifstanne aus dem Thüringer Wald. Die Faserreihe *s* läuft, bezogen auf die Pfeilaxe, von links nach rechts. In der Reihe *s'* ist diese Richtung umgekehrt; *s* *s'* sind Tangentialreihen.

Figur 319 zeigt, fondern eine folche Wand schneidet jeweilig eine Zelle ab, welche, bezogen auf die Mutterzelle, geneigt steht gegen die Wände *w w'*.

Diesß wird durch das Schema Fig. 319 erläutert: möge die Ebene dieser Figur ein Tangentialschnitt sein, so rückt sie, entsprechend dem Schema, Fig. 318, in radialer Richtung fort, die Zellen *a, b, c, d . . . a' b' c' . . .* sollen aber verchränkt bleiben.

Geometrisch unverständlich bleibt aber dieser Fall der Bildung, wo in der Schale *s*, Fig. 320, die Faser von links nach rechts, in der Schale *s'* dieselbe von rechts nach links zur Axe geneigt steht.

Auftreten secundärer Markstrahlen.

Denken wir uns eine Cambialschale zur Zeit, wo der Cambiumcylinder geschlossen ist, in der Thätigkeit des Zuwachses und behandeln die stereometrischen Verhältniße in einem ganz kleinen Element im Querschnitt, mit Zuhilfenahme der Figur 322, so werden in der Zone *C* in Richtung der beiden Pfeile durch stete Zelltheilung gewissermaßen die Zellen der Rinde und des Holzes abfließen, sich nachträglich differenziren, verschiedenartig verdicken und verschiedenartige Function hinsichtlich der Translocation über-

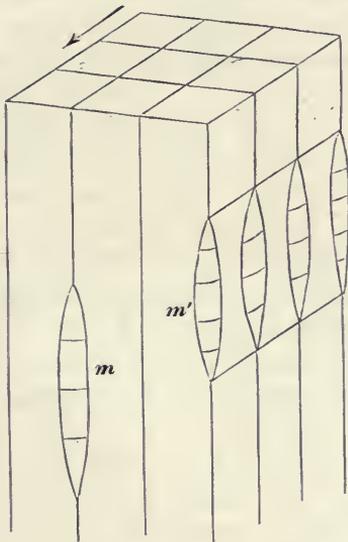


FIG. 321. Schema für die Bildung eines secundären Markstrahles.

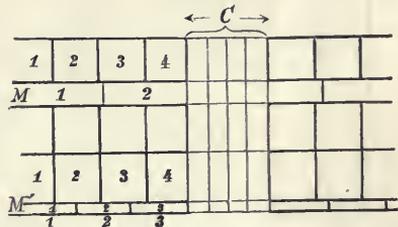


FIG. 322. Schema der Theilung in der Cambiumzone im Querschnitt. *C* Cambiumzone, von welcher aus mit den Pfeilen nach beiden Seiten neue Zellen abfließen. 1, 2, 3, 4 Holzzellen, 1 die ältere, 4 die jüngere.

nehmen; für das Holz würde die mit 1 bezeichnete Zelle die ältere, 4 die jüngere sein, umgekehrt ist die Altersfolge in der Rinde, bezogen auf den Ort der stets in Theilung begriffenen Zone *C*.

In der Zone *C* aber liegen auch die Zellen, welche den Zuwachs der Markstrahlen *M M'* beforgen; die Altersfolge der Zellen in diesen ist genau dieselbe, wie in den Holzzellen. Es muß aber, da in der Zone 1-4 in gleicher Länge auf eine größere Anzahl von Holzzellen eine kleinere Anzahl von Markstrahlzellen kommt, ein anderer Modus der Theilung im cambialen Theil von *M M'* herrschen.

Die Anzahl der Markstrahlen in einem gegebenen Querschnitt ist ur-

früherlich abhängig von der Anzahl der primären Gefäßbündel. Mit dem Heranwachsen der Dicke würden diese immer weiter divergiren, gerade so, wie die Radien des Schema Fig. 318.

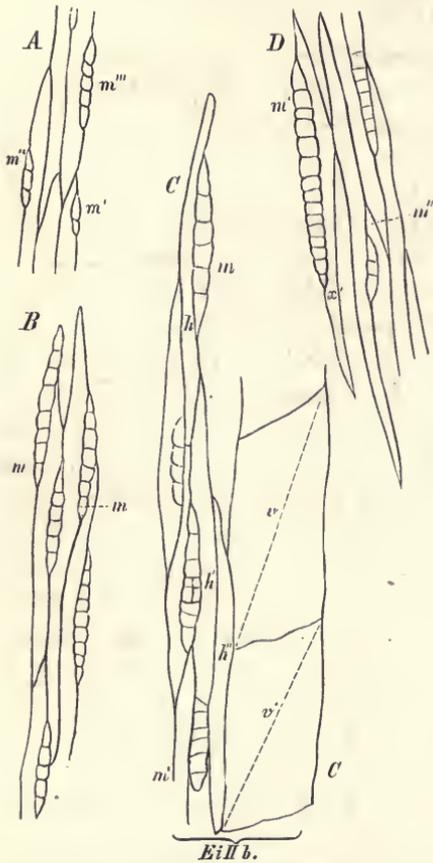


FIG. 323. Cambialparthieen aus der Eiche, Tangential-schnitte. *v* Gefäß, *m* Markstrahl, *h* Holzzelle.

spindelförmigen Holzzelle, sehr verschieden. Wir wählen als Beispiel die Eiche. Fig. 323 stellt tangentiale Durchschnitte durch das Cambium dar. Der Markstrahl *m'* in *A* kann in der Nähe der Spitze, in *m''*, *m'''* in der Mitte der Holzzelle abgeschieden werden. Er kann in tangential transversaler Richtung aus einer oder mehreren Zellen bestehen. Aus diesen Anordnungen lassen sich mikroskopische Merkmale für die Unterscheidung der Hölzer herleiten.

Erweiterung des Lumens und Jahringgrenze.

Die geometrische Forderung ist diese. Es soll erklärt werden, wie das Schema der Theilung für ein Zuwachselement des Jahringes *J J'*,

In Wirklichkeit nimmt aber in dem secundären Holz die Anzahl der secundären Markstrahlen für die Längeneinheit in der Tangential-schnittfläche zu. Es müssen daher nachträglich in den Cambiumzellen neue (secundäre) Markstrahlen entstehen, gerade so wie wir in demselben Schema der Theilung neue Radien einführen mußten, um die Zellen im Zustand mikroskopischer Ausdehnung in ihrem Querschnitt für alle Zeiten zu erhalten. Möge Fig. 321 die körperliche Ansicht einer kleinen Gruppe von Cambiumzellen fein, welche in Richtung des Pfeiles den Zuwachs beforzt, so scheidet sich von einer solchen Zelle durch Theilung der Markstrahl ab. Von jetzt theilt sich das ganze System durch Tangentialwände. Damit wird für alle Zeit die Kette *m'* weitergewebt.

Der Ort, wo die erste Anlage des Markstrahls auftritt, ist selbst in einem und demselben Holze, bezogen auf die Gestalt der

Fig. 325, übergeht in die Porenzone S' , und wie gleichwohl ein späteres Element, insbesondere das letzte, in der Jahrringsgrenze wieder den Radialtypus annehmen kann.

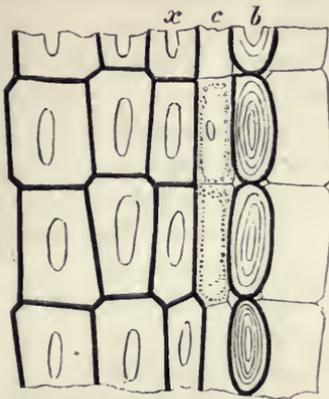


FIG. 324. Querschnittsparthie durch das Astholz von *Juniperus virginiana*. b jüngste Baftzellenreihe. c die einzige Cambiumzellschicht. x letzte Holzelle in der Jahrringsgrenze.

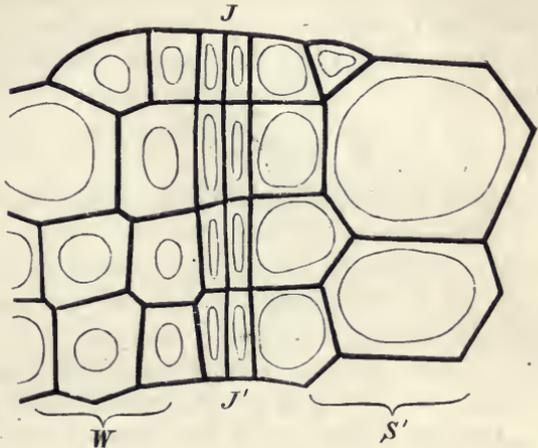


FIG. 325. Querschnittsparthie durch die Jahrringsgrenze von *Aesculus*. J die Grenze zwischen zwei Jahrringen. W Winter-, S' Sommerholz.

Wiewohl man die Bildung des Jahrringes an unseren Bäumen häufig genug in's Auge gefaßt hat, so gibt es doch bis jetzt keine abgeschlossene histologische Entwickelungsgeschichte, welche durch die ganze Vegetationsperiode hindurch den Gegenstand im Auge behielt.

Selbst über den morphotischen Werth der Cambiumzelle sind wir nur sehr nothdürftig unterrichtet.

Ich dehnte die Untersuchungen über die Monate Mai bis September aus und wählte als Studienobjecte die Fichte und die Eiche. Im Monat Mai wurden aber noch mehrere Holzarten untersucht, um über den histologischen Theil der Aufgabe in's Klare zu kommen.

Die allgemeine Betrachtung der Histologie des Jahrringes unserer Bäume lehrt uns:

1^o daß die Vertheilung von Wand und Lumen der Röhrenelemente auf ein Coordinatensystem zu beziehen ist, dessen z -Axe mit der Axe des Stammes, dessen y -Axe mit dem Radius, dessen x -Axe mit der Peripherie zusammenfällt;

2^o daß der Anfangszustand jedes Röhrenelementes ein Prisma ist, dessen Querschnitt in Richtung der y -Axe die geringste Ausdehnung besitzt;

3^o daß im Winter die Grenzschicht zu dem fertigen Holzring des laufenden Jahres in diesem Zustande verharrt;

4^o daß jeder Jahrring mit einer Schicht solcher Zellen endet, daß

fomit jede Holzparthie, nachdem im Sommerholz ihre radiale Ordnung gestört ist, einmal wieder zu dieser zurückkehrt;

5^o die Evolution der großen Gefäße, welche den Radialtypus der Fichte in den Eichentypus verwandelt, geschieht so, daß die Nachbarreihen zum Theil comprimirt werden, zum Theil collabiren.

Im ersten Falle können wir die Radialreihe noch verfolgen diesseits und jenseits der Gefäßzone, im zweiten Fall nicht;

6^o je mehr der Radialtypus im Querschnitt im fertigen Holz gestört erscheint, um so mehr ist der Druck, welchen jede Zelle für sich zurückzuschieben hat, nach allen Richtungen der Transversalebene gleich. Je mehr der Radialtypus vorherrscht, um so mehr ist der Druck, welcher überwunden wird, in Richtung des Radius vorherrschend;

7^o der Gefäßquerschnitt ist entweder ein Kreis, eine Ellipse oder ein anisodiametrisches Polygon.

Steht der große Durchmesser dieser radial, so deutet dies an, daß zur Zeit der Evolution der Widerstand in Richtung des Radius kleiner, steht er tangential, so war der Widerstand in der radialen Richtung größer. —

Mit Rücksicht auf diese Verhältnisse und die Vertheilung der Markstrahlen im tangentialen Längsschnitt können wir für ein Flächenelement im Querschnitte, welches von zwei Winterholzgrenzen und zwei Markstrahlen eingeschlossen ist, die folgenden Typen unter den bekannteren Hölzern unterscheiden. Wir nennen den Ort, welcher dem Stamminnern in unserem Elemente zugekehrt ist, *S*, den Ort, welcher der Peripherie zugekehrt ist, *W* (vergl. Fig. 325).

I. Die Gefäße oder Tracheiden herrschen im Querschnitte vor und sind gleichmäßig vertheilt: der Druck in dem Protene, welches anfänglich in radialer Richtung die Zellenzahl vermehrte, hat in diesem Typus sein Maximum und muß in der ganzen Vegetationsperiode gleich sein. Die radiale Anordnung ist im fertigen Holz verwischt. Die Nachbarzellen der Gefäße und Tracheiden sind collabirt. Die Jahrringgrenze besteht aus 2—4 Reihen radial comprimirt und radial geordneter Holzzellen. Markstrahlen zweierlei:

Gefäße im Lumen polygonal isodiametrisch von *S* nach *W* wenig kleiner werdend. Fagus.

Gefäße im Lumen radial elliptisch. Pyrus.

II. Die Holzzellen herrschen vor. Der Druck, welcher die Evolution der anfänglich streng radial geordneten Protene erweitert, ist im Minimum:

1^o der Uebergang aus den weitlumigen in die Elemente von engem Lumen von *S* nach *W* ist ein plötzlicher oder allmäliger. Der Druck in der Evolution des Protens schwankt und sinkt plötzlich oder allmäliger.

Quercus, Ulmus, Fraxinus.

Holz mit unregelmäßigen Infeln von Holzzellen, welche durch auffällige Ketten im Winter stärkeführender Holzparenchymzellen von einander gefondert sind. Jahrringgrenze aus 1—2 Zellenreihen radial comprimierter Holzzellen bestehend. Radiale Anordnung verwischt. Nachbarzellen der Gefäße auffälligst collabirt.

Uebergang aus den weitleumigen in die englumigen Elemente ein ganz plötzlicher.

Holzparenchym nur in der Schale, welche aus englumigen Elementen besteht. Zweierlei Markstrahlen. Quercus.

Holzparenchym auch in der Schale, welche die Gefäße enthält. Markstrahlen zweierlei. Ulmus.

Uebergang aus den weitleumigen in die engen Elemente ein allmählicher von *S* nach *W*. Markstrahlen einerlei. Fraxinus.

2^o der Druck, welcher die Protene zu Tracheiden oder Gefäßen erweitert, ist über die ganze Vegetationsperiode gleich. Die Größe des Lumens der genannten Elemente ist von *S* nach *W* gleich.

a) Die radiale Anordnung der Elemente im fertigen Holze ist deutlich. Jahrringgrenze durch 2—4 Reihen radial comprimierter Zellen kenntlich.

Lumen der Gefäße und Holzzellen deutlich radial elliptisch, Markstrahlen eine Zellenreihe von der Länge der Holzzelle, Nachbarreihe der Gefäße comprimirt. Salix.

Lumen der Gefäße radial elliptisch (polygonal), Markstrahlen bis zu fünf Zellreihen, sonst wie *Salix*. Betula.

b) Radiale Ordnung im fertigen Holze deutlich, Jahrringgrenze nur durch den Unterschied in Lumen und Wandstärke zwischen Sommer- und Winterholz kenntlich. Markstrahlen mehrreihig. Acer.

c) Radiale Ordnung der Elemente verwischt, Gefäßlumen polygonal, ohne vorherrschende Richtung in der Ausdehnung, Nachbarreihen nicht collabirt. Jahrringgrenze durch 3—4 Reihen radial geordneter und radial comprimierter Zellen kenntlich. Tilia.

Die Disgregation großlumiger Zellen aus dem sogenannten Cambium setzt eine beträchtliche Spannung voraus, welche auf die Frühlingsperiode beschränkt (z. B. Eiche), oder aber über die ganze Sommerperiode ausgeht sein kann (Buche).

Differenzirung in centrifugaler Richtung. Die Rinde¹⁾.

In der vorstehenden Abhandlung der in dem Jahrring sich abspielenden Vorgänge wurden die Voraussetzungen gemacht:

¹⁾ Vorzügliche Studienobjecte sind die Stammrinden von *Juniperus virginiana*, Fig. 326, *Picea*, *Abies*, *Pinus*, *Wellingtonia gigantea*! Weide, Eiche, Ulme!

1^o die Elemente, welche foeben in der Zuwachszone entstehen, sind im Beginne plattförmig;

2^o die ungleiche Erweiterung im Lumen an anfänglich gleich großen Zellen ist Folge eines vom Zellinhalt auf die Wand ausgeübten Druckes.

In der Rinde ist der Zuwachs auch wie im Holz periodisch. Die Zuwachschalen lassen sich aber meistens nicht abzählen. Untersuchen wir in der einfachsten Rinde bei den *Picea*- und *Pinus*-arten die Zuwachsstelle *C*,

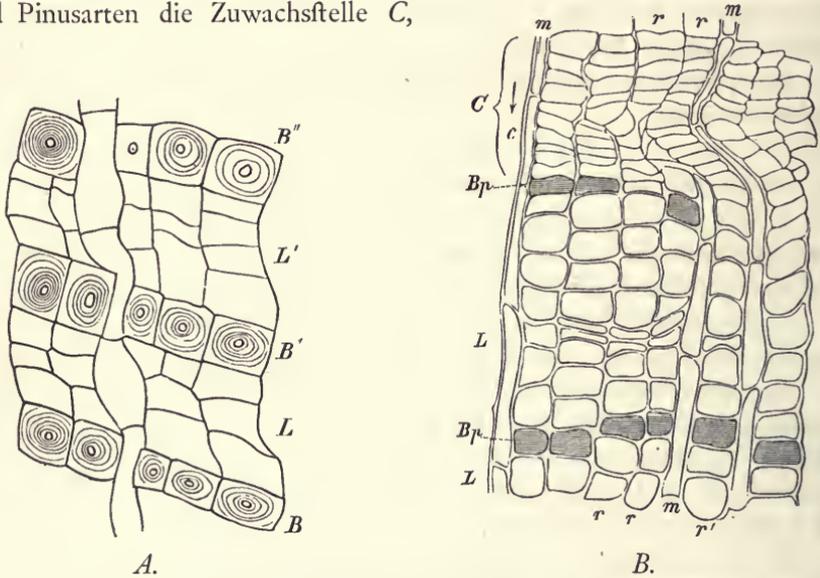


FIG. 326. A. Kleine Querschnittsparthie aus der Stammrinde einer *Wellingtonia gigantea*. B Baftzelle. L Leitzelle. B. Kleine Parthie aus der Zuwachszone der Fichte im Juni. C das Cambium. m Markftrahl. Bp Baftparenchym. L Leitzellen.

Fig. 326 A, fo finden wir die jüngften Elemente radial geordnet, fie differenzieren fich in Richtung der Pfeile, nach dem Pfeil *c* differenzirt fich die Rinde.

a) Aus der Abbildung geht hervor, daß in dem laufenden Jahre in der kleinen Partie in tangentialer Richtung neu entstanden sind aus den Ketten *r*, *r'* (oberer Rand der Figur) die Ketten *r r*, *m r'*, d. h. es ist vom April bis Juni in der kleinen Partie eine neue Radialkette von Zellen und ein neuer secundärer Markftrahl entstanden.

b) In transversal-radialer Richtung ist die secundäre Rinde periodisch gefchichtet. Die Zellenpartie *C* im jeweiligen Zuwachs differenzirt fich in Röhrenelemente und quergefächerte Zellen. Die Röhrenelemente werden zu Baftzellen *B*, wenn fie ihre Wand beträchtlich verdicken, oder zu Leitzellen.

Man kann folgende Typen im Rindenbau unterscheiden:

1^o Baftzellen fehlen: Fichte, Tanne, Kiefer; in radialer Ordnung folgen periodifch *Bp*, *L*, *Bp*, *L*, wo im Allgemeinen in einer Radialreihe *Bp* nur durch eine, *L* aber durch zahlreiche Zellen vertreten ift;

2^o Baftzellen, Baftparenchym und Leitzellen wechfeln periodifch, *B*, *Bp*, *L*; *B*, *Bp*, *L* u. f. f., Fig. 328; die Baftzelle immer allein, die übrigen zahlreicher in einer Periode (*Juniperus virginiana*). In ganz alten Stämmen finkt die Neubildung für ein Jahr auf die Anlegung von einer einzigen Baftzelle, einer einzigen Leitzelle und einer einzigen Lage von Baftparenchym herab (nach ^vAngaben TH. HARTIG's).

Im Allgemeinen läßt fich aus den hiftologifchen Perioden *B*, *Bp*, *L* nicht das Alter fo abzählen, wie im Holz, weil in einem Jahre diefe Periode fich mehrfach wiederholen kann.

3^o Der dritte Typus ift dadurch ausgezeichnet, daß in radialer Richtung vielzählige Gruppen von *L*, *Bp*, *B* u. f. f. abwechfeln (Fig. 327, die Ulme als Paradigma). Die radiale Kettenanordnung ift häufig verwifcht. So verhalten fich viele der einheimifchen Waldbäume.

c) Im Allgemeinen herrfcht gar keine Beziehung zwifchen der Anzahl der Jahrringe im Holz und der Anzahl der Baftbündel in der Rinde, wie die nachfolgenden Abzählungen an verfchieden alten Zweigen beweifen:

Alter.	Zahl der Baftbündel.
Eiche 1—2 Jahre	1 Baftbündel.
“ 15 “	2 “
“ 23 “	7 “
Linde Knofpenaxe	1 “
“ 1 jähr. Zweig	3 “
“ 2 “ “	11 “
“ 5 “ “	17 “
“ 7 “ “	19—20 “
“ 10 “ “	33 “
Eiche 1 “ “	1 “
“ 2 “ “	2 “
“ 7 “ “	5 “

Es geht aus den Zählungen hervor, daß betreffs des Zuwachfes an in radialer Richtung durch Leitzellen und Baftparenchym getrennten Baftgruppen keine ftrenge Beziehung befteht. Bei der Efcche werden weniger wie eine im Jahr, bei der Eiche werden fünf auf fieben Jahre, bei der Linde bis zum zehnten Jahre im Durchschnitt drei Baftperioden für einen Holzjahrring

ausgebildet. Auch an Stammrinden der Eiche (80—100 Jahre alt) fand ich oft zwei Bastperioden in einem Jahre.

d) Bei der unausbleiblichen Compression der Rinden werden die Bastgruppen wegen ihrer großen Festigkeit gar nicht, die Leitzellen aber vollständig collabirt; die Bastparenchymgruppen nehmen in Folge der osmotischen Spannung an Volum zu (f. § 38 B unten).

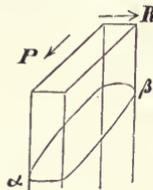
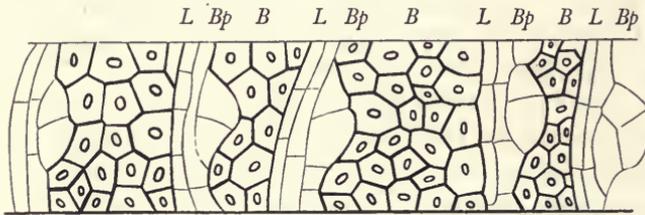


FIG. 327. Kleine Querschnittspartie aus der Ulmenrinde zwischen zwei Markstrahlen. *B* Bastzelle. *Bp* Bastparenchym. *L* Leitzellen. Die siebförmig durchbrochene Querwand der Leitzellen α β steht in der Richtung der Peripherie *P* zur Axe der Zelle geneigt.

Man beachte hier die so außerordentlich regelmäßig gebaute Wellingtonienrinde, Fig. 326 B¹). Dieses Gewebestückchen mußte Jahrhunderte lang einem Druck folgen, welcher zwei der rechteckig verzeichneten Bast-

zellen in tangentialer Richtung auseinander trieb. In Richtung *B B''* aber wurden die Theilchen stetig genähert.

Für die Theorie der Ernährung ergeben sich diese Sätze: Die Leitzellen functioniren an dem Baum nur kurze Zeit, werden in centripetal vorschreitender Richtung collabirt, häufig zu fast structurlosen Bändern. Die Bastparenchymzellen dienen der Leitung länger, nehmen in centrifugaler Richtung an Volum zu. In gleichem Sinne verhalten sich die Rindenmarkstrahlen.

Zeitpunkt des Rindenreißens.

Die Rinde ist vom Winter ab nach den ersten Monaten der Sommerperiode Mai, Juni wasserreicher, wie im Juli, August u. f. f. Sie ist in diesem Zustande dehnbarer, erträgt den Zug, welcher durch den Zuwachs auf sie ausgeübt wird, in den ersten Wochen der cambialen Thätigkeit; später aber, wenn sie namentlich in den peripheren Lagen trocknet, reißt sie jedenfalls von außen nach innen zu, allmählig ein, oder es wird der etwa bereits bestehende Borkenriß erweitert. Diese Erweiterung der Risse ist nicht ein stetiger, sondern periodischer Vorgang. Um die Zeitgrenzen zu ermitteln, innerhalb welcher das Reißen, beziehentlich die Erweiterung vorhandener Borkenrisse erfolgt, wurden an Pappeln und Robinien in 14tägigen

¹) Das Präparat stammt aus einem $\frac{1}{2}$ m dicken Rindenabschnitt eines der californischen Riefenbäume, deren Alter auf über 2000 Jahre angegeben wird.

Intervallen Abdrücke einer bestimmten Rindenparthie gemacht. Die so erhaltenen Matrizen wurden mit Gyps ausgegossen. Fig. 329 stellt solche Abgüsse dar. Die Rinde reißt zwischen dem 15. Juni und dem 15. Juli, und es wurde für einen Sommer die Erweiterung eines Borkenrisses *a b* von 11 mm auf 21 mm erwiesen.

Im Spätfommer besitzt die Baumrinde Festigkeit genug, um den Zuwachs des Druckes zu ertragen. Hieraus entspringt, wie später darzuthun ist, die Spannung, welche die zuletzt entstehenden Zellen im Holze in der Jahrringsgrenze auf einem kleineren Volum zurückhält.

I. Vertheilung über Wurzel, Stamm, Zweig, Blatt.

In dem Zeitraum vom April bis October legt sich der Jahrring über das ganze Baumsystem von der äußersten Wurzel bis zur äußersten Stamm- auszweigung. Hier ist zu beachten, daß die Ein- fügung der Seitenzweige an den verschiedenen Organen verschieden ist. Wurzel, Stamm, Zweig werden dem obigen Gesetze im Allgemeinen folgen, das Blatt aber nur, wenn überhaupt, in seinem Stiele, dafern daselbe mehrjährig ist.

1. Wurzeleinfügung¹⁾.

Mit Ausnahme der Selaginella und der Lycopodium entstehen die seitlichen Auszweigungen der Wurzeln aus adventiven, die Wurzelrinde durchbrechenden Knospen, Fig. 330. Im weiteren Verlauf der Entwicklung der Adventiv- Wurzeln entstehen die primären Gefäßbündel, welche an das Gefäßbündel- system der tragenden Wurzel Anschluß haben. Die Jahrringe der Baum- wurzeln unserer periodisch functionirenden Waldbäume sind über das Aus- zweigungssystem so geordnet, wie im Stamme.

2. Periodisch beblätterte Stämme.

Der Stamm setzt sich aus Hohlkegeln von Jahrringen zusammen, je eine spätere Jahreszuwachs- schale überragt das vorhergehende Convolut um

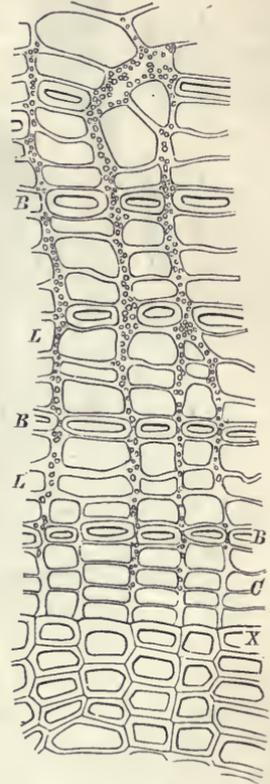


FIG. 328. Querschnittsparthie durch Rinde, Cambium C und Holz X des Juniperus virginiana. L Leitzellen B Baftzellen. Nach SOLMS-LAUBACH, Bot. Ztg. 1871.

¹⁾ DODEL, Der Uebergang des Dicotylenstengels in die Pfahlwurzel. PRINGSH. Jahrb. VIII. S. 149.

die Länge des Jahrestriebes. In jedem Aste der ersten, zweiten u. f. f. Ordnung gilt daselbe.

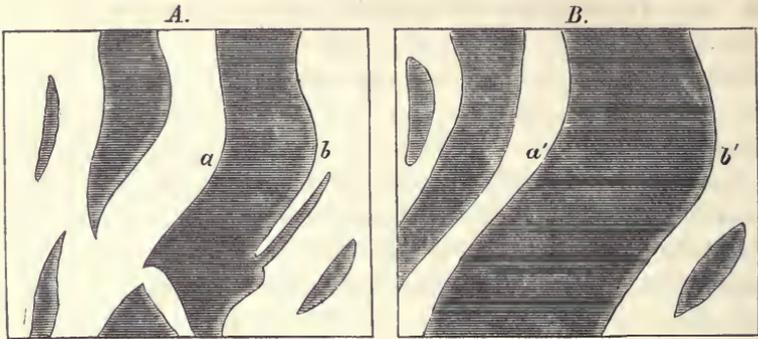


FIG. 329. Die Rindenrisse sind schraffirt dargestellt nach Gypsabgüssen, welche an einem Robinienstamm in mehreren Zeitpunkten des Sommers hergestellt wurden. *A.* vor der Erweiterung der Risse, *B.* nach derselben.

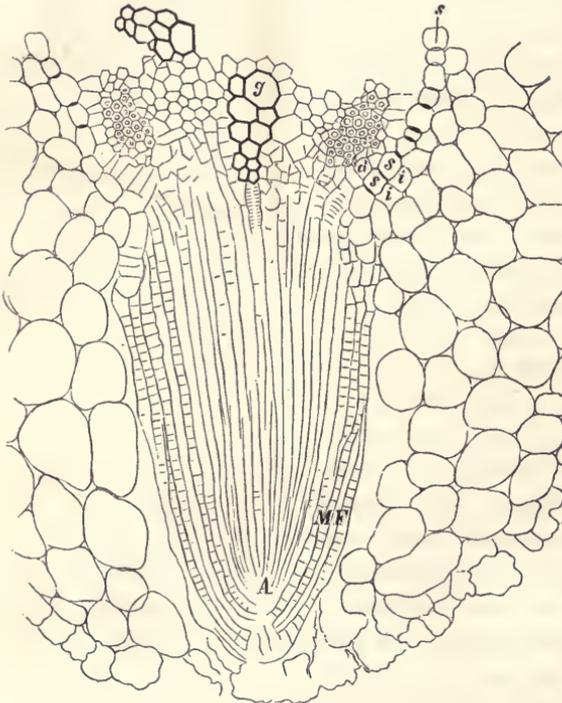


FIG. 330. *Phaseolus vulgaris*. Basaltheil der Hauptwurzel einer jungen Keimpflanze, die Wurzel ist noch in dem Parenchym der Rinde eingeschlossen. *ss* die Schutzscheide. *g* Gefäßbündel im hypocotylen Stengelglied. *ii* innerste Zellenlagen der Rinde.

Es möge die Fig. 331 ein Schema des Baumdurchschnittes in der Länge fein, *Aa* das Mark, rechts die Convolute der Jahresringe. In den ersten Jahren ist bei *a* ein Ast entsprungen, welcher, eine Zeit lang mit dem Schaft *A* gleichen Schritt haltend, mitwächst, so daß sein Convolut mit dem Convolut des Schaftes communicirt.

Durch den Mangel an Licht, allgemein durch den Mangel der Bedingungen, welche im Anfange herrschten, stirbt der Ast *a* ab. Die nun folgenden Convolute des Stammes gerathen außer Continuität mit denjenigen des Astes.

Der Ast wird eingeschlossen. Nach zehn Jahren möge der Ast *b* entstanden sein, welcher nach der Evolution der Krone dauernd dominirt. Ein solcher

Ast trocknet schon im ersten Jahre, nachdem er die Perioden seiner jährlichen Verjüngung eingestellt hat. Hieraus ergibt sich als erstes und Hauptmoment der Leitung: der jährliche Zuwachs (f. weiter unten, achter Abschnitt).

3. Immergrüne Blätter.

In immergrünen Blättern muß offenbar der Blattstiel, welcher die Translocation von und nach der Blattfläche vermittelt, periodischen Zuwachs zeigen. Ein cambialer Cylinder umgibt dort den Querschnitt der im Kreis stehenden Gefäßbündel. Jahrringe kommen gleichwohl bei den immergrünen Rhododendren nicht vor. Bei *Hoya carnosifolia* mit 5—6jährigem Blatte herrscht ein periodischer Zuwachs in dem Blattstiele, die Jahreszuwächse sind aber als Holzringe nicht kenntlich.

4. Ruhende Knospen.

Eine große Anzahl der Laubknospen kommt nicht zur Entfaltung. Es sind insbesondere ganz niedrig differenzierte und sehr kleine Axillarknospen der Nebenblätter der Cupuliferen, der *Salices* u. a. m., welche früher oft in mikroskopisch kleinem Zustande, geschützt durch Niederblätter, plötzlich erwachen, an dem astlosen Stamme Laubblätter entfalten, im Allgemeinen aber unter dem Kronendach des Baumes nicht mehr erstarken. Der Stammtheil solcher Triebe wächst nur ein oder zwei Jahre in die Länge, bald geht die Knospe ohne Descendenten ein, und der gebildete Zweig bildet an jeder Hochwaldbuche¹⁾ bis 2—3 cm große Knöllchen, welche periodisch in die Dicke wachsen und oft bis zu 10—20 cm und mehr Durchmesser erhalten. Solche Gebilde nennt der Holzkundige die Kropfmafern (vergl. Fig. 332).

II. Stamm und Zweig (Faserverlauf)²⁾.

Gerade die Verbindungsstelle zwischen zwei Ästen, von welchen der eine der tragende *FF'* sein möge, der andere der Zweig der nächsten

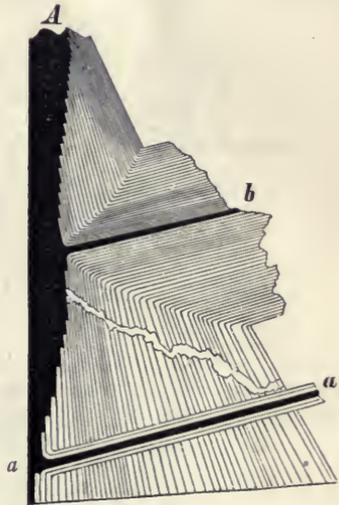


FIG. 331. Schema zur Demonstration des Trockenastes und des dominirenden Astes. Radiallängsschnitt durch einen Baum der gemäßigten Zone. Der Trockenast *a* soll im zweiten Jahre entstanden, zwei Jahre mitgewachsen, dann abgestorben sein, der dominirende Ast *b* ist im zehnten Jahre entstanden und bis zum 45. Jahre mitgewachsen. Denkt man sich den Stamm in's dritte Jahr zurück, so ist, das Absterben von *a a* vorausgesetzt, nicht einzusehen, warum *a a* ein Trockenast wird, wenn der Kettenbewegung des Wassers (Imbibition) irgend welche Bedeutung zukommt.

¹⁾ Buche und Hainbuche, feltener Eiche und außerordentlich selten die Nadelhölzer.

²⁾ M. KIENITZ, Aufastung der Waldbäume. Allg. Forst- u. Jagdzeitung von G. HEYER. X. Bd. 2. Heft. Supplemente.

Ordnung, ist von einigem Interesse in Bezug auf den Verlauf der Holzfaser. Die Ebene FF' , Fig. 333, soll eine Tangentialebene des tragenden Astes darstellen und die Schraffirung soll den Verlauf der Fasern demonstrieren. A

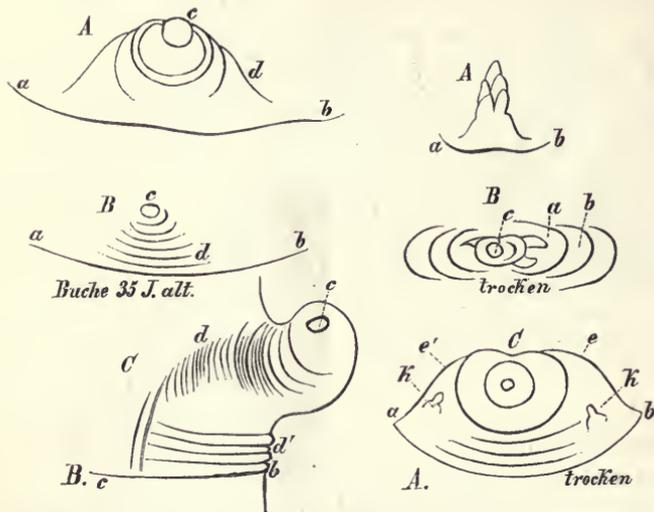


FIG. 332. Abgestoßene Äste und Kropfmasern der Buche. C die Bruchfläche, $a b$ die Ringfalte am Stamm, $c d$ die Seitenfalten, K ruhende Knospen aus der Achsel der Nebenblättchen.

A soll die Projection des Zweiges, c dessen Spitze fein, so verläuft die größere Anzahl der Fasern auf einem Umweg aus dem Mantel des gegebenen Jahresringes im tragenden Zweig in den getragenen. Aus dem aufsteigenden Büschel Fasern $b b$, Fig. 333, gehen die meisten von der Seite und oben in den Zweig, ein

kleiner Theil von unten in medianer Richtung m . Alle im tragenden Aste abwärtsläufigen Fasern $C S$ gehen um den getragenen Zweig herum, bis sie parallelläufig mit den Fasern $F F'$ des tragenden Astes werden.

Möge A , Fig. 334, die tragende Axe, a der Zweig der nächsten Ordnung fein, welcher abgestorben ist, und es möge senkrecht zu $c b$ nach allen Richtungen die secundäre Holzbildung fortschreiten, so ist leicht ersichtlich, daß, wenn in A dieser Vorgang herrscht, in dem Winkel $c b d$ die Fasern verschoben werden müssen. Es fehlt an Raum. In dem stumpfen Winkel $a b e$ wird dieß wohl ebenso

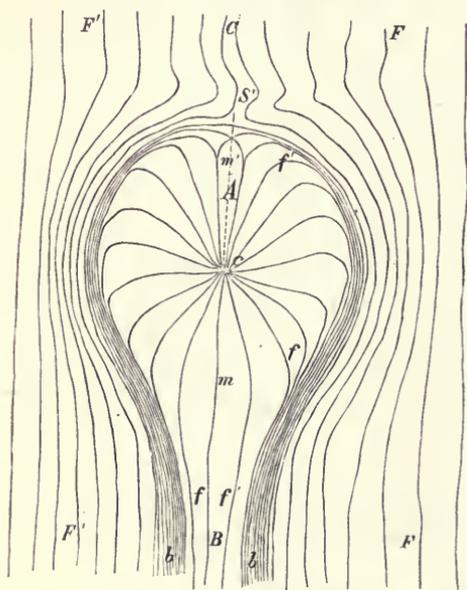


FIG. 333. Faserverlauf für einen Jahring in der Tangentialebene des tragenden Astes und für die Projection $c A$ des getragenen, nach KIENITZ.

fein, die Verkürzung db , eb zu $d'b'$, resp. $b'e'$ aber ist eine viel allmäliger.

In dem Astwinkel, Fig. 334, stauen sich gewissermaßen die Fasern. Unsere Fig. 334 B zeigt in den Pfeilen α die herabkommenden Fasern. In f , f' , f'' sind dieselben mannigfach gekrümmt, laufen schließlich horizontal.

«Weniger einfach ist der Verlauf, wenn nicht nur der Stamm, sondern auch der noch lebende Ast jährlich eine neue Zuwachsschicht anlegt, welcher Fall in Fig. 334 und 337 schematisch dargestellt ist. Die Fig. 334 B zeigt einen senkrechten Längsschnitt durch die Axen des Stammes und des Astes. Im Stammtheile unter der Anheftungsstelle, etwa in B, verlaufen alle Fasern in gleicher Richtung, weiter oben, dicht vor dem Winkel B dagegen theilen sich dieselben; ein Theil geht über in den entsprechenden Jahresring des Astes A, ein anderer wendet sich um den Ast herum und biegt in $F F'$ u. s. w. zum erneuten senkrechten Verlauf im scharfen Winkel nach oben. Da nun nicht allein die untere Hälfte der Astfasern ff , sondern auch die obere Hälfte $f' f'$ nur in den unteren Theil des Stammes übergeht, so müssen auch diese Fasern $f' f'$ um die bereits angelegten Theile des Astes herumgehen, bevor sie ihren Verlauf in der Längsrichtung des Astes nehmen, wie dieß auf Fig. 333 ersichtlich ist.»

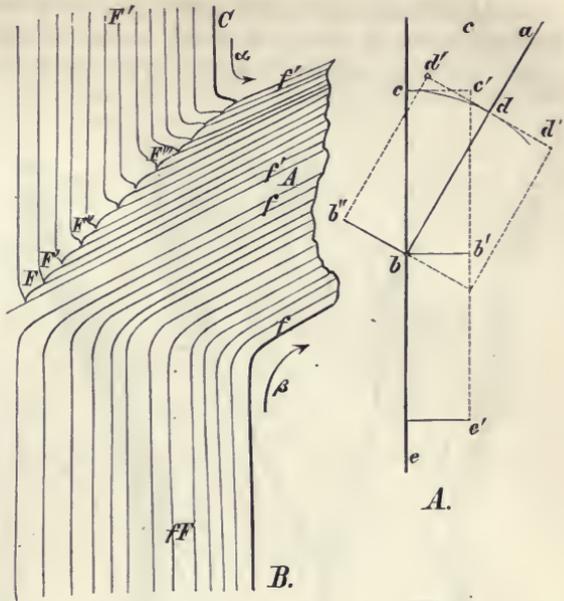


FIG. 334. Schema des Faserverlaufes vom Stamm nach dem Ast, nach M. KIENITZ¹⁾. A. Schema der räumlichen Lage, cbe die tragende Axe, ab der Ast. Wächst der Stamm, so daß seine Peripherie von cb nach $c'b'$ verschoben wird, so wird im Astwinkel db nach $d'b'$ zu gelangen bestrebt sein. B. Durchschnitt durch die Einfügung des Astes in den Stamm. Die Fasern F , welche mit dem Pfeil β aufsteigen, treten in den Ast ein. Die absteigenden Fasern F' aber biegen mit dem Pfeil α um den Ast herum (vergl. Fig. 333).

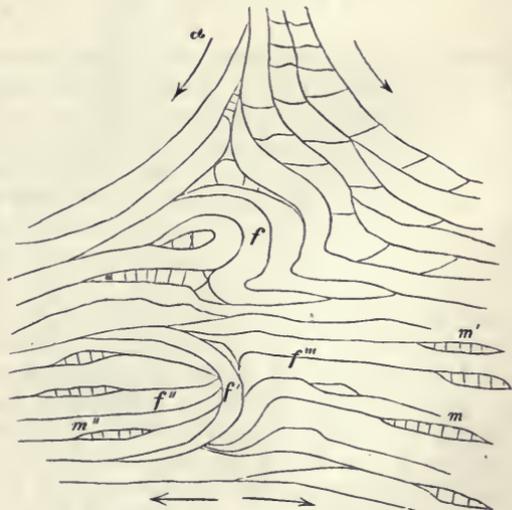


FIG. 335. Tangentialschnitt bei S Fig. 333 im oberen Astwinkel; die mit α herablaufenden Fasern vielfach verchlungen biegen mit den unteren Pfeilen sich nach rechts und links scheidend um den Ast.

¹⁾ M. KIENITZ, Forst- und Jagdzeitung. 1877.

«Die Fig. 333 bedeutet die Projection des Astes auf seine Grundfläche; c ist dann die Spitze des Astes, und die Strahlen cf , cf' , welche hier radial gestellt erscheinen, entsprechen den Fasern, welche in einer peripheren Kegelschale des so projectirten Astes, also im äußersten Jahrring desselben verlaufen.

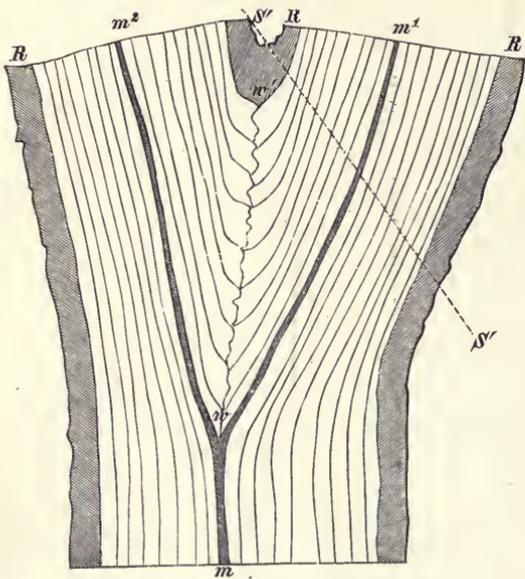


FIG. 336. Schema des Faserverlaufes in zwei Gabelästen der Eiche. m^1 m^2 das Mark der Äste. w w' die Berührungsstelle der Fasern. Durch die größere Anhäufung im Astwinkel wird dieser aus einem spitzen w allmählig zu einem stumpfen w' . Die Fasern biegen um die Linie w w' sich scheidelnd nach abwärts.

Es folgt hieraus, daß in dem Punkte m' (d. h. am oberen Astwinkel) die Fasern des Astes von rechts und links zusammen treffen müssen, in ähnlicher Weise, wie die Fasern des Stammes in dem dicht darüber liegenden Punkt S' . Aus diesem im oberen Astwinkel stattfindenden Zusammentreffen der in verschiedenen Richtungen verlaufenden Fasern ist es zu erklären, daß in dem Winkel der Raum für sämtliche Neubildungen nicht ausreicht, weil der Scheitelpunkt von Jahr zu Jahr nicht nur nach außen, sondern auch nach oben vorrückt.»

In der That wird in den meisten Fällen eine wulstartige Ausbuchtung durch ein Ausbiegen der Stammfasern nach der Richtung des Astes veranlaßt. Besonders auffallend ist dieser Wulst in der Regel, wenn das Wachstum des Stammes

bedeutend das des Astes überwiegt. Es wurde versucht, dieses Verhältniß in der Fig. 334 B darzustellen. An dem unteren Winkel tritt die Wulfbildung langfamer auf, weil die normal zur Faserrichtung stattfindende Verdickung einen größeren Wulst zu bilden pflegt, daher an der Unterseite der Äste allmählig in den Stamm verläuft. Ist die Größe des Zuwachses in Ast und Stamm annähernd gleich, so bildet sich kein einseitiger Wulst im Astwinkel, aus dem Grunde, weil die Zuwachschichten beider Theile einen annähernd gleichmäßigen Druck auf einander ausüben; doch entwickeln sich die Jahresringe im Astwinkel weit mächtiger, als an jedem anderen Punkte, wodurch der ursprünglich spitze Winkel der beiden Axen in einen immer stumpferen übergeht (Fig. 336 in w'). Verfolgen wir im Anschluß an diese Betrachtungen den Verlauf der Fasern in einer Astwundfläche, die so dicht am Stamm liegt, daß sie einen Theil des Wulstes oder Astanlaufs aufnimmt. S S' ist der durch diesen Wulst und den Ast geführte Schnitt, welcher in Fig. 336 in seiner Fläche schematisch dargestellt ist. In diesem Schnitt sind sämtliche in den Ast verlaufende Fasern zwischen g g' (Fig. 337) quer durchschnitten, in einer Richtung, die sich mehr oder weniger dem rechten Winkel nähert. Die außerhalb des Kreises g g' liegenden Fasern gehören dem Wulst an. Sie werden in verschiedenen Winkeln zu ihrer Längsrichtung vom Schnitt getroffen, die um so flacher sind, je näher die Fafer dem Rande der Wunde liegt, bis schließlich in den Theilen des Wulstes, welche sich nur wenig aus der Stammfläche hervorheben, der Schnitt mit der Längsrichtung der Fasern zusammenfällt. Bei mikroskopischer Abmusterung der Wundfläche

zeigen daher alle Theile des Astes das Bild eines Holz-Querschnittes. Dasselbe Bild gewährt auch noch der dem Ast zunächst liegende Theil des Wulstes am oberen Astwinkel (über *g* in Fig. 337 *a*); von hier aus nach allen Seiten geht das Bild in das des tangentialen Längsschnittes über. Daß der Verlauf der aus mehreren Richtungen zusammenfließenden Fasern nicht immer ein so regelmäßiger sein kann, wie ihn die schematische

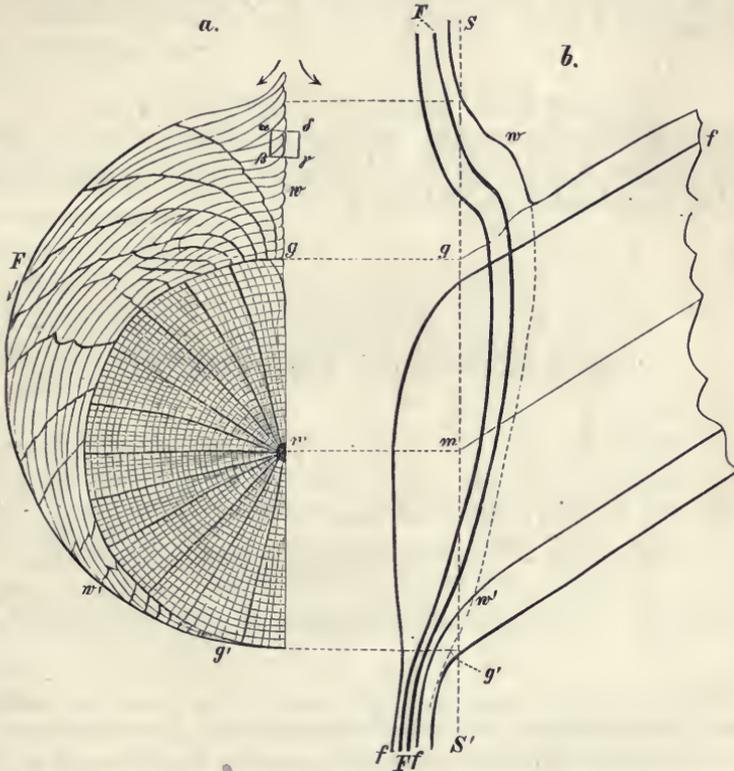


FIG. 337. Schema des Faserverlaufes in einer in der Stammfläche liegenden Astwunde. *a* Flächen-, *b* Seitenansicht, *g g'* Querschnitt des Astes, *w w'* Astanlauf, Astwulst, *F* Fasern im Holz des Stammes, *S S'* Seitenansicht der Schnittfläche, welche in *a* um 90° gedreht dargestellt ist (nach M. KRENZT a. a. O.).

Zeichnung Fig. 337 *a* darstellt, ist einleuchtend, namentlich treten die verschiedenartigsten Verschlingungen im oberen Astwinkel auf. Ein Bild davon liefert die mikroskopische Fig. 335, welche ein Stück einer Fichtenastwundfläche aus der in Fig. 337 mit *α β γ δ* bezeichneten Gegend darstellt. Der Faserverlauf ist übrigens in den Wundflächen schon ohne Zuhilfenahme des Mikrokops, namentlich

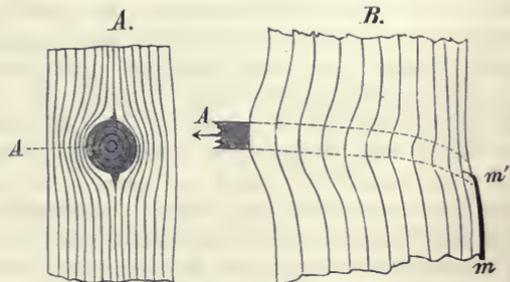


FIG. 338. Schema des Faserverlaufes aus dem Stamm in den Trockenast bei der Fichte. *A*. Tangential-, *B*. Radialschnitt.

leicht bei der Fichte zu erkennen. Flüssige Farbstoffe (Anilin) faugt der innere Theil der Wunde, der eigentliche Astquerschnitt, begierig auf, während dieselben in den dem Astanlauf angehörenden Theil der Wundfläche langsamer eindringen.

Bei den Nadelhölzern allgemein läuft die Faser der Jahrringe um den Ast, ohne Continuität mit den Fasern deselben, Fig. 338 *A*. In der Figur 338 *B* entspringen alle Faserelemente des Astes *A* in *m* der Jahrringzone, in welcher der Ast entstanden ist.

Faserverlauf im Stamm.

Dieses Verhältniß unterliegt einer Gesetzmäßigkeit, welche ohne eingehendes Studium der Phyllotaxis nicht zugänglich ist (es wird abgehandelt in der Allgem. Morphologie, Bd. II, § 12 B 2).

§ 33. Grenzen der Reproduction¹⁾.

Wir untersuchen hier die Neubildung in Folge von Verwundungen durch künstlichen Eingriff. In erster Linie ist hier zu beachten, daß jeder unbegrenzt wachsende Pflanzentheil dahin kommt, daß er seine peripheren Gewebeschichten selbst verwundet, wenn diese ein begrenzteres Wachstum zeigen, wie das Volum, welches sie einschließen.

Unbedingt gilt dieß für die Epidermis an allen verholzenden, lang-

¹⁾ GÖPPERT, Beobachtungen über das sogenannte Ueberwallen der Tannenstöcke. 1842. Bonn. Henry u. Cohen. Ueber die Ueberwallung der Tannenstöcke. 505. Bot. Ztg. 46. — Dr. TH. HARTIG, Folgen der Ringelung an Nadelholzstäben. 286. Bot. Ztg. 63. Folgen der Ringelung an einer Linde. 286. Bot. Ztg. 63. — RUDOLPH STOLL, Ueber die Bildung des Callus bei Strecklingen. Bot. Ztg. 74. — N. J. C. MÜLLER, Bot. Unterf. Bd. I. S. 192 u. 199. — M. KIENITZ, Ueber die Aufastung der Waldbäume. Forst- u. Jagdzeitung. 1877. — GÖPPERT, Ueber Inschriften und Zeichen in lebenden Bäumen. (Nach einem Vortrag im schlesischen Forstverein 1869.) Der Jahring, ist zu sagen der Zuwachs, ist seiner äußeren Form nach das schwankendste Gebilde. Jeder Eingriff erschüttert nicht allein die äußere Form, sondern selbst Gestalt und Vertheilung der Zellenelemente. Beobachtungen über solche Bildungsabweichungen finden sich in: GÖPPERT, Beobachtungen über das sogenannte Ueberwallen der Tannenstöcke. Bonn. Henry u. Cohen. 1842. Innere Zustände der Bäume nach äußeren Verletzungen u. s. f. Jahrbuch des schlesischen Forstvereins. 1873. TRÉCUL, *Formation des vaisseaux au-dessous des bourgeons soit adventifs soit normaux etc.* Ann. des sc. nat. 1854. S. 41—64. — TH. HARTIG, Vollständige Naturgeschichte der forstl. Kulturpflanzen Deutschlands. 1840. Heft VII u. VIII Reproduction. Nach den HARTIG'schen Untersuchungen ergibt sich der Adventiv-Sproß, welcher aus dem Callus entsteht, als ein Descendent eines bereits fertigen Holzelementes (m. f. auch diese Publication, Grenzen der Verjüngung).

lebigen Gebilden. Mit Ausnahme weniger immergrüner Gewächse¹⁾ reißt dieselbe (bei allen Waldbäumen) im Verlauf des ersten oder zweiten Jahres.

Vor dem Zerreißen hat sich bereits unter der Epidermis aus den peripheren Zellen des Grundgewebes ein korkbildendes Cambium gebildet, welches die Wundfläche mit Dauerzellen eigener Art gegen die Atmosphäre schützt. Diese Dauerzellen eigener Art, welche den «Kork» bilden, verdienen große Beachtung.

A. Folgen der Verwundung: Korkbildung.

Der Kork ist das eigentliche Wundgewebe. Die korkbildenden Zellen (das Korkcambium) können entstehen, in Folge der Verwundung, aus jeder Zelle des Grundgewebes, der Rinde, des jugendlichen Markstrahles, aus dem Bastparenchym, aber nicht aus der Epidermis selbst.

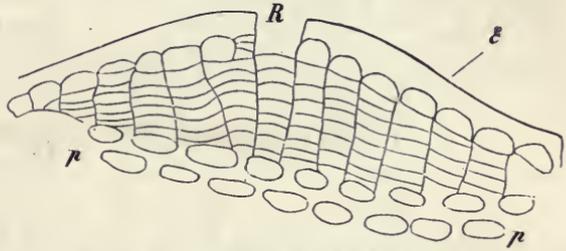


FIG. 339. Lenticelle der Rose. E die Epidermis. p p das collenchymatose Parenchym der Rinde. In R die Rißstelle der Epidermis.

a) Lenticellen²⁾.

Locale Korkbildung unter der Epidermis

führt zunächst zu dem Auftreten linsenförmiger Wärtchen der Lenticellen, Fig. 339.

Die Epidermis reißt über dem Korkwärtchen früher wie an den übrigen Stellen, das Wärtchen tritt als eine linsenförmige Erhebung über die Stammfläche hervor.

Versuche über die Diffusion atmosphärischer Gase lehrten mich, daß die einzelne Korkmembran oder eine dünne, aus wenig Lamellen bestehende Platte leicht durchlässig ist für atmosphärische Gase, dafern diese unter hohem Drucke stehen. Nun ist bei der technischen Verwendung des Korkes, welche hier in Betracht kommt, zu beachten, daß viele Tausende von dünnen Korkzellhäuten ebensoviele luftgefüllte Zellräume von einander trennen. Von Zelle zu Zelle muß erst ein Diffusionsausgleich stattfinden, ehe die in einem Recipienten durch den Korkstopfer von der Atmosphäre getrennten Gase mit dieser in Berührung kommen. Der Korkpfropfer auf Wein und anderen Flüssigkeiten nimmt selbst nach jahrelangem Lagern von der Flüssigkeit

¹⁾ Studienmaterial für dauernde Epidermen: *Viscum*, *Ilex*, *Laurus*, die Nadeln der Coniferen, die Blätter der Cycadeen, Palmen, der Stamm der Cacteen. — HANSTEIN, Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Baumrinde. Berlin. G. W. F. Müller. 1853.

²⁾ Studienmaterial für Lenticellen: Ahorn, Weide, *Prunus*, *Padus*. Studienmaterial für vorherrschende Korkbildung: Korkulme, *Evonymus verrucosa* u. a.

wenig auf, wie aus dem langfamen Vorfchreiten des Rothweinpigmentes erkannt wird. Hiebei ift freilich die Impermeabilität der Membran für Pigmente mit in Rückficht zu ziehen.

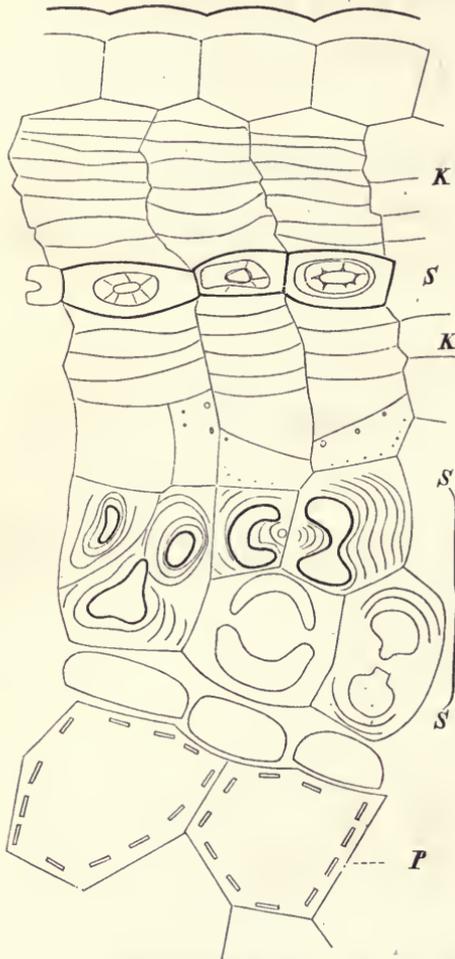


FIG. 340. Querschnittsparthie durch die Rinden von *Cereus peruvianus*. Die oberfte Zellenreihe ift die Epidermis. *K* eine Lage Kork. *S* eine Lage Steinzellen. *S S* an der Klammer eine zweite Lage Steinzellen. *P* das chlorophyllführende Parenchym der Rinde.

Das Periderm der Birke, welches in fo auffälliger Weife in papierdünne Platten zerbändert, befteht aus wechfelnd dünneren und dickeren Korkzellen. Die dünneren reißen, die dickeren blättern als Querbänder von der Rinde ab (Fig. 341).

In den immergrünen Stämmen der Cacteen (*Cereus*) bildet fich der Kork unter der Epidermis mit wechfelnden Lagen mäandrich verchlungener sclerotifcher Steinzellen mit auffälliger Verdickung.

Die in der Figur 340 dargestellten Zellenlagen dauern Jahre lang an der Pflanze. Beim Abziehen derfelben bildeten die an die Wundfläche grenzenden Zellen des Grundgewebes von Neuem Kork. Die fehr verdickten Steinzellen kommen auch im Kork der Bäume, namentlich in Flaschenkork, vor.

b) Periderma¹⁾.

Ehe die Epidermis an den Zweigen unferer Waldbäume reißt, hat eine dichte Lage von Kork den Zweig umhüllt, das Periderma. Dasfelbe ift ein Derivat der peripheren Zellen des Grundgewebes, umhüllt den Zweig lückenlos und ift bei der Mehrzahl der Bäume homogen aus gleichdicken Korkzellen zufammengesetzt, die gelegentliche Ausbildung zerftreut ftehender Steinzellenabgerechnet (Fig. 340).

¹⁾ Studienmaterial für das Periderma: *Melaleuca styphelioides*, *Betula alba*.

c) Borkenschuppen.

Jeder Korkzellmantel, welcher zwei Gewebeparthieen trennt, bewirkt, daß die Translocation der Flüssigkeiten zwischen beiden beeinträchtigt, wenn nicht ganz aufgehoben wird. In dem Maße wie die Rinde an älteren Bäumen von außen nach innen einreißt, stirbt sie ab. Die Bildung von Korkmänteln schreitet im gleichen Sinne vor und geht dem Weiterreißen voraus. Durch diese Korkbildung werden oft fußlange Lappen bei der Platane vom Verkehr nach innen abgeschnitten und fallen schließlich ab. Die Borkenbildung schreitet centripetal vor.

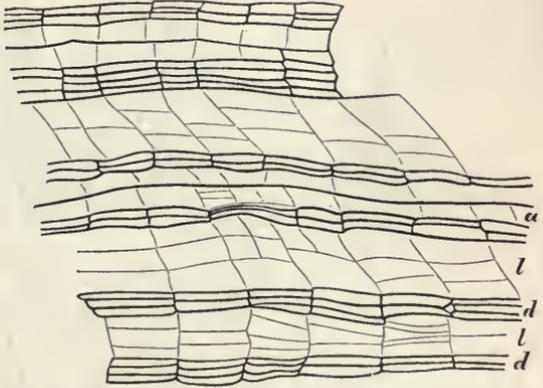


FIG. 341. *Betula alba*, periodisch dichte und lockere Peridermschichten, *d* die dichten, *l* die lockeren.

Die Rinde der älteren Kiefern ist ein gutes Studienobject, Fig. 343, 344. Zahlreiche Korklamellen bilden sich hier allmählich

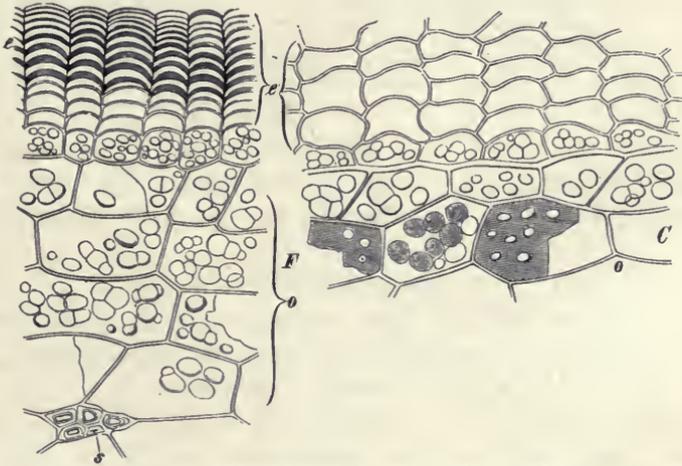


FIG. 342. Querschnittsparthie der Wurzelrinde der *Krameria*. *e e* die Korkschichten. *o* die primäre Rinde der Wurzel mit zusammengesetzten Stärkekörnern (nach BERG).

in dem Bastparenchym *P* durch nachträgliche Zelltheilung. Die Figuren stellen Durchschnitte durch eine Lamelle dar. Diese setzt sich aus drei Schichten zusammen. In der Mitte eine Steinzellschicht *K S* nach außen und innen, von dieser je eine Lage dünnzelligen Korkes *m K*, Fig. 343.

In diesen Lagen reißt die Lamelle, die Borke blättert und die hintereinander belegenen Gewebeparthieen in den Platten sind zusammengesetzt: die Korklamelle, die Steinzellschicht, die Korklamelle, ein Theil der secun-

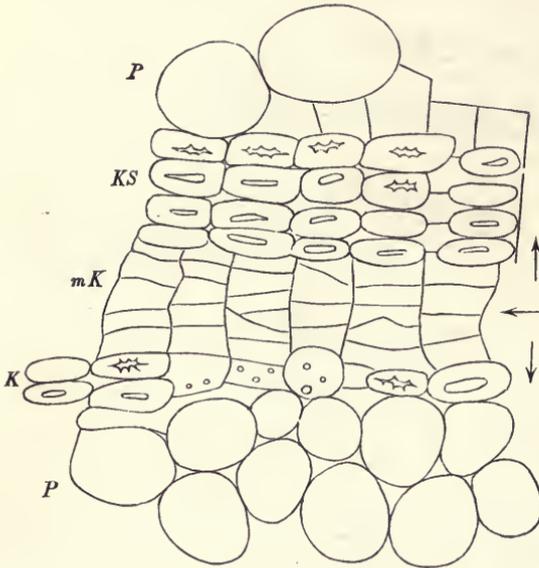


FIG. 343. Kleine Parthie aus dem Querschnitt der Rinde von *Pinus Laricio*, da wo eine Korkplatte das Rindenparenchym durchsetzt. *P P* das Bastparenchym. *KS* die äußere Schale von Steinzellen. *K* die innere Schale. *m K* der Kork zwischen beiden; dieser reißt später in Richtung des Pfeiles, so daß die Borkenplatten sich trennen.

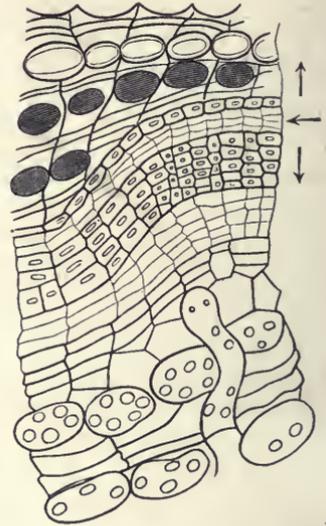


FIG. 344. Kiefer. Rindenparthie von einer Korkplatte durchsetzt; parallel dem horizontal stehenden Pfeile reißt die dünnwandige Korkschicht, so daß die Borkenplatten in Richtung der auseinanderweichenden Pfeile sich abspalten.

dären Rinde (in welcher *B Bp L* enthalten sind, alle Gewebetheile, welche S. 339 betrachtet wurden), sodann kommt wieder die Korklamelle mit ihren einzelnen Theilen u. f. f. Man beachte die Pfeile in der Figur 344.

d) Namenszüge in Blätter geritzt.

Werden saftige fleischige Früchte der Drupaceen, dicke immergrüne Blätter gelegentlich verletzt, durch Insecten oder Menschenhand, so vernarben sie die Wunden durch endogene Korkbildung.

Das beste Studienobject ist das Blatt der Wachspflanze, *Hoya carnosa*. Die Damen ritzen in solche Blätter Namenszüge oder Daten. Nach einiger Zeit ist der in der Richtung des Pfeiles *A* durch die Epidermis *e* geführte Riß in diesem Sinne ausgeheilt. Soweit bis *K* etwa die Contusion das Gewebe zerstört hat, ist dieß abgestorben und begrenzt durch den Korkmantel *KK* (Fig. 345).

Die Korkbildung schreitet einige Zeit sowohl in centripetaler wie in centrifugaler Richtung fort, zuletzt fällt das Stück *S K S'* vertrocknet ab

und der Namenszug bleibt in der Vertiefung erhalten, so lange das Blatt existiert, oder es bildet das Korkcambium eine über die Fläche des Blattes hervorragende Korkleifte.

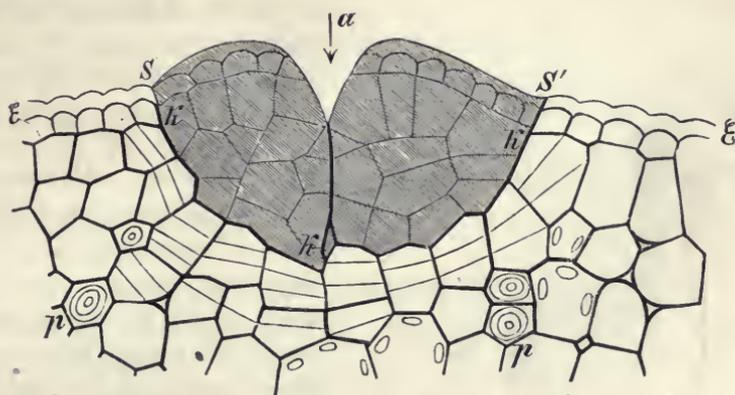


FIG. 345. *Hoya carnofa*. Eine Wundstelle im Blatte der Wachspflanze. Mit dem Pfeile a war das lebende Blatt durch eine Nadel geritzt, so daß ein Namenszug in der Epidermis entstand. Soweit die Zeichnung schraffirt, ist das Gewebe abgestorben, von S nach S' hat, das intacte Grundgewebe die Korkbildung eingeleitet, die neuen Membranen stehen parallel der inneren Grenzfläche der Wunde.

e) Der Blattfiel durchschnitten.

Viel tiefer eingreifende Wunden werden am Blattfiel immergrüner Blätter ertragen und vernarbt, so schnitt ich den Blattfiel der *Ficus elastica* von der Innenseite her, bis zur Hälfte quer durch, so daß die Last der Blattfläche die Axe des Stieles in dem Winkel zwischen α α' knickte (Fig. 346). Die Pfeilrichtung A ist die Richtung des Schnittes. Nun starb das Gewebe $P'G'$ ab, der endogene Korkmantel $K K'$ schützte die Wundfläche. Das Parenchym P bil-

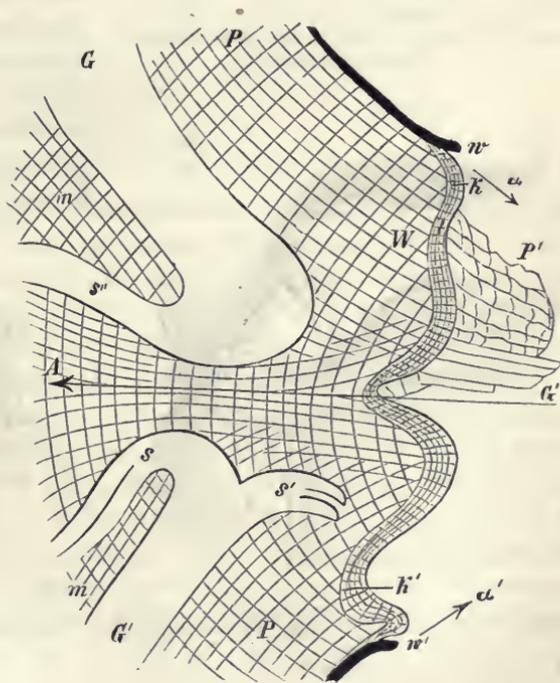


FIG. 346. Längsdurchschnitt durch die Wundstelle an dem Blattfiel von *Ficus elastica*. Pfeil A Richtung des senkrecht zur Axe geführten Einschnittes. $G G'$ durchschnittene Gefäßbündel. $K K'$ Korkmäntel. P Grundgewebe.

dete einen vom Blatte her stärkeren callofen Wulst *W*. Die durchschnittenen Gefäßbündel *G G'* bildeten callose blind endigende Schlingen *s s' s''*.

Der von der Blattfläche abgerechnete absteigende Callus war mächtiger entwickelt, wie derjenige Calluswulst, welcher in entgegengesetzter Richtung wächst.

Zweignarben. Blattnarben¹⁾.

In gleichem Sinne schließen sich die Blattnarben und die Bruchstellen der Zweige. Fig. 347 stellt einen in *K⁴ b'' b'''* gebrochenen Zweig von 8 mm Dicke dar. Die Rinde hat sich mit den Korkmänteln *K¹ K²* geschützt, das Mark durch *K⁵ K⁶*. Die außerhalb der Korkmäntel belegenen Theile sterben, vertrocknen und fallen ab. Der Zweig ist dann in der Bruchfläche, soweit dieselbe aus parenchymatösem Gewebe besteht, vollständig gegen äußere Einflüsse geschützt. Nur in dem Querschnitt der gebrochenen Gefäßbündel unterbleibt die Neubildung.

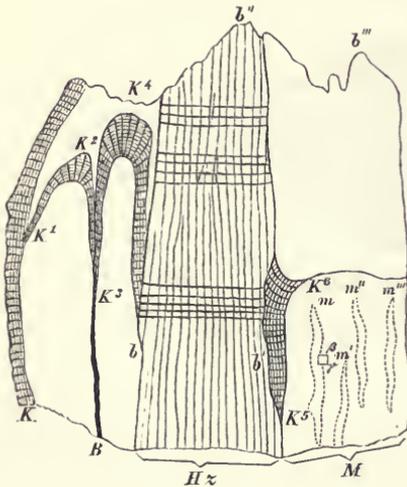


FIG. 347. Aesculus hippocastanum. Aftbruch. *M* Mark. *Hx* Holz. *K¹* bis *K⁶* Korkmäntel, welche das Grundgewebe nach der Wundstelle schützen. *m'' m'''* Stellen im Marke, wo in Folge der Verwundung die Neubildung von Bastfasern stattfindet.



FIG. 348. Eiche. Aftbruch. Längsdurchschnitt. *M* Mark. *Hx* Holz. *F F'* primäre Gefäßbündel. *v* Vegetationspunkt einer Seitenknospe. *f f'* Blätter dafelbst. *K K'* Kork. *J* Jahreszuwachs in der Bruchfläche. *pR* primäre Rinde.

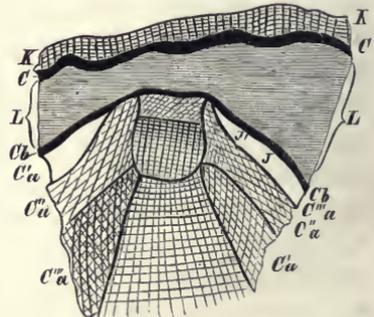


FIG. 349. Eiche. Aftbruch im Längsdchnitt nach drei Jahren; in der Bruchfläche liegen im Verband mit den callofen Zuwachsmänteln *C'a C''a* zwei Zuwachschalen, *K* Kork, *Cb* Cambium.

¹⁾ Studienobjecte: Philadelphus, Robinia, Aesculus u. v. a.

Die Axillarknospe von *Philadelphus* entbehrt der Knospenschuppen, sie ist von einem dünnen Korkhäutchen bedeckt.

Die vollständigste Ausheilung von Wundflächen zeigte sich bei der Esche. Hier heilt die in der Gegend von *J* (Fig. 348) belegene Wundfläche vollständig zu und es bildet sich aus einem im Mark an der Bruchfläche thätigen Cambium ein förmlicher Rindentheil, welcher die Scheitelfläche des Zweiges einhüllt. Dieses Cambium vermehrt sogar entsprechend den Jahringen im Cylindertheil des Zweiges die Zuwachsmasse der Endfläche periodisch mit verholzendem Parenchym, Fig. 349 *C'a C''a C'''a* (f. Figurenerklärung).

B. Callusbildungen.

Man muß ganz streng bei der Bildung von Callus oder Wundholzmassen unterscheiden:

1^o die Vorgänge im Wundrande;

2^o die Rückwirkung der Verwundung auf die in Distanzen von wenigen Centimetern belegenen Gewebe und die Rückwirkung der Verwundung auf das ganze System der Pflanze, beziehungsweise des durch die Verwundung mißhandelten Baumes.

Möge das Phänologische der Verwundungen hier von den leichteren nach den schwereren Wunden abgehandelt sein.

1. Rindenfenster.

Schneidet man ein rechteckiges Fenster in die Rinde der Waldbäume, so stirbt die Rinde am Rande wenige Millimeter zurück ab. Ist *ab* der obere Wundrand senkrecht zur Cylinderaxe des Stammes, *dc* der untere wurzelwendige, so rückt die aus dem Rande entstehende Callusmasse senkrecht zu *ab* rascher vor als senkrecht zu *dc*, die seitlichen aber rücken gleich schnell vor.

Nennen wir mit TH. HARTIG¹⁾ den ersten den absteigenden Callus, den zweiten den aufsteigenden, und die symmetrisch nach links und rechts belegenen die seitlichen Calli, so haben diese in Folge der Lage zu den Strömen des Stoffwechsels an dem Bäume im Allgemeinen diese Beziehungen:

der absteigende wie der aufsteigende Callus haben einen mechanischen Widerstand darin zu bekämpfen, daß die Theilungen des Zuwachses durch Wände geschehen, welche senkrecht zum Radius stehen. Der erstere aber ist bevorzugt durch den absteigenden Strom der Nährkörper vor dem letzteren.

¹⁾ TH. HARTIG, Forstliche Culturpflanzen Deutschlands (f. oben S. 348).

Die feitlichen Calli, unter sich gleichberechtigt, werden durch das genannte histologische Verhältniß begünstigt. Ein kreisrundes Fenster, Fig. 350, zeigt dementsprechend alle Uebergänge in der Geschwindigkeit des Vorrückens der Wundränder.

Wägungen der dreijährigen Callusmasse an einem kreisförmigen Rindenfenster der Eiche.

(Siehe Fig. 350). Der eine Halbkreis *UR O* wurde in 9 gleiche Sectionen getheilt, die jeder Section zugehörige Callusmasse wurde losgefägt und gewogen:

Section.	Gewicht.
oben Nr. 1	3,840 gr
2	4,100 »
3	5,610 »
4	12,370 »
5	14,290 »
6	12,460 »
7	8,870 »
8	1,260 »
unten 9	negativ, der Callus ist scheinbar zurückgeschritten.

Der Radius der ursprünglichen Wundstelle beträgt 15 cm.

Bei der Fichte schreitet derselbe Callus (wie bei allen Coniferen) nur äußerst langsam über die Wundfläche fort, dagegen läßt sich hinsichtlich der Dicke dasselbe Gesetz leicht nachweisen. (Man vergleiche die randständigen Skizzen der Durchschnitte durch den Callusrand, Fig. 350).

Die Dicke des Callus bei der Fichte ist in 3 Jahren

von <i>O</i>	nach <i>U</i>	in mm	7
» <i>OR</i>	» <i>UL</i>	»	28
» <i>R</i>	» <i>R</i>	»	23
» <i>UL</i>	» <i>OR</i>	»	16,5
» <i>U</i>	» <i>O</i>	»	5,5.

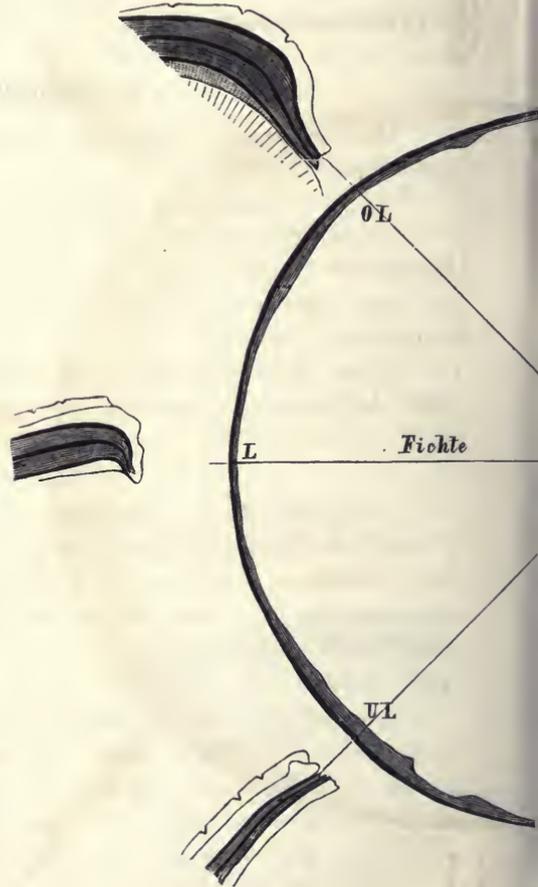
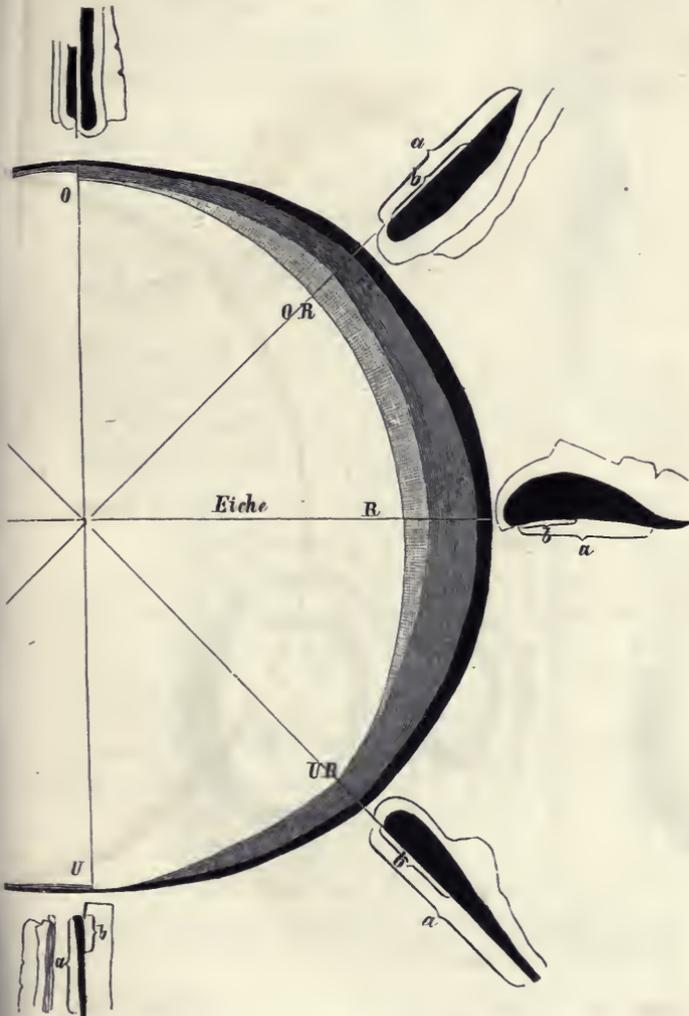


FIG. 350. Zwei Rindenfenster in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Größe. *O U* die schraffierte Curve stellt den über die Oeffnung mit jener Zeit fort der Eiche. Der Zuwachs in der nächsten Nähe um das Fenster wurde *O O L L U L U* und *O R R U R U* verzeichnet. Die dunkeln Orte in tangentialer Richtung die Bräunung, das Absterben in einem kleinen die Tiefe in derselben Richtung, bis zu welcher der radiale

Wir müssen aus den histologischen Verhältnissen schließen, daß der Leitungswiderstand für die Colloide in dem von den Blättern abfließenden Strom sich in drei Richtungen ungleich verhält, so daß die größte Geschwindigkeit a in die Axe, die kleinste c in die Peripherie und transversal, die mittlere b in den Radius und transversal fällt.

Die Schnelligkeit der Vernarbung hängt von dem Zeitpunkt ab, in welchem die Verwundung ausgeführt wurde. In die Fläche, Fig. 351,



o oben, u unten, l links, r rechts, wurde die Breite der über die Aufwundfläche fortschreitenden Callusränder eingetragen, nachdem sie am 16. November gemessen war. Am langsamsten vernarbten die zuerst hergestellten Wunden, l Fig. 351.

Kreisförmige Wunden der Rinde werden sich aus den angegebenen Gründen so schließen, wie es die Figurenreihe a , b , c , Fig. 352, zeigt.

In praktischer Hinsicht spielen solche Wunden eine Rolle, da Gärtner und Forstleute Aeste abschneiden oder sägen. Lassen sie dabei einen Stumpf stehen, so schreitet die gewünschte Vernarbung am langsamsten fort, selbst wenn dieser nur ein ganz kleiner Vorsprung, f. Fig. 353, ist.

die Axe der Stämme. Der äußerste Contour war die Oeffnung des Fensters vor drei Jahren; geschrittenen Callus dar. Die Callusbildung verläuft bei der Fichte sehr langsam gegenüber an Durchschnitten senkrecht zur Ebene $O U$ ermittelt, und in den radial geordneten Figuren bedeuten das Holz, die hellen die Rinde. Die Länge b bedeutet die Tiefe, bis zu welcher Theil des Rinde- und Holzzuwachses von der Wundfläche aus vordrang. Die Länge a ist Zuwachs in dem Callus von dem radialen Zuwachs des Jahresringes abweicht.

Legen sie die Schnittfläche aber in die Cylinderfläche des tragenden Stammes, so geht der Prozeß der Vernarbung am raschesten vor sich¹⁾.

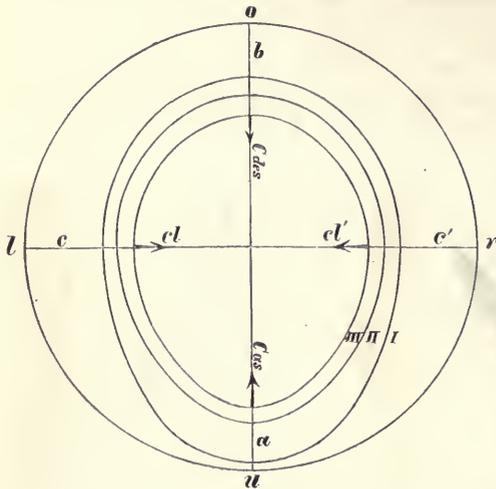


FIG. 351. Graphische Darstellung des durchschnittlichen Vorrückens zweijähriger Callusbildungen an Astwunden der Lärche in natürl. Größe. *u* unten, *o* oben, *l* links, *r* rechts, *a* auf-, *b* absteigender Callus über die Fläche *o l u r*. *I* Callusrand vom 23. März, *II* vom 30. April, *III* vom 16. Juni des Jahres, in welchem die Verwundung erfolgte.

Die nächste Rückwirkung auf die Gewebe der Umgebung ist darin begründet, daß durch das Rindenfenster, namentlich wenn dasselbe durch Abfägen eines Astes entstanden, eine Stauung des absteigenden Stromes eintritt²⁾.

Es werden nun (wohl auch zum Theil durch den Wegfall der Aeste) schlafende Knospen entfaltet, welche ohne den Eingriff nicht zum Ausbruch kämen.

Verfuche über die Folgen des Aufastens sind an der Königl. Forstacademie in München im Großen in Angriff

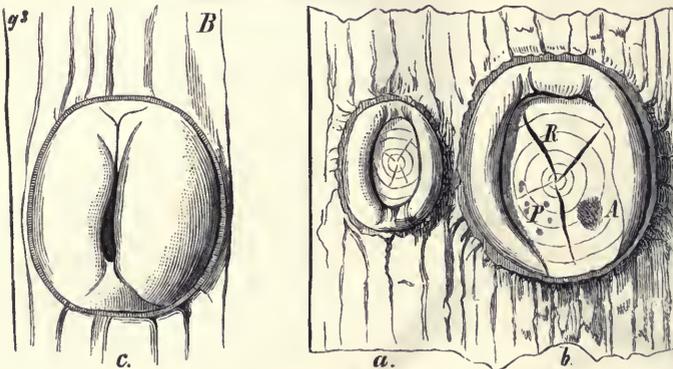


FIG. 352. *a b* zweijährige Astwunden der Eiche in $\frac{1}{4}$ natürl. Größe, *a* die kleinere Wunde normal nach allen Seiten, *b* die größere, der untere Callus fehlt; *R* Riß im Holz, *A* Algen, *P* Pilzanflug. *c* geschlossene Wunde der Buche.

genommen für die Bestände von Lärchen, Kiefern, Fichten, Buchen und Eichen. Sie bieten in erster Linie ein Interesse der praktischen Forstwirth-

¹⁾ Näheres Forst- und Jagdzeitung. 1877. M. KIENITZ, Ueber die Methode des Aufastens.

²⁾ Studienobjecte: Buche, Eiche, Lärche.

schaft. Ob sie die Mühe und Arbeit, welche für solche Versuche angewandt werden, im praktischen Sinne rechtfertigen, mag der Wirthschafter von gesundem Sinne entscheiden.

2. Ringelung der Rinde.

Wird die Rinde in einem ringförmigen Bande, Fig. 356, abgenommen, so ist die Rindenleitung zwar vollkommen unterbrochen, Translocation findet

aber dennoch statt. Der Strom muß an dem oberen Wundrande aus der Rinde in das Holz treten, er erfährt hier freilich eine Stauung, eine mächtige Verlangsamung, dieß gilt für beide Ströme, für den ab- wie den aufsteigenden. Was der Baum indeß hier ertragen kann, ist erstaunlich. In Fig. 357 ist eine vierjährige Kiefer auf eine 1 Fuß weite Strecke so entrindet gewesen, daß nur der schmale Streifen *ab* stehen blieb, er reproducirte, wie die Figuren *A* und *B* zeigen, den ganzen fehlenden Querschnitt.

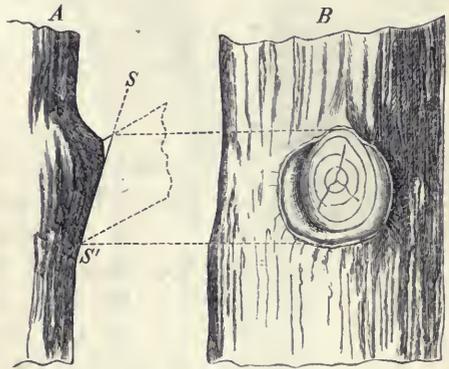


FIG. 353. Buche. Die Aftwunde so gelegt, daß der obere Theil der Aftbasis in *S* stehen blieb. Dort unterbleibt, wie in *B* ersichtlich ist, die Callusbildung.

Die Ringbänder (Fig. 358) an 20—30 Jahre alten Pappeln und Buchen zeigen bezüglich des absteigenden Callus eine merkliche Steigerung der Wachsthumsgeschwindigkeit für den absteigenden Callus nach der Südseite.

Der geringelte Ast einer mannbaren Buche, Fig. 356, zeigte im nächsten Jahre allein unter allen Aesten desselben Baumes Blütenanfätze.

Die Ringelung des Stammes führt, wenn die Wunde in endlicher Zeit nicht überwallt werden kann, den Tod des Baumes herbei. Nach den Beobachtungen TRÉCUL's¹⁾ ist hiebei indeß noch das Folgende zu beachten.

Wenn, wie in einzelnen Fällen, der Baum den Eingriff länger überlebt, ist die Holzernte kleiner und zwar abhängig vom Blattfalle. Jedes Stärkemolecül entspricht sehr näherungsweise einem Cellulose-, resp. Holz-molecül und jeder Verlust in diesem Jahre an Amylum in den Blättern wird mindestens ein Verlust für das nächste Jahr sein.

¹⁾ TRÉCUL, *De l'influence de la décortiquat*. *Ann. d. sc. nat.* 1855. S. 341. Eine sehr schöne Serie von Bäumen, an welchen mit großem Fleiße Experimente dieser Art ausgeführt wurden, sind in der Nähe von Münden durch Durchfortungen untergegangen. Drei bis vier Exemplare wurden gerettet für die Sammlung der Königl. Forstacademie Münden.

Dieser Verlust beträgt bei dem

Blattfall am	2. August	0,77	0/0
»	» 10. »	0,6	»
»	» 17. »	0,55	»
»	» 22. »	0,325	»
»	» 29. »	0,245	»
»	» 5. Septbr.	0,110	»

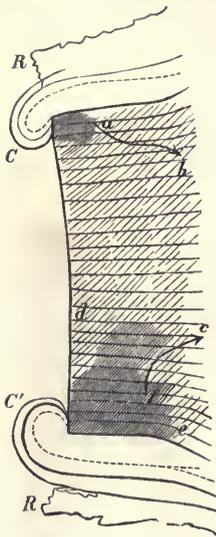


FIG. 354. Durchschnitt der Wundfläche eines Eichenastes, $\frac{1}{2}$ nat. Größe. CC' Callus ascendens. R Rinde. ab, fc Grenze zwischen dem lebenden Splint und dem functionslos gewordenen Holz.

1° Der Baum, welcher eine Ringelwunde an der Rinde erhält von gewisser Ausdehnung und nicht überwallt, muß sterben, wenigstens in seiner oberen Parthie.

2° Damit der Baum trotzdem in dieser lebend bleibt, scheint es nöthig, daß Adventivknospen den untern Theil ernähren.

3° Die den Experimenten unterlegenen Bäume sind meist erst im zweiten oder dritten Jahre nach der Operation gestorben.

4° Die obere Parthie der Bäume, welche im Monat Juni (Mitte) operirt wurden, erlag in demselben Jahr.

5° Die Blätter der geretteten Bäume sind im zweiten Jahre im Juli bis August abgefallen.

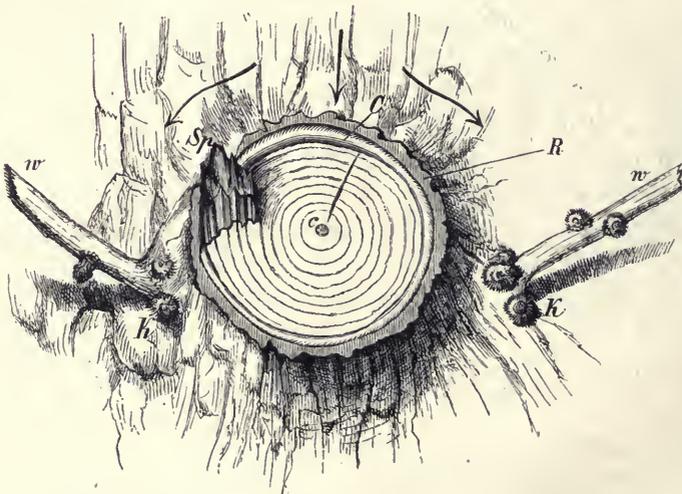


FIG. 355. Lärche. Aftwunde. $w w$ Wasserreifer. K Knospen. C Callus. R Rinde. Sp Splitter, dort unterbleibt die Callusbildung.

3. Spiralringelung.

Wird die handbreite Wunde durch 1—2 m Länge um den Stamm als eine Schraubenlinie geführt (man vergl. Fig. 360), so zwingen wir die beiden Ströme in neue Bahnen. Der von der Wurzel aufsteigende Strom wird in dem unteren, der von der Krone absteigende Strom wird in dem oberen Wundrand verlaufen. Die Vernarbung braucht mehrere Jahre Zeit, und es zeigen sich dabei einige interessante Vorkommnisse, welche mit Zuhilfenahme der schematischen Fig. 359 leicht zugänglich werden.

Wird der Strom, welcher in dem Stamm herrschen muß, aus der kürzesten Längsrichtung durch schraubenlinig entrindete in zwei parallele Bahnen auf größeren Umweg gezwungen, ohne daß die Leitung absolut, wie etwa durch eine Ringelung, unterbrochen ist, so nehmen in den neuen Bahnen die Anziehungskräfte, welche das Erstarren der strömenden Membranogene zu festem Holze bewirken, bei derselben Neigung der Wundränder zur Axe, im oberen Rande in der Richtung eines absteigenden, im unteren Rande in der Richtung eines aufsteigenden Stromes zu.

Dieß läßt sich nur so erklären:

Die Linie *AB* (Fig. 359) ist die Grenze der Wunde, es ist der mit der Axe des Stammes parallele seitliche Wundrand, welcher die beiden Schraubenlinien verbindet, von dort nach *SO S* u. f. f. ist die Rinde conti-

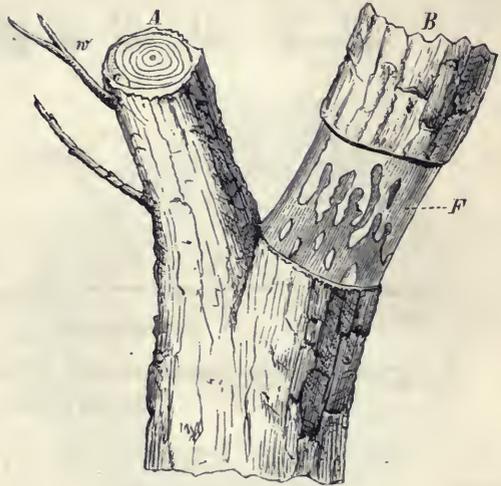


FIG. 356. Eiche. Der Ast *A* gestümmelt. *c* Callus. *w* Wasserreis. In *B* geringelter Ast. *F* Flächencallus.

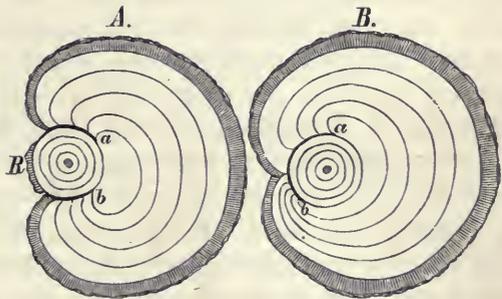


FIG. 357. Querschnitt durch einen Kiefernstamm, $\frac{1}{3}$ nat. Größe. *A* und *B* einige Decimeter von einander entfernt. Der Stamm war in *a b* entrindet. *R* Rinde. Nach 5 Jahren war die mächtige Wunde durch den Holzzuwachs geschlossen.

nürlich. Der Theil über AB stellt somit ein oberes Reservoir für den Strom dar, aus dem der Widerstand für die Strömung in AB plötzlich wächst. Ein ähnliches Verhältniß liegt jenseits AN_1B_1 im Sinne der

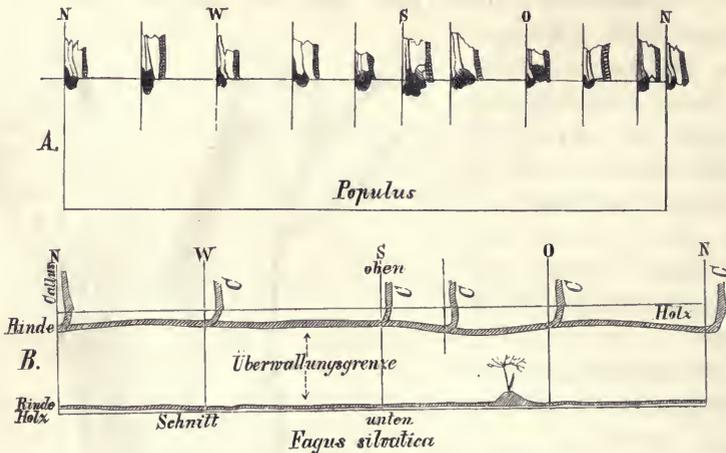


FIG. 358. Geringelte Bäume. Die Ringelwunde im aufgewickelten Cylinder dargestellt. A für die Pappel, B für die Buche in $\frac{1}{3}$ der natürl. Größe. N Nord-, W West-, S Süd-, O Ostseite des Schaftes. In A ist nur der absteigende, in B ist der absteigende und aufsteigende Callus dargestellt. Nach S oder SO herrscht der Callus etwas vor.

Pfeile gerechnet. Beide Reservoirs senden nun eben, weil sie durch den Widerstand der Schraubenbahn getrennt sind, die disponiblen Membranogene durch die neuen Bahnen, aber mit ungleichem Erfolg; das untere Reservoir erschöpft sich, ehe die Strombahn ausgefüllt ist. Der Callus ascendens nimmt daher zu, je mehr er sich dem oberen Reservoir nähert. Der Callus descendens verhält sich umgekehrt: je weiter er von seinem, dem oberen, Reservoir sich entfernt, um so mehr wächst sein Zuwachs für die gleiche Zeit.

Die Ringelung der Rinde unterbricht zwar den Rindenstrom für das von den Blättern abströmende plastische Material vollständig, gleichwohl ist der osmotische Austausch für die jenseitigen Orte nicht absolut unterbrochen. Da das Holz einen Theil der Nährkörper aufnimmt, so geht dieser Theil, freilich mit geringerer Geschwindigkeit, von dem oberen Wundrand, durch die jüngsten Holzconvolute, nach dem unteren Wundrande hinüber.

Messungen über den Zuwachs dies- und jenseits solcher Ringelwunden haben einiges Interesse: eine Eiche von 20 cm Durchmesser wurde in Manneshöhe zweimal geringelt; die beiden Wunden waren 350 cm von einander entfernt, und jedes der entfernten Rindenbänder war 5 cm breit. Nach drei Jahren wurde die Zuwachsmasse an vier Orten auf je einer 1 qcm großen Fläche sorgfältig abgefeilt und gewogen.

Obere Ringelwunde.	{	Sie beträgt über dem oberen Wundrand	1,02 g
		“ “ unter “ unteren “	0,06 “
Unteres Ringelband.	{	“ “ über “ oberen “	0,74 “
		“ “ unter “ unteren “	0,29 “.

Die größte Anhäufung ergibt sich hieraus über dem oberen Rande der oberen Ringelwunde, sodann kommt der Ort, welcher über dem oberen Rande der unteren Wunde liegt, und das absolute Minimum liegt unter dem unteren Rand der oberen Ringelwunde:

4. Umschlingung.

Die Loniceren umschlingen die Stämme der mittleren Alterslagen von Buchen, Hainbuchen, Pappeln u. f. f. Durch den Zuwachs wird die Schlinge selbst immer stärker angezogen, der Rindenstrom in die Spirallinie der Schlingengezungen, und es kommt durch den stärkeren Zuwachs von der Oberseite her schließlich zur Einwallung der Schlingpflanze, Fig. 361, nachdem in einigen Fällen selbst der Holzkörper deformirt ist.

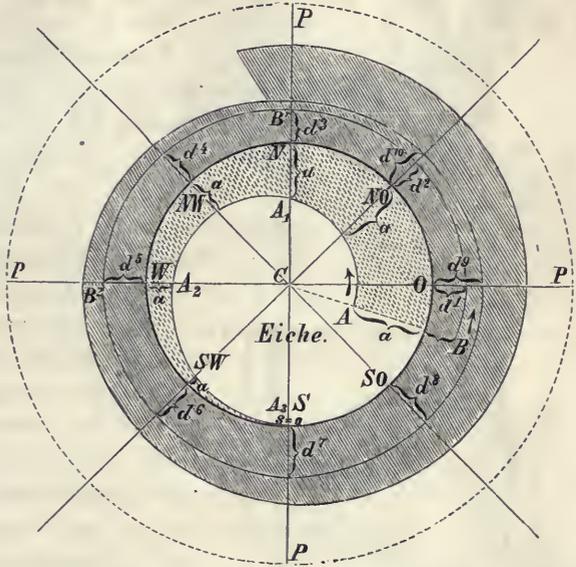


FIG. 359. Schema des Zuwachses in einer schraubenlinigen Wunde, welche nach drei Jahren abgemessert wurde, nach genauen Messungen in $\frac{1}{3}$ der natürl. Größe. Der Kreis $O N W S$ ist der Querschnitt des Baumes zu den Himmelsrichtungen. Der Radius $CO = OP$ ist gleich dem Durchmesser des Schraubenbandes, welches den Stamm umkreift. Von dem Kreife $O N W S$ wurde die Länge (d. h. die Ausdehnung in axiler Richtung) des Callus in radialer Richtung aufgetragen und zwar für den Callus descendens in centripetalen Richtung, es sind die Längen $A_1 A_2 A_3$ bei O, NO, N, NW u. f. f. bis AO wie in S ; für den Callus ascendens in centrifugaler Richtung von B ab sind es die Längen $d_1 d_2 d_3$ u. f. f. Wiewohl nun die beiden Wundränder parallel und gleichsinnig mit den Pfeilen den Stamm umkreifen, so theilen sich doch, wie man aus den angegebenen Längen sieht, zwei Ströme, von welchen der eine bei gleichem Sinne der Richtung ab-, der andere zunimmt.

5. Verwachsung und Trennung.

An den Wurzeln im Boden kommen gelegentlich bei den Waldbäumen Verwachsungen zwischen zwei Bäumen vor. Auch die Stämme in dichten Stangenorten der Buche und Eiche verwachsen, wenn sie sich dauernd dicht berühren. Hierbei wird zunächst die beiderseitige, in der Berührungsstelle liegende Rindenparthie functionslos. Durch den Druck unterbleibt dort auch der Zuwachs, während derselbe um die Berührungsstelle

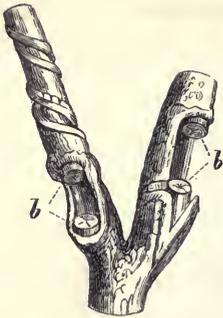


FIG. 360. *Pitteporum viridiflorum*, spiralig entringelte Aeste, an welchen in dem Maße, wie die Callusbildung fortschritt, das alte Holz entfernt wurde, so daß der Ast nur noch durch callose Holzmassen zusammengehalten wurde¹⁾.

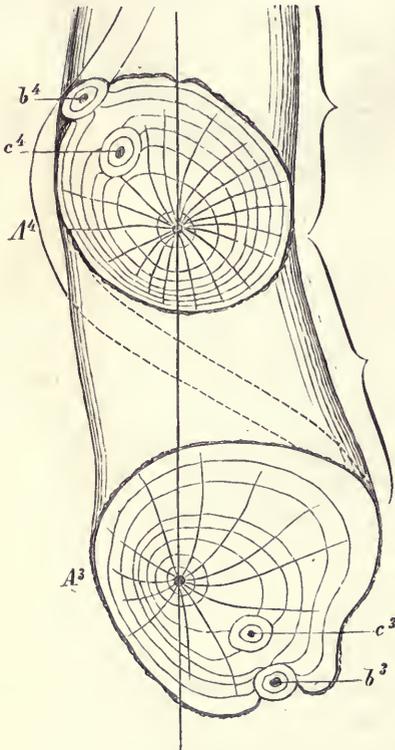


FIG. 361. Zwei Lonicerenfchlingen um eine Buchenstange. b^1 b^2 die eine, welche foeben eingewallt wird. c^1 c^2 die bereits vor mehreren Jahren eingewallte Schlinge.

herum sich anhäuft; dort wird die Rinde durchbrochen, die beiderseitigen Zuwachsmassen gerathen in Contact und verschmelzen schließlich zu einem callosen Wulst, die eingeschlossene Rindenparthie wird erst nach langer Zeit refoebirt. In ähnlichem Sinne verläuft die Einwallung der Lonicerenfchlinge, Fig. 361. Nur ist hier die umfchlungene Buchenstange im Vortheil gegenüber der Schlingpflanze durch einen stärkeren Zuwachs. Es kommt nicht zur Verwachsung der beiderseitigen Holzmassen. Der Holzkörper der Schlingpflanze wird sammt seiner Rinde eingewallt. Der Erfolg einiger Versuche, in welchen Bäume mit Drahtbändern eingeschnürt waren, ist ein ähnlicher. Erfordert die Ueberwallung der bis 3 cm breiten Drahtbänder mehrere Jahre, so wird in dem Zuwachs die sonst charakteristische Structur der Jahrringe nicht hergestellt.

Der umgekehrte Vorgang zu dem Verwachsen durch Einwallen vollzieht sich an manchen Rhizomen und Wurzeln, so z. B. bei der Wurzel und dem Mittelstock der *Carlina*. Die Markstrahlen zwischen den großen Gefäßbündeln werden zerstört. Jede Gruppe von Gefäßbündeln umgibt sich mit einem Rinden- und Korkmantel. Es entstehen aus einem Wurzelcylinder deren drei, vier und mehr.

6. Bruch.

Durch totale Aufhebung der Continuität, wie sie Fig. 362 darstellt, ist jedenfalls eine Verwundung herbeigeführt, wie sie nicht größer fein kann.

Die Vernarbung führt zu einer vollständigen Wiederverbindung der beiden Stücke bei allen Pflanzen,

¹⁾ TRÉCUL, *Ann. d. sc. nat.* S. IV. 1854. S. 41—64. *Formation des vaisseaux.*

welche leicht zu callofen Wucherungen neigen. Farrenkräuter und Coniferen gehören nicht zu diesen. Die leichten Holzarten, Weide, Pappel,

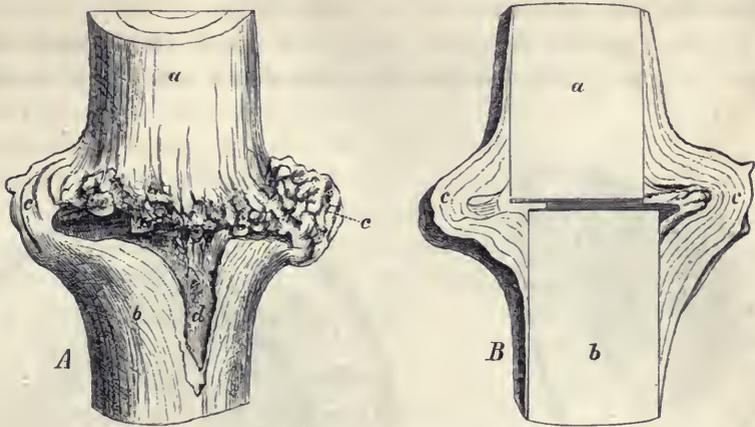


FIG. 362. Callusbildung der Pappelwurzel, welche in zwei Stücke zerfchnitten war, die beiden Stücke verbunden verwachsen. A Außen. B Durchschnittsansicht. c die verschmolzenen Callusmassen.

Ahorn u. s. f. vernarben noch größere Wunden, wie die in Fig. 362 dargestellte. In Fig. 363 A ist ein Zweig gebogen und in A a gebrochen. Beide Bruchstücke heilten sich so aus, daß der fehlende Theil aus dem Marke ersetzt wurde (Fig. 364, 365). Diese Verjüngung geht vom Mark und dem Grundgewebe der Rinde aus. In Figur 363 B sind alle Wundflächen im Durchschnitt gezeichnet: alle sind verwallt.

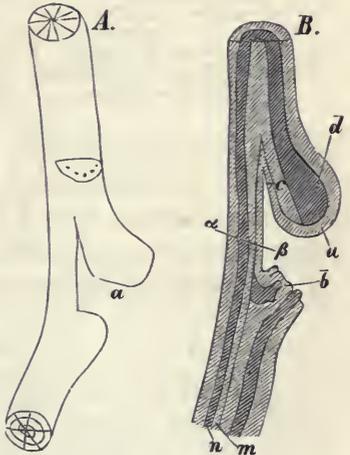


FIG. 363. Abornzweig gebrochen. A Außen. B Durchschnittsansicht. b untere, a obere Bruchfläche.

Der Durchschnitt durch α, β , Fig. 363, ist halbschematisch in Fig. 364 dargestellt. Die Fig. 365 dagegen zeigt ebenso den halben Durchschnitt durch a in Fig. 363 B. Die hinzugekommenen Zweighälften unterscheiden sich von dem normalen durch die callose Anordnung der Holzelemente.

Es läßt sich indeß in ihnen die Structur der Jahrringe nachweisen.

Nennen wir für einen normalen Zweig das Grundgewebe vor der Differenzirung das Proten für alle übrigen, so erhalten wir:

- | | | | |
|----------------|---|---|---|
| Grundgewebe. { | 1. Primäre Rinde | { | secundäre Rinde, |
| | 2. Fibrovasalcambien | | |
| | 3. Primärer Markstrahl, | { | 4. Mark = Proten des Grundgewebes für den Callus. |
| | 4. Mark = Proten des Grundgewebes für den Callus. | | |

Wir fügen somit die Fähigkeit der Reproduction noch weiter hinausgeschoben, bis zu jenem Gewebe, welches im normalen Leben am frühesten aus dem Verkehr ausscheidet.

Zu den größten Eingriffen gehört der Bruch des Schaftes. Es begegnete mir eine Kiefer, welche etwa im zehnten Jahrestrieb in der Axe

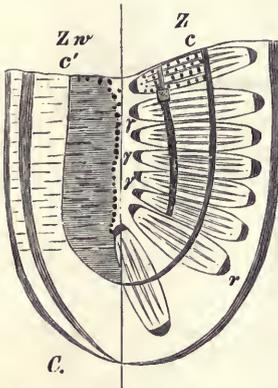


FIG. 364. Ahorn. Querschnitt durch $\alpha \beta$ Fig. 363. *Z* die natürliche, *Zw* die neu hinzugekommene Zweighälfte. *c c'* Cambium. *r r'* die primären Gefäßbündel. *r* der Basttheil derselben.

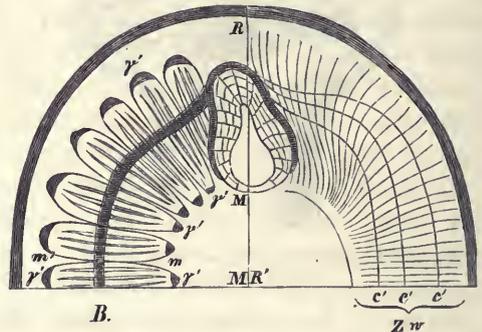


FIG. 365. Ahorn. Querschnitt durch *c d*, Fig. 363 *B*. *B* die natürliche, *Zw* die hinzugewachsene Zweighälfte. *R R'* Richtung des Risses. *r'* die primären Gefäßbündel. *m m* primärer Marktrahl. *M* Mark. *c' c' c'* Zuwachsschichten.

gebrochen war, so daß die beiden Bruchstücke den Winkel von 90° einschlossen. Ein Seitenzweig erster Ordnung trat an die Stelle des Haupttriebes, functionirte eine Zeit lang und wurde dann nochmals durch einen feiner Seitenzweige abgelöst, welcher die Schaftbildung bis zum 30. oder 40. Lebensjahr durchführte (Fig. 366).

7. Oculiren. Pfropfen¹⁾.

Beim Oculiren wird ein Axillarsproß zur Zeit der Ruhe, vor Knospenaufbruch, von dem Stamm in der Weise abgeschnitten, daß ein Theil des Holzes und der Rinde in Form eines keilförmigen Abschnittes, Splitters, mit der Knospe in Verbindung bleibt. Diefes wird in den Spalt des zu veredelnden Baumes gesetzt. Es verbinden sich die beiderseitigen Cambien. Die Parenchymzellen beider Copulanten verschmelzen zu einer callosen Masse, in welcher auch Gefäßelemente auftreten.

¹⁾ Dr. HILDEBRANDT, einige Experimente und Beobachtungen über den Einfluß der Unterlage auf das Pfropfreis. Bot. Ztg. 68. — P. MAGNUS, Weitere Mittheilungen über den Einfluß des Edelreifes und der Unterlage auf einander. 113. Bot. Ztg. 71. — R. STOLL, Erwiderung auf die «Vorläufige Notiz über die Veredelung von P. SORAUER». 653. Bot. Ztg. 75. — P. SORAUER, Vorläufige Notiz über Veredelung. 201. Bot. Ztg. 75.

Beim Pfropfen und Pattiren kommt die von TRÉCUL gezeichnete Vernarbung in Betracht, vergl. Fig. 362. Es werden schief gerichtete Schnittflächen des Pfropfreifes und des tragenden Stammes mit einander in Verbindung gebracht.

In allen diesen außerordentlich groben Eingriffen geht die Neubildung von dem Grundgewebe Mark, Rindenparenchym oder den Markstrahlen aus. Pfropfen führt zur Hybridation, wie die geschlechtliche Mischung. Wenn schon gradweise verschieden, gehen die Eigenschaften der beiden Stämme, Stamm und Edelreis in einander und in die Zweigdescendenten über.

8. Callus an Stecklingen¹⁾.

An Weidenstecklingen bildet sich an der oberen, der Luft zugekehrten Wundfläche nach wenig Tagen eine silberglänzende Zuwachsmasse, welche aus den jüngeren Rindetheilen als ein abgerundeter Ringwulst von wenigen Millimetern Höhe die Schnittfläche überragt. Die mikroskopische Untersuchung zeigt den Wulst aus Zellenwucherungen der Rinde zusammengesetzt, welche hyalin gegliedert, oft mäandrisch gewunden, mit großen Interzellularen versehen sind. Das Chlorophyll fehlt diesen Zellen. Eine Gliederung des Gewebes in Grundgewebe und Fibrovafalmassen findet nicht statt.

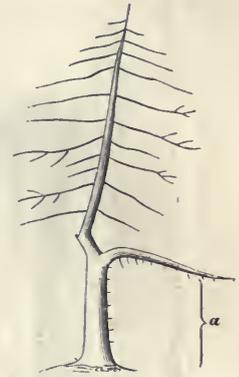


FIG. 366. Ein gebrochener Kiefernast bildete einen neuen Schaft aus dem Zweig der dritten Ordnung.

9. Trockenäste.

Bäume können nur so entstehen, daß sie die Aeste von unten nach oben am Schaft, als der Hauptwachstumsrichtung, abwerfen. Solche Aeste trocknen, nachdem sie längere oder kürzere Zeit in Folge des Lichtmangels gekümmert haben, ab (Argument gegen die Bedeutung der Imbibition bei der Wasserleitung, s. unten § 36 G), brechen durch Schneedruck, Sturm, Durchforstung u. s. f. Die Stümpfe werden zum Theil eingewallt. Die Waldbäume verhalten sich in dieser Hinsicht verschieden:

- 1^o der Ast bleibt lange Jahre stehen: Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche;
- 2^o der Ast wird (bis zum zehnten Jahre selbst) in der Jugend durch ein Gelenk abgestoßen: Pappel, Weide, Eiche;
- 3^o dickere, Jahrzehnte alte Trockenäste werden in muschelförmigen Corrosionsflächen am Stamme nach dem Vermorschen abgestoßen: alle Laubbäume, insbesondere Eiche, Buche;

¹⁾ STOLL, Bot. Ztg. XXXII. Jahrgang.

4° mehrere Centimeter dicke Aststümpfe werden im Laufe der Jahrzehnte, mit großen Schwierigkeiten für die Translocation der plastischen

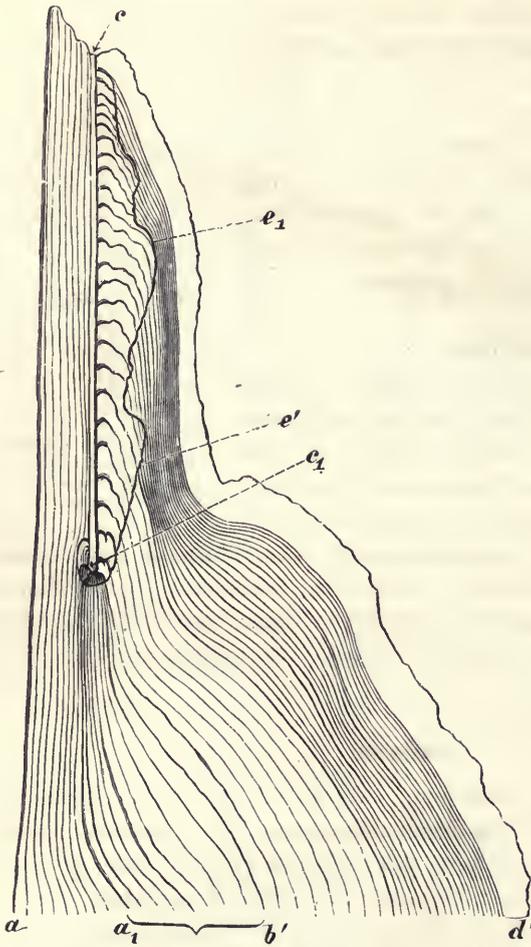


FIG. 367. Ueberwallter Trockenast der Aspe im Durchschnitt senkrecht zur Stammaxe. *a* bis *a*₁ Jahreslagen des Astes, welche, während er lebte, gebildet wurden. *a*₁ *b*₁ Jahreslagen des Stammes in organischer Verbindung mit dem Aste. *b*₁ *b* Jahreslagen, welche den Ast nebst dessen Rinde *c* *c*₁ überwallten. Der Aststummel scheint bis *c*₁ gesund und lebend zu sein. *e*₁ *e*₂ Grenze, bis zu welcher vom trockenem Ast aus gerechnet die Ueberwallungsschichten gebräunt erschienen.

von vorn die ganze Entwicklung durchlaufen wird. Meine Resultate weichen in einigen Punkten von denjenigen HARTIG's ab. Die Objecte, welche ich zu der mikroskopischen Untersuchung verwandte, sind dieselben Callusmassen, welche aus der Schälstelle der Buchen und Eichen entsprossen.

Bekanntlich läßt sich die Rinde nur in bestimmter Zeit im Frühling

Körper, eingewallt: Efche, Pappel, Eiche (f. Fig. 367 und Figurenerklärung).

10. Callus aus den Schälstellen.

Wird in der geeigneten Phase die Rinde entfernt, so durchläuft die fertige Zelle des Markstrahles alle Formstufen, welche wir einem früheren Protzen zuschreiben.

Nach TH. HARTIG erhielten wir:

Holzmarkstrahl-Protzen des Grundgewebes, aus diesem: Protzen des Korkes,

« der primären Fibrovasalmasse im Callus,

« des Cambiumringes,

« aller secundären Gewebeelemente im Callus, somit

endlich auch des adventiven Sprosses. Hiemit ist denn nachgewiesen, daß aus dem letzten Descendenten wieder

auf größeren Strecken abschälen. Die Nagestellen des Wildes, welche im Winter entstehen, unterscheiden sich wesentlich von solchen Schälstellen, welche das Hochwild durch Abreißen fußlanger Rindestreifen im Frühling herstellt. Letztere zeigen noch in demselben Jahre die schon von HARTIG beschriebenen Infelbildungen des Holzwalles (Granulationen der Schälstelle).

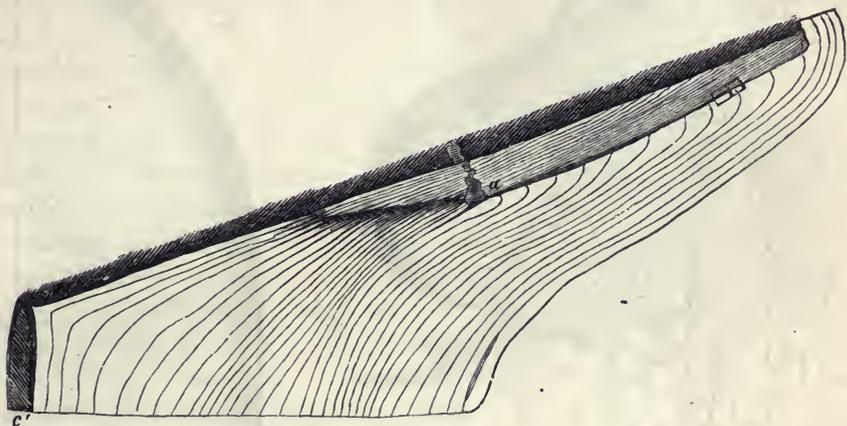


FIG. 368. Fichte, überwallter Aststummel, nat. Größe 9–10 mm dick, von den 13–14 letzten Jahreslagen eingewallt. In der Ausdehnung von *a* bis *c'* ist der Trockenast mürbe, an der Wurzel aber fest und nur gebräunt. Bei der Fichte, welche hier als Beispiel vorliegt, vollzieht sich dieß, ohne daß die Rinde des Astes eingewallt ist.

Die kleinsten Infeln in der nackten Holzfläche sind linsenförmige Hügel, deren größte Ausdehnung mit den Markstrahlen zusammenfällt.

Durchschneidet man eine solche Infel in der Querrichtung, Fig. 369 *A*, so findet man, daß alle Elemente des fertigen Holzzuwachses sich an der Callusbildung beteiligen mußten. Es geht dieß aus dem Folgenden zur Evidenz hervor:

die äußerste Schicht des Callus *H*, Fig. 369 *A*, besteht aus collabierten Elementen des Holzzuwachses aus dem laufenden Jahre, denn es lassen sich in ihr alle Elemente des Holzes nachweisen, so namentlich deutlich das abgestorbene Ende des Markstrahles *M* in *M'*.

Hieraus folgt, daß eine tiefere Schicht, wie die jüngste von der Peripherie *G* aus gerechnet, den Callus bildete. Es läßt sich in radialer Richtung von dieser Schicht eine Continuität in der radialen Anordnung aus dem unverletzten Holze in den Callus nachweisen. Der Callus zerfällt selbst in einen von Steinzellen *P* durchstreuten parenchymatösen Theil *P*, welcher von *H* durch ein Korkcambium getrennt ist; eine cambiale Zone *C* trennt Rinde von Holz. In dem letzteren sind Tracheiden *T* und Holzzellen vorhanden.

Diese Verhältnisse lassen keine andere Deutung zu, als daß aus der Grenzschicht *G* zuerst Grundgewebe gebildet wird, was ohne eine Theil-

lung der Fibrovasalmassen durch Querwände nicht möglich ist; daß dann erst aus diesem Kork und neue Fibrovasalmassen und deren Cambien C entstehen.

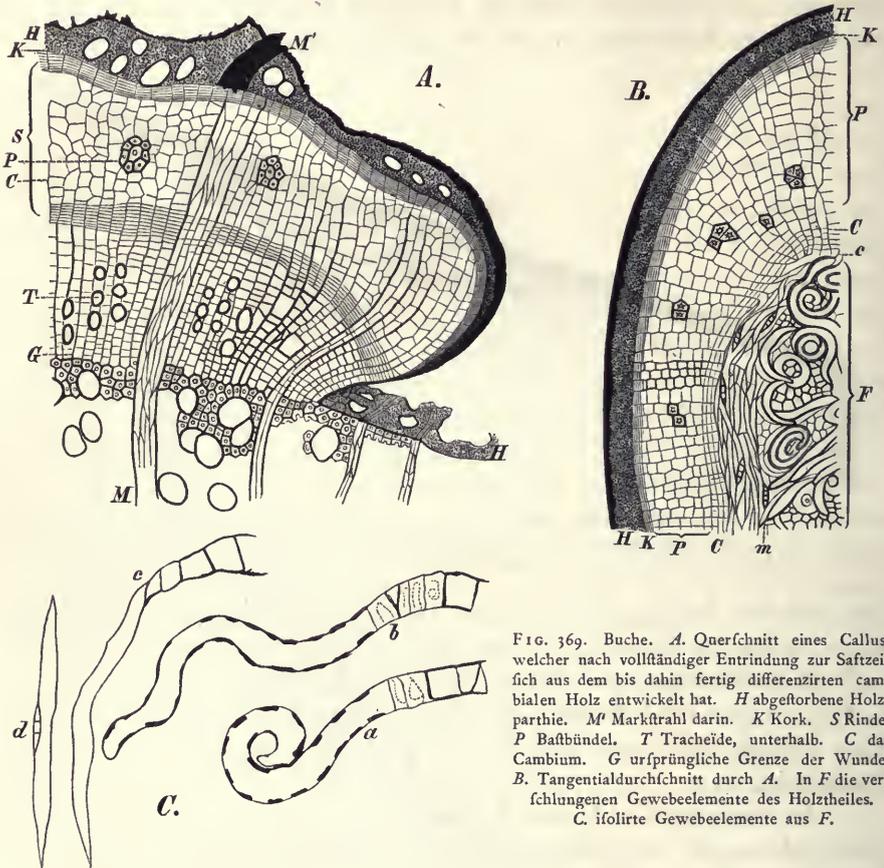


FIG. 369. Buche. A. Querschnitt eines Callus, welcher nach vollständiger Entrindung zur Saftzeit sich aus dem bis dahin fertig differenzirten cambialen Holz entwickelt hat. H abgestorbene Holzpartie. M' Markstrahl darin. K Kork. S Rinde. P Baßbündel. T Tracheide, unterhalb. C das Cambium. G ursprüngliche Grenze der Wunde. B. Tangentialdurchschnitt durch A. In F die verschlungenen Gewebeelemente des Holztheiles. C. ifolirte Gewebeelemente aus F.

Einen deutlichen Beleg hiefür erhält man in dem Tangential-Längsschnitt durch dieselbe Infel, Fig. 369 B. Die Elemente des Holzes sind vielfach verschlungen, ähnlich den Masern. Da wo eine Faser in die Cambiumzone eintritt, theilt sie sich in der Längs- sowie in der Querrichtung. Ifolirte Fasern in dem nach der SCHULZE'schen Methode macerirten Gewebe, Fig. 369 C, zeigen in a und b die Quertheilung, in c eine Cambiumzelle, welche am einen Ende mit ifodiametrischen Elementen in Verbindung steht.

11. Namenszüge in der Rinde.

Wird im Jahre *n*, Fig. 370 C, in die Rinde der Buche, Hainbuche u. f. f. ein Namenszug *RO* gefchnitten, in der Weise, daß der Schnitt s

die ganze Rinde R und den letzten Jahrring H , Fig. B , verletzt, so vernarbt zunächst in diesem oder dem nächsten Jahre $n + 1$, Fig. 370 C , die Wunde im Holze. Das Narbengewebe wird feinerseits selbst von den kommenden Jahreslagen vollständig bedeckt. Nach vielen Jahrzehnten zeigt sich dann der Zug RO in dem Holzcallus $c c'$, Fig. 370 C , wenn der Baum gefällt wurde. Der Holzkörper spaltet in der Richtung des Pfeiles leichter. Die Spaltungsflächen zeigen dann ein Relief und eine Vertiefung des Namenszuges. Die innere Fläche zeigt die Erhebung, die äußere die Vertiefung, Fig. 370 A . Dieß beruht darin, daß der ursprünglich in das Holz geführte Schnitt die Matrize für den callofen Zuwachs wird, welcher die Lücke auszufüllen bestrebt ist und schließlich ausfüllt. Die Bilder der beiden Schalen sind alsdann selbstredend gegenseitige Spiegelbilder. Der Namenszug behält in der Matrize, welche durch Holz ausgefüllt ist, constante Breite. In der Rinde aber, $t t$ Fig. 370 C , wird er von Jahr zu Jahr erweitert.

C. Deformirung von Pflanzentheilen durch Insecten¹⁾.

Die Blätter und Zweige, auch die Wurzeln werden durch den Eingriff der Insecten in mannigfacher Weise deformirt.

Mögen hier einige der tiefeingreifenden Wucherungen geschildert sein: die Epidermis der Blattunterseite von *Alnus glutinosa*, *Vitis vinifera*, der Linde, Ulme u. a. m., wird durch eine Milbe zur Bildung mehrerer Milli-

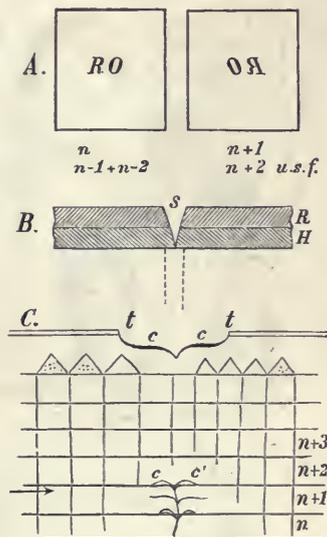


FIG. 370. Schematische Darstellung der Ueberwallung eines Einschnittes in die Buchenrinde. A . der Namenszug RO in der Rinde im Jahre n durch diese und den damals letzten Jahrring n , Fig. C , geschnitten. B . Schema des Einschnittes S im Querschnitt des Stammes. R Rinde. H Holz. C . Schema desselben Durchchnittes nach 5 Jahren. $n + 1$, $n + 2$ u. s. f., $t t$ der verbreiterte Wundrand der Rinde, $c c'$ der Callus der Rinde dort, $c c'$ der Holzcallus, welcher den Schnitt S so ausfüllt, wie eine plastische Masse die Gießmutter (Matrize). Bis zum Jahre $n + 2$ soll diese ausgefüllt sein. Die Jahreslagen $n + 3$ u. s. f. lagern sich glatt über die Wunde und den Holzcallus. Spaltet man nun mit dem Pfeil, so erscheint das erhabene Bild verkehrt als Spiegelbild zu RO mit den Calluslagen $n + 1$, $n + 2$ u. s. f. Das vertiefte liegt in den Holztheilen n , $n - 1$, $n - 2$.

¹⁾ LACACE DUTHIERS, *rech. pour servir à l'histoire des galles*. *Ann. des sc. nat.* 1853. S. 273. — Mitteleurop. Eichengallen. Von Dr. G. MAYR. Wien 1871. C. Gerold's Sohn. — TASCHENBERG, *Die Hymenopteren Deutschlands*. Leipzig. E. Kummer. 1866. — A. RÖSE, Notiz über die krankhaften Auswüchse auf Weinblättern (*Erineum vitis Soboad*), verursacht durch eine Milbe (*Phytoptus vitis Landois*), nebst einigen Bemerkungen dazu von D. F. L. v. SCHLECHTENDAL. 294. *Bot. Ztg.* 66. — F. THOMAS, Zur Enttöthung der Milbengallen und verwandter Pflanzenauswüchse. 281. *Bot. Ztg.* 72. — SORAUER, Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 1874. Wiegandt u. Parey. — SCHLECHTENDAL, *Bot. Ztg.* 254, 63. Einige Bemerkungen über krankhafte Auswüchse auf Weinblättern. 294.

meter langer Haare angereizt. Diese stehen in Rafen von 4—6 mm Durchmesser in einer Concavität, welche durch den Parasiten veranlaßt wird, indem sich die Blattfläche nach der Oberseite wölbt.

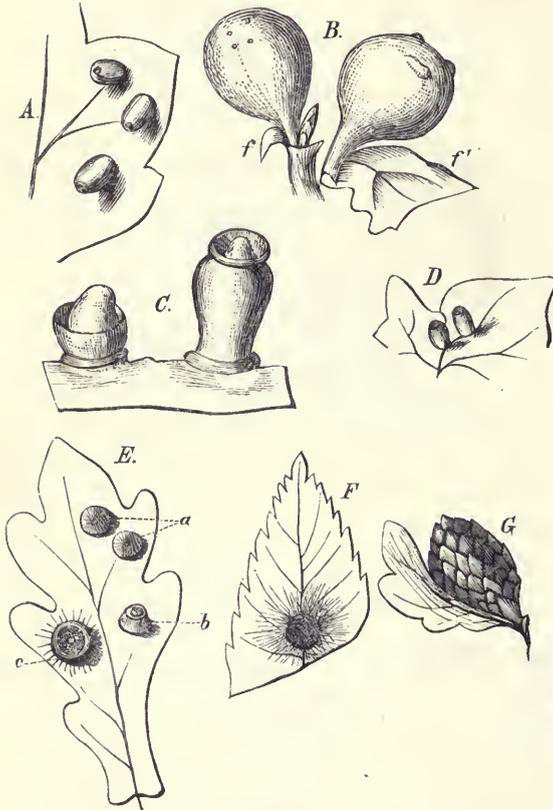


FIG. 371. Nach LACAZE DUTHIERS (*Ann. des sc. a. a. O.*). A Blattgallen, eiförmig mit schieffestellter Axe. B Galläpfel aus der Achsel der Blätter. C Becherförmige Eichengalle. D Kleine becherförmige Eichengalle. E Auf dem Eichblatt, a flache scheibenförmige, b conische, c flache tellerförmige, behaarte. F Rosengalle im jugendlichen Zustand. G Axillarfproß der Eiche in eine Galle umgewandelt¹⁾.

Die Gallwespen legen ihre Eier in die Eichenknospe, in die Wucherung, welche sie am Blatte veranlassen und in Adventivknospen, welche wahrscheinlich entstehen in Folge davon, daß die Rinde der Aeste und des Stammes gereizt werden.

a) Zweiggallen von *Cynips Malpighi* entstehen durch die Einwirkung des Infectes auf eine vorhandene vegetative Knospe. Die Niederblätter entfalten sich stärker, die Knospe schwillt zu einem Centimeter großen Zäpfchen mit lockerer Beschüpfung, ähnlich dem Hopfenzapfen, Fig. 371 G.

b) Die Blattgalle von *Cynips Quercus Malpighi*, wenige Millimeter groß, flach, teller- oder knopfförmig, ist eine Wucherung des Grund-

gewebes im Blatte mit einer in der Basis der Galle endenden Gefäßbündelauszweigung. Hieher gehören auch die Aleppogalläpfel, welche in den Handel kommen.

c) Ich fand an dem frischen Rindenriß einer Eiche im Niederwald eine große Anzahl von Galläpfeln in allen Entwicklungsstadien von der Größe eines halben bis zur Größe von 2—3 mm. Hie und da waren aus

¹⁾ Genauere Angaben f. allgemeine Morphologie Bd. I. 2.

dem saftigeren Weichtheil des Rindenrisses schwache Zweiglein entwickelt, an welchen die Knospen sich in Gallen umgewandelt hatten, Fig. 373 *A*. Diefelben stellten sich bei der mikroskopischen Unterfuchung als mächtig angegeschwollene Vegetationspunkte dar. An der Basis dieser birn- und apfelförmigen Gebilde waren kleine Blattschüppchen angelegt, im Scheitel des geschwollenen Vegetationshügels waren mikroskopisch kleine Blattwärtchen, Fig. 373 *B*. Die Gebilde befaßen mehrere Gefäßbündel, welche mit denjenigen des tragenden Zweigleins in der gewöhnlichen Weise in Verbindung stunden, an der Basis des Gallapfels blind endigten. In dem geschwollenen saftigen Theil fand sich die Eizelle, *ov* Fig. 373 *B*, welche die Höhlung so ausfüllte, wie etwa der primäre Embryofack in dem Eikern der Coniferen. Vom Scheitel führte eine trichterförmige Vertiefung nach dem Orte der Eizelle, *a*, Fig. 373 *B*.

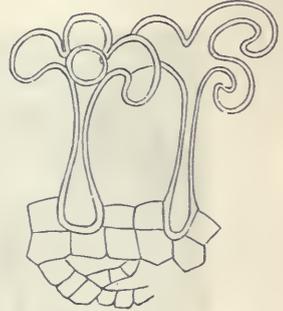


FIG. 372. Erineum (Phytoptusgalle) auf *Alnus glutinosa*. Querschnitts-
partie des Laubblattes.

Aehnliche Gallknospen aus demselben Material sind in Fig. 374 dargestellt. In *A* hat der Vegetationspunkt mehrere Blattanlagen gebildet *f f'*,

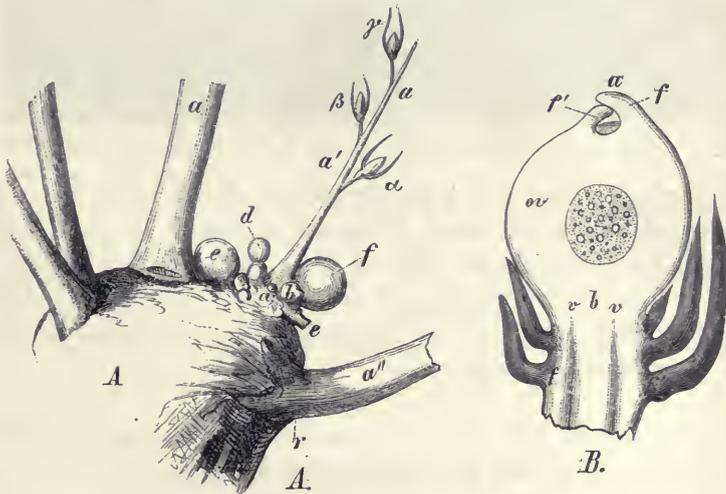


FIG. 373. Eichengallen. *A*. Eichenstumpf mit zahlreichen Wasserreifeu *a a''*, an einem dieser *a'* die Gallenknospen $\alpha \beta \gamma$. *B*. eine der Gallenknospen stärker vergrößert, *a* der Vegetationspunkt, *f f'* Blattwucherungen, *f f'* rudimentäre gefäßbündellofe Schuppenblättchen von brauner Farbe, *ov* das Ei.

welche an der Basis den birnförmigen Körper als trockenhäutige Schuppen umgeben, im oberen Pol sind mehrere sehr kleine Blattwärtchen. Der Querschnitt der kleinen adventiven Zweiglein zeigte selbst mehrmals adventive Gallsprösschen der nächsten Ordnung, welche das Periderm der Zweig-

lein durchbrochen haben, Fig. 374. An dem oberen Sproß ist der Vegetationspunkt *g* mit drei Blattanlagen im Durchschnitt getroffen. Er hat hier noch die Gestalt der gewöhnlichen vegetativen Blattknospen. Der andere Gall sproß dagegen hat sich keulenförmig nach außen gewölbt und ist im

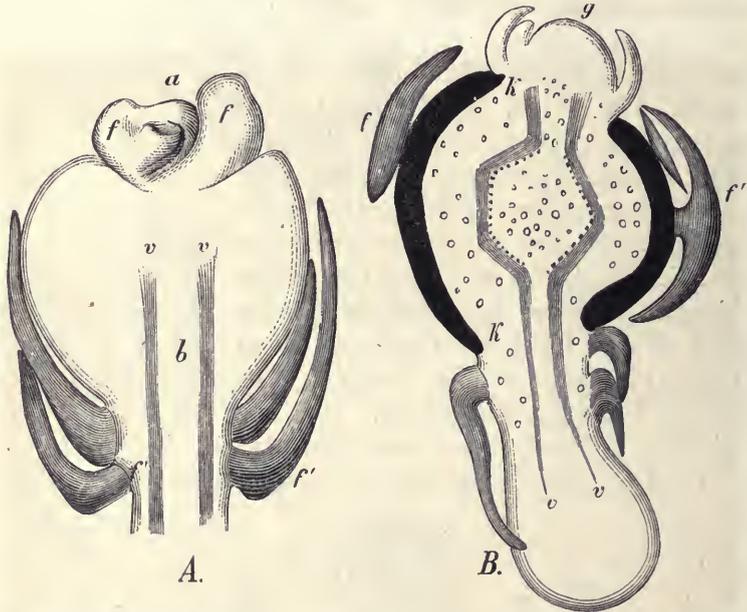


FIG. 374. Gallenknospen. A. isolirt im Längsschnitt. *v v* Gefäßbündel, *f f* Blattrudimente, *f' f'* die braunen Schuppenblättchen. B. zwei verschieden alte Gallenknospen durchbrechen das Periderm des Zweiges *a'*.

Scheitel blattlos. Ganz ohne Zweifel geht aus diesem Befunde hervor, daß hier Gallsprosse als ursprünglich beblätterte vegetative Knospen durch den Reiz entstanden sind, bis zur dritten oder selbst vierten Ordnung, wenn man von der ersten Adventivknospe an der Eiche aus rechnet. Die Blattrudimente unterscheiden sich, wie schon bemerkt, dadurch, daß sie keine Fibrovafalzweige erhalten.

§ 34. Evolution des Baumes.

Die groben Züge der Evolution des Baumes lassen sich in dem Folgenden darstellen: von einer gegebenen Keimknospe aus gliedert sich das System in Blattanlagen und einen Rest des Vegetationspunktes, welcher stetig von Neuem die Abscheidung neuer Blätter besorgt. Zu jedem Blatte gehört eine mikroskopisch kleine Anlage eines zugehörigen Axillarsprosses. Die Hauptrichtung des Keimstammes bleibt eine Zeit lang die herrschende.

In der Richtung der vorhandenen Bahn und in deren Fortsetzung wird dadurch die Intensität von Zuwachs und Leitung dauernd am größten. Die Erscheinung, welche mit dieser Voraussetzung scheinbar im Widerspruch steht, ist die häufige Ablösung einer Knospe der ersten durch eine solche von der zweiten Ordnung.

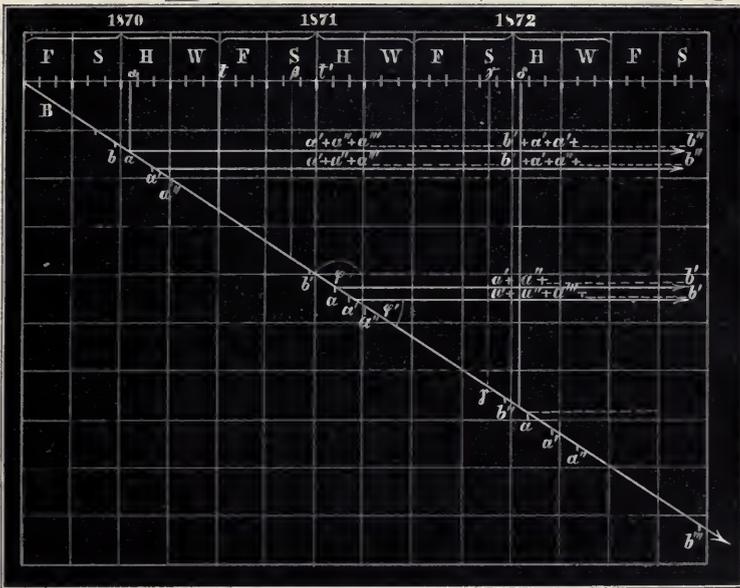


FIG. 375. Die Axe F S H u. s. f. bedeutet die Zeit; sie ist eingetheilt in Monate und erstreckt sich in dem Schema über drei Jahre. In der Richtung B b''' wächst der tragende Ast eines Laubbaumes der gemäßigten Zone, die Arbeit, welche derselbe verrichtet, setzt sich zusammen aus der Anlegung einer bestimmbar Anzahl von Axillarprossen a a' a'' und aus der Streckung b b' b'' in der Richtung des Pfeiles. In jeder der secundären Pfeilrichtungen von a a' a'' ausgehend wiederholt sich derselbe Proceß. Die Richtung B b''' aber ist um die volle Arbeit eines Jahres vorausgeeilt. Lassen wir das System zurückfließen nach dem Punkt α (1870), so erhalten wir in α den Zeitpunkt, wo genau in der Spitze der Haupttrichtung zwei Knospen stehen. Bis zu einem ähnlichen Zeitpunkt β (1871) ist in der Haupttrichtung die Arbeit $b' + (a + a' + a'' \dots)$, in der Seitenrichtung aber nur die Arbeit $(a + a' + a'' \dots)$ geleistet. Bis zu dem ähnlichen Zeitpunkt $\gamma \delta$ (1872) ist in der Haupttrichtung die Arbeit $b' + b'' + 2(a + a' + a'' + \dots)$, in der Seitenrichtung von α (1870) gerechnet nur $b' + (a + a' + a'' + \dots)$ geleistet. Die Zustände $b b' b''$, entsprechend $\alpha \beta \gamma$, sind deshalb die kritischen, weil das System soeben den plastisch-flüssigen Zustand verlassen hat um zu verhärten, und weil um diese Zeit die Temperatur wächst.

Diese Erscheinung beschränkt sich nicht auf die Laubhölzer (Tilia, Ulmus u. a.) allein, sie kommt auch bei den Nadelhölzern, wennschon in beschränkterem Maße vor. Bei einer Abmusterung vor mir liegender junger Fichtenpflanzen finde ich 10% im ersten, 12% im zweiten Jahre solcher, welche ihren Haupttrieb im mikroskopisch kleinen Zustande eingehen ließen und durch eine Seitenknospe ersetzt.

Diese Uebertragung ist die Folge einer Erschöpfung des Hauptwirthschafers. Man kann dieselbe verstehen, wenn man auf die Evolution des Zweigsystems in unserer Zone achtet.

Verfolgen wir die Ordnungen vom 1. Januar ab, so finden wir den Hauptwirthschafter stets um die volle Arbeit eines Jahres mehr belastet wie den Wirthschafter der zweiten Ordnung.

Nennen wir nämlich die Summen der inneren und äußeren Arbeit in jeder Knospe, welche dazu verwandt wird, um von dem Vegetationspunkt ein Blatt und einen dazugehörigen Axillarsproß anzulegen, $a a' a''$ u. f. f., den Gesamtaufwand für die einmalige Streckung des durch die Knospe hinzugewachsenen (angelegten) Hauptstammstückes b , so ist für mehrere Jahre die Arbeit an dem sich selbstähnlich wachsenden System unter der Voraussetzung, daß der Wirthschafter der ersten Ordnung nicht abgelöst und daß ein Johannistrieb nicht gebildet wird, wenn wir von einer einzigen Knospe ab rechnen, und wenn wir beginnen mit dem Zeitpunkt, wo die Hauptknospe die Arbeit b für das laufende Jahr soeben beendet, und sich geschlossen, d. h. in ihr Niederblatt convolut eingehüllt hat, in dem Schema Fig. 375 dargestellt.

Betrachten wir zuerst die schiefe Reihe $B b$ u. f. f.

Auf dem Theil der Axe, welcher im Zeitpunkt der Betrachtung bereits vorhanden ist, und welcher einer früheren Arbeitsleistung der Knospe entspricht, sitzt eine Hauptknospe, welche nach der Streckung b_0 in dem Zeitraum $S H W F$ die Seitenknospen $a a' a''$ anlegte, sich öffnete, die Arbeit b , leistete und sich wieder schloß, 1870 u. f. f., 1871 u. f. f. durch $b_1, b_2 b_3$. Jede der in dem Raume und der Zeit consecutiven Knospen zwischen α und β wiederholt diesen Proceß in den Horizontalreihen. Die Zeiten, in welchen das sich selbst ähnliche System in den einzelnen Knospenpunkten die besagten Arbeiten leistet, ergeben sich dann aus den Projectionen von $a a' a''$ u. f. f., $b' b''$ u. f. f. auf die Axe $F S H W S$ u. f. f. Man wird am besten diese Summation der Arbeiten verfolgen, wenn man ein mehrjähriges System der Buche abschneidet und durch die an demselben äußerlich sichtbaren Jahrestriebe in Gedanken zurückfließen läßt, bis alle Auszweigungen, wie dieß ja selbstverständlich kommen muß, in einer Knospe angelangt sind.

Man sieht leicht, daß der Wirthschafter, d. h. die Knospe, der ersten Ordnung, wenn er von dem Zeitpunkt α anfangend nach γ kommt, gerade noch einmal so viel geleistet hat, wie irgend einer der consecutiven Wirthschafter der zweiten Ordnung.

Kurz nach dem Zeitpunkt α , Fig. 375, möge der Wirthschafter der ersten Ordnung die erste Knospenanlage der zweiten Ordnung gebildet haben, diese verharrt in der Hauptknospe bis zum Zeitpunkt β , wo die Streckung derselben erfolgt.

Bis jetzt hat der Hauptsproß die Arbeit

$$a' + a'' + \dots a_n + b',$$

von dem Zeitpunkt β bis γ hat er nochmals $a + a' + a'' + \dots a_n + b''$

geleistet. In dem ganzen Zeitraum α bis γ hat der Seitentrieb nur einmal die Arbeit

$$a + a' + a'' + \dots a_n + b'$$

aufzuweisen.

In dem Zeitpunkt γ , kurz vor Knospenausbruch, stehen bei der Buche zwei fast gleiche Knospen in der Nähe der Spitze in gleicher Phase. In dem Zeitpunkt δ , also kurz nachdem beide die Arbeit der Streckung geleistet, stehen in der Kette $B b b'$ zwei ungleichwerthige Knospen an der Spitze, die eine hat von dem Zeitpunkt a (71) noch gar keine Anhäufung ausgeführt, die andere hat hingegen zuletzt n mal a und die Arbeit b'' ausgeführt. Dieser Zeitpunkt ist der kritische für den Haupttrieb:

1^o weil die Arbeit b soeben erst von ihm geleistet wurde (Streckung und größter Athmungsaufwand, sowie größte Verdunstung auf die kleinste Masse der Strombahn);

2^o weil von jetzt bis zum nächst ähnlichen Zeitpunkt für gleiche Zeit von den Blättern aus der Leitungswiderstand für das plastische Material nach allen Wirthschaftern der höheren Ordnung kleiner ist, wie nach dem Hauptwirthschafter.

Die plastische Masse in dem Blatte, welches in der Kette $b' b''$ und der Phase $S H W$; $F S$ (71—72) entsteht, hat zunächst zwei Bahnen: sie strömt zurück in einer Bahn, welche die geringsten Winkelabweichungen besitzt, oder sie strömt zurück nach der Kette $B b'$ u. s. f., und von da nach der Richtung des Pfeils, also vorwärts. Leicht ist nun einzusehen, daß in den Bahnen $B a_n b'$ und $b' a b'$ oder umgekehrt, gleiches Gefälle und gleicher Druck, allgemein gleiche stromerhaltende Kraft, sowie gleiche Länge vorausgesetzt, der Widerstand abhängt von den Winkeln $\varphi \varphi'$. Das Theilchen muß in einer spitzwinkligen Bahn eine Verzögerung gegenüber einer stumpfwinkligen Bahn erfahren.

Hierauf beruhen mehrere der wichtigsten Vorgänge an dem Baume:

1^o das gelegentliche Eingehen, Absterben des Haupttriebes im Zeitpunkt der Blattentfaltung, Hainbuche, Buche, Eiche, alle mit decussirten Blättern und Knospen; die gesetzmäßig alljährliche Uebertragung der Hauptwirthschaft an den Wirthschafter der nächsten Ordnung: Linde, Ulme (*Morus*);

2^o das Zurückfließen des in der Lichtperiode erhaltenen Stärkeüberschusses über das ganze rückwärts belegene System;

3^o der einjährige Umtrieb beginnt mit der Verwendung der stromerhaltenden Kraft des vorjährig erhaltenen Stärkereservoirs, die neuangelegten Strombahnen divergiren alle so, daß der Winkel von dem Ursprung B an gerechnet (φ) ein stumpfer ist, d. h. die ursprüngliche Anlegung geschieht so, daß der Aufwand (Widerstand) der in der Richtung des Pfeiles geleisteten Arbeit am kleinsten ist.

Die hier zu Grunde gelegte Modalität der Verzweigung der Laubbäume ist die vollständigste Anpassung an die climatische Periode.

Werfen wir nun einen Blick auf alle niederen Formkreise, so finden wir:

a) Differenzirung einer Endknospe überhaupt erst bei höheren Algen, Charen, Moosen u. s. f.;

b) Knospenschluß von den höheren Cryptogamen ab, aber ohne besonders differenzierte Knospenschuppen;

c) deutlicher Knospenschluß mit Knospenschuppen von den Abietineen ab nach den Phanerogamen hin, am ausgeprägtesten bei Dicotylenbäumen.

Den niederen, wennschon perennirenden Pflanzen fehlt der Knospenschluß und den niederen Algen und Pilzen jede Anlage zur Knospe.

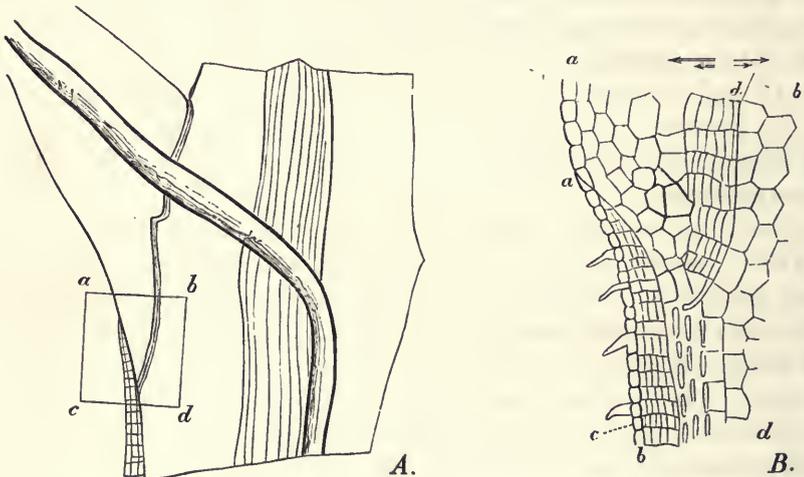


FIG. 376. *Aesculus Hippocastanum*. Bruchstelle des Blattes. *A* Radialdurchschnitt durch die Einfügung des Blattes in den Zweig, an der Innenseite des ersten Jahrringes läuft das primäre Gefäßbündel in das Blatt. *a b c d* ein Flächenstückchen, in der Bruchstelle des Blattstieles in *B* vergrößert. *a b* Periderm des Zweiges. *d* Gewebeplatte von radial geordneten Zellen, in welcher der Riß erfolgt, welcher den Blattstiel in der Richtung der Pfeile von dem Zweige trennt.

a) Blattfall¹⁾.

Wenigstens bei unseren Laubbäumen und bei einer großen Anzahl von ausländischen ist der Blattfall in einer bestimmten Stelle der Blattbasis durch eine besondere Gewebeart in der Bruchfläche vorbereitet. Es sind tafelförmige Zellen, welche zur Zeit des Blattfalles in eine nachträgliche Auflockerung gerathen und den Bruch des Blattstieles bewirken. Diese Zellen füllen sich vor dem Blattfalle mit Amylum. Auch das Abfallen der

¹⁾ Studienobjecte sind Labiaten, Scrophularineen, insbesondere die Amygdaleen, wo die hohle Axe einen ähnlichen Gürtel anlegt.

Corollen bei vielen Blütenpflanzen beruht im Wesen der Sache auf demselben Verhalten in einer Ringzone solcher Zellen.

Wir wählen hier als Beispiel das Blatt von *Aesculus*. Die Fig. 376 *A B* zeigen den Durchschnitt durch die Einfügung desselben in den Zweig. In *A* ist die Trennungsfäche dargestellt. Eine kleine Parthie des Gewebes, durch *a b c d* bezeichnet, ist in Figur *B* stärker vergrößert. Schon im Juli und August ist diese Differenzirung eingeleitet.

Zur Zeit des Bruches lockert sich die Gewebeparthie in Richtung der Pfeile, Fig. *B*, das Gefäßbündel wird unter der Last des Blattes zerrissen. Das Blatt fällt.

b) Zweigfall¹⁾.

Der Zweigfall kommt bis zu mehrjährigen Zweigen in demselben Sinne erblich vor bei der Eiche, Pappel und vielen Weidenarten. In der Einfügung des Zweiges, Fig. 377 *A*, bricht derselbe ab mit einer ganz glatten Narbenfläche.

Bei den Eichen und Weiden fällt der Zweig oder ein Zweigsystem bis zu drei Ordnungen so ab, daß die Bruchfläche *b*, Fig. 377 *B*, vollständig glatt tellerförmig erscheint. Dem Bruch geht eine Holzwucherung voraus, welche einen gelenkartigen Wulst in der Astbasis bildet. Bei den Weiden sprossen entwickeln sich unter geeigneten Bedingungen die beiden Axillarsprosse der Nebenblätter, so daß in der Nähe der Bruchfläche nochmals eine Verjüngung erfolgt.

Der Zweigfall der Nadelhölzer wird durch Eichhörnchen veranlaßt. Dort fehlt jede Vorrichtung, welche den Faserbruch des sehr zähen Holzes ermöglichte.

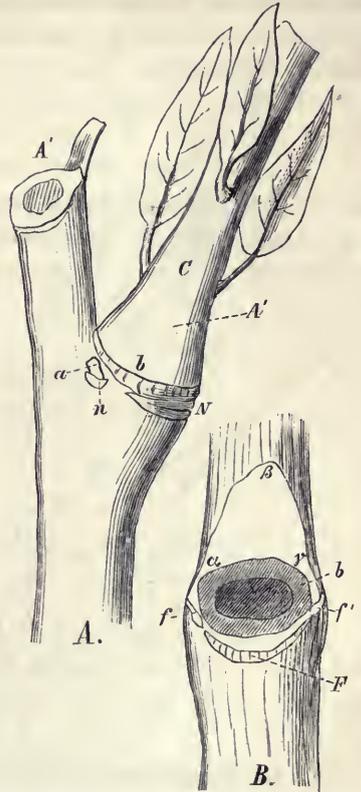


FIG. 377. *Salix alba*. Zweigbruch. *A*. der tragende, *C* der später hinfällige Zweig der nächst höheren Ordnung, *N* Narbe des Blattstieles, *n* Narbe des Nebenblattes. *B*. der tragende Zweig nach dem Hinfalle des Zweiges *C*, α γ die Bruchfläche, in *f f'* die Stipularknospen noch ruhend, α β γ die Abplattung an dem Zweig, an welchem die Knospe anlag.

¹⁾ A. RÖSE, Ueber die Absprünge der Bäume. 109. Ueber die Fichtenabsprünge. Bot. Ztg. 65. — Dr. GONNERMANN, Ueber die «Abbiße» der Tannen und Fichten. 265. Bot. Ztg. 65. — N. J. C. MÜLLER, Zweigordnungen. Bot. Untersuchungen. Bd. I. VI. Abhandl. C. Winter. Heidelberg. — M. KIENITZ, in G. HEYER'S Forst- und Jagdzeitung. 1877. Ueber das Aufasten der Waldbäume.

Die Narben der Blätter und hinfälligen Zweige oder mindestens deutliche Spuren lassen sich bei vielen Bäumen noch lange zeigen¹⁾. Namentlich wenn das Periderm nicht durch Borkenrisse deformirt wird.

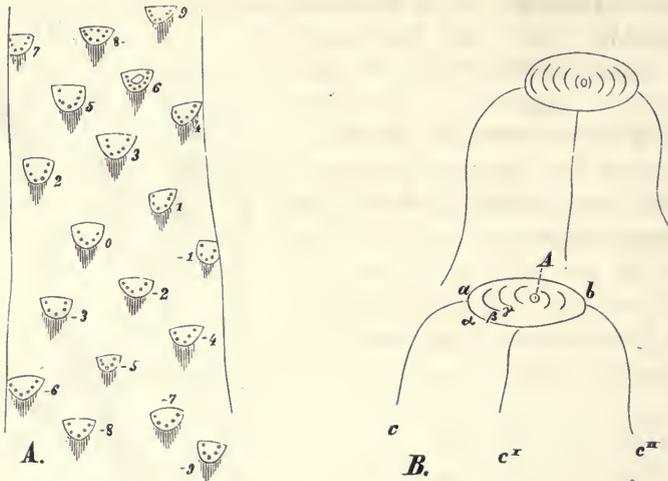


FIG. 378. A. *Cussonia spicata*. Aufgewickelter Stammcylinder. Die Parastichen der Blätter durch Zahlen markirt 0, 2, 3, 5, 8 nach oben und unten. B. *Populus angulata*. Zwei Blattnarben, 30 Jahre nachdem die Blätter abfielen, vergl. Fig. 297. c c' c'' Korkleifen entsprechend den Gefäßspuren.

In unserer Figur 378 sind die Blattnarben und die Figuren von Korkleifen in der Rinde, welche den Verlauf der primären Gefäßbündel kennzeichnen, noch nach 10—15 Jahren deutlich.

A. Allgemeine Gesetze der Blatt- und Zweigstellung¹⁾.

Die Reihe $\frac{1}{2} \frac{1}{3} \dots \frac{1}{\infty}$.

Die Auszweigungen an einem gegebenen Stamme sind regellos oder dichotomisch bei den Algen, Pilzen, Flechten. Erst in der Classe der Laubmoose stehen die Blätter und Axillarsprosse in dem Sinne gefetzmäßig wie bei unferen Coniferen und Dicotylenbäumen²⁾.

Die Winkel, welche von den Projectionen der Blätter auf eine zum Stamm normale Ebene eingeschlossen werden, sind constant. In der Natur sollten alle Winkel vorkommen, welche sich bilden lassen in der Reihe

$\frac{1}{1} \frac{1}{2} \frac{1}{3} \frac{1}{4} \dots \frac{1}{100} \dots \frac{1}{\infty}$.

¹⁾ Studienobjecte: Pappeln, Buchen, Nadelhölzer bis zu mehreren Jahrzehnten (f. spez. Botanik).

²⁾ Aus der Morphologie vorgegriffen ist der Satz: «Wenn man von dem tieferen älteren Blatt und feinem zugehörigen Axillarsproß (später eventuell Ast) zu dem höheren und dem nächst höheren in der gleichen Richtung den Stamm umkreisend aufsteigt, so sind die Intervalle von Blatt zu Blatt gleiche Winkel in der Querschnittsprojection».

In Wirklichkeit aber kommen nur die einfacheren ersten Glieder dieser Reihe vor bis zum Werthe $\frac{1}{4}$ und die Mittelwerthe zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{4}$. Dieß beruht zum Theil darin, daß die räumliche Anordnung nach höheren Werthen in der vorstehenden Reihe der Entwicklung nachtheilig oder von geringerem Vortheil ist, wie die Anordnung nach niederen Werthen $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{2}{5}$ $\frac{3}{8}$ (f. allgem. Morphologie, § 12 A).

B. Discussion der Reihe $n + n^2 + n^3 + \dots$

Da zu jedem Blatte, welches in der Hauptknospe entspringt, ein Axillarsproß gehört, so ist die Descendentenreihe der Zweige zu einer gegebenen Hauptknospe:

$$1 + n + n^2 + n^3 + \dots$$

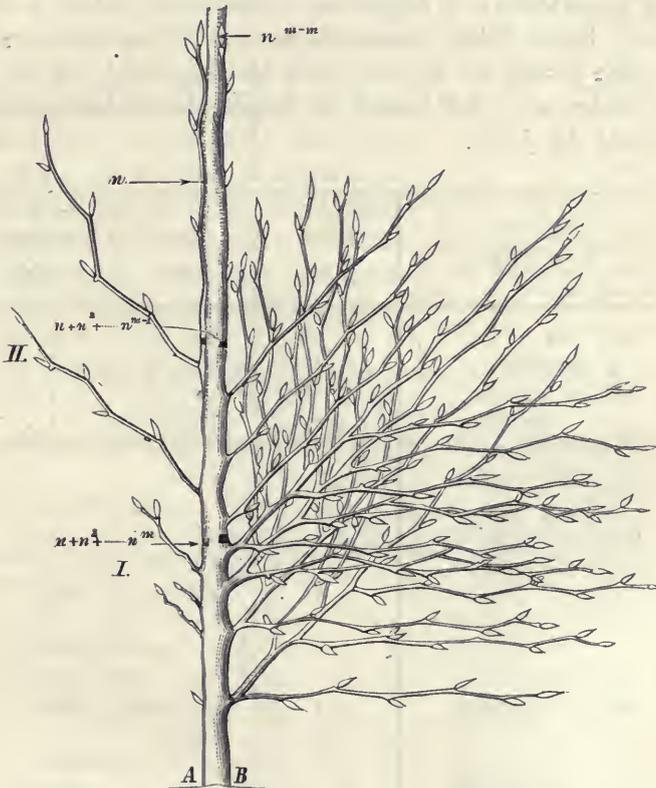


FIG. 379. Schematische Zusammenstellung: A eine Buchenpflanze, drei Jahre nach der Ausfaat, so wie sie in Wirklichkeit gewachsen ist. B dieselbe unter der Voraussetzung, daß bei jedem kommenden Trieb die Intensität im Wachstum und der Knospenanlegung des ersten Jahres herrsche. Nebenan ist in Form von geometrischen Reihen die Zahl der Knospen vermerkt, welche in je den zugehörigen Jahren angelegt werden.

worin n die Anzahl der Blätter bedeutet. Nehmen wir ein fünfjähriges Baumfystem, Fig. 379, so würde dieß, wenn alle mikroskopisch angelegten

Knospen zur vollen Weiterbildung kämen, bestehen von unten nach oben aus der Etage I.:

$$n + n^2 + \dots + n^m,$$

wo m die Anzahl der Jahre bedeutet.

Die II. Etage wäre gleich:

$$n + n^2 + \dots + n^{m-1},$$

und so fort bis zur letzten, welche n^{m-m} , d. h. die Hauptknospe allein enthält.

Je eine höhere Etage, Fig. 379, würde eine Ordnungszahl der Zweige weniger enthalten. Immerhin müßte die Ordnungs- und Knospenzahl rascher anwachsen, wie dieß in Wirklichkeit beobachtet wird, namentlich wenn man für die Laubbäume beachtet, daß auch zu jedem Nebenblatte eine Knospe wenigstens der mikroskopischen Anlage nach gehört. Soviel Jahre, soviel Ordnungen, wenn schon n im Allgemeinen schwankend gedacht werden kann.

Auf der linken Seite unserer Figur 379 ist das System dargestellt, wie es wirklich gewachsen ist, und wenn wir einen Blick auf die Tabelle¹⁾ werfen, so finden wir, daß immer die Anzahl der Ordnungen kleiner ist, wie die Anzahl der Jahre.

1)

Benennung.	Höhe. m	Alter. Jahre.	Ordnungs- Anzahl.
Salix alba	3	10—12	5
« ftipularis	3	10—12	7
Populus angulata	4—5	10—12	4
« tremula	4—5	10—12	5
« dilatata	23	—	9
Betula alba	8	—	9
« «	4	—	7
Corylus heterophylla	3	10—12	7
Alnus glutinosa	3	10—12	4
Fagus	3	10—12	5
«	9	—	7
«	8	—	10
« Hochwald	25	—	9—10
Quercus pyrenaica	3	10—12	5
« cerris	3	10—12	5
«	15	—	8
« Hochwald	25	—	10
Acer campestre	3	10—12	6
« rubrum	3	10—12	5
« negundo	3	10—12	5
Fraxinus excels.	3	10—12	5
«	7	—	7
«	12	—	9

Drei Momente kommen hier in Betracht:

1° der Baum stößt frühzeitig die an Ordnungszahl hochzähligen unteren Astsysteme ab;

2° jeder dominirende Ast ist eine Wiederholung des Schaftes in dieser Hinsicht;

3° die jeweilige Hauptknospe geht bei vielen Bäumen alle Jahre ein und wird durch die oberste Axillarsprosse für je das nächste Jahr abgelöst.

Hiedurch sinkt die Ordnungszahl in dem Haupttrieb um eins, denn denkt man sich die Narbe *a*, Fig. 380, als Zweig verlängert, so wird dieser zur ersten, die jetzt noch ruhende Knospe würde zur zweiten Ordnung ¹⁾).

Bei den Weiden und Pappeln, bei *Carpinus* und *Fagus* kommt nicht allein die dem Laubblatt zugehörige Axillarknospe, sondern auch die Knospe jedes Nebenblattes unter günstigen Umständen zur vollen Entfaltung. Man kann fagen, daß zu einem Laubblatte der Weiden drei Zweigknospen

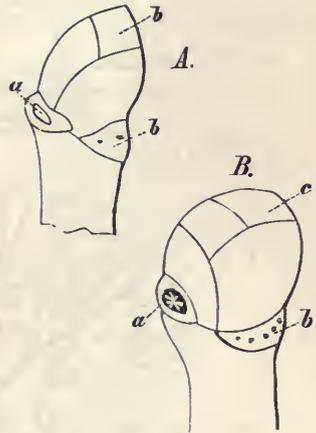


FIG. 380. A. Winterzustand der Zweigspitze bei der Ulme. B. ebenso bei der Linde, *a* die Narbe des im vorhergehenden Sommer abgefallenen Zweigtückes.

¹⁾ N. J. C. MÜLLER, Bot. Untersuchungen. Bd. I. S. 497 ff. Bd. II. S. 55 ff.

Benennung.	Höhe. m	Alter. Jahre.	Ordnungs- Anzahl.
<i>Ulmus effusa</i>	3	10—12	4—5
“ “	8	10—12	9
<i>Tilia europæa</i>	3	10—12	5
“ “	15	—	9
<i>Juglans regia</i>	5	10—12	4
“	4—3	20	7
<i>Aesculus</i>	6	—	7
<i>Larix</i>	10	20—30	5
“	15	—	5
<i>P. Strobilus</i>	10	20—30	6
“ “	—	14	5
“ <i>silvestris</i>	—	14	5
<i>Picea excelsa</i>	6	—	7

mit zweijährigem Umtriebe gehören. Im günstigen Falle verläuft die Evolution der Zweige in der Achsel des Laubblattes in dem folgenden Sinne:

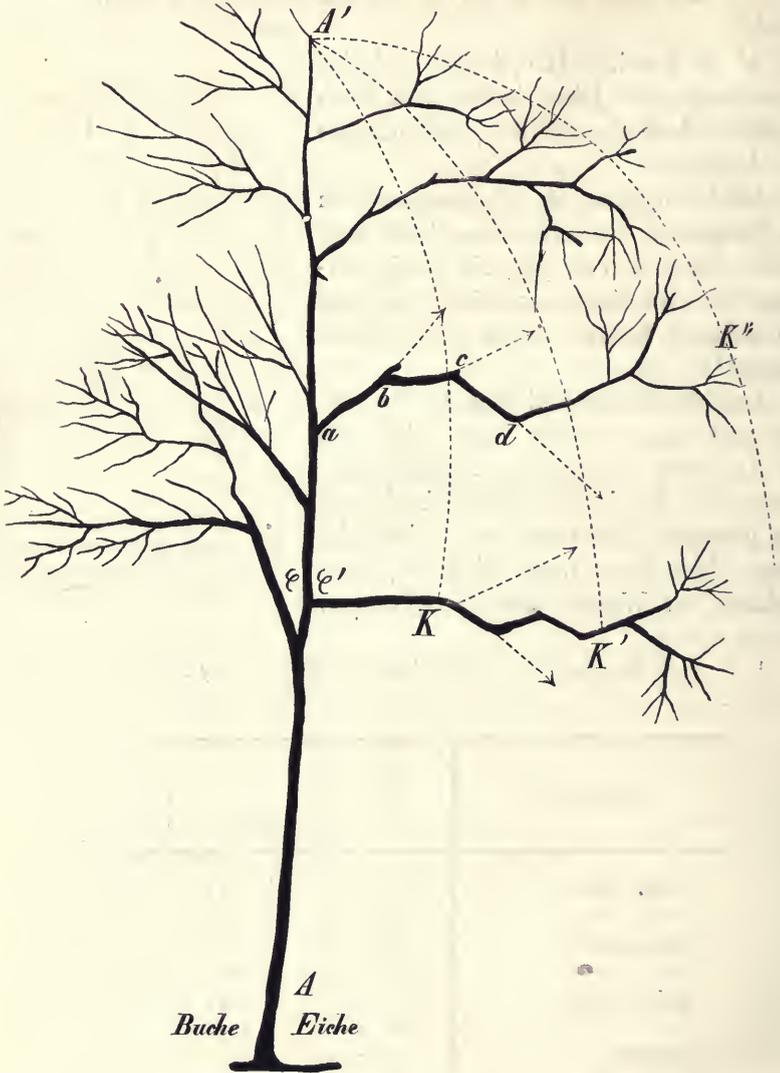


FIG. 381. Silhouette (nach der Natur), Hochwaldform der Buche und Eiche, von einem Haupttrieb (Schaft $A A'$) zusammengestellt. Die Buche unterscheidet sich im Wesen durch den Winkel der dominirenden Aeste von der Eiche, man beachte $\varphi \varphi'$. Der Buche fehlt der Apparat des Abstoßens später hinfalliger Aeste und sie gleicht die Winkel $a b, c b, c d$ (f. d. Eiche) rauh aus. Die Zickzackformen des dominirenden Eichenastes in der Hochwaldform sind entstanden durch das Herausbrechen trockener Zweigsysteme, welche in der Richtung der Pfeile mit zahlreichen Ordnungen, die in der Figur weggelassen wurden, sich so lange behaupteten, bis durch das Hinauschieben der Blattmassen von $A' K$ nach $A' R'$, nach $A' K''$ u. f. f. ihre Existenz unmöglich wurde; zu beachten ist, daß eine Periode $a b, b c$ u. f. f. Jahrzehnte einschließt.

a) erstes Jahr: Entwicklung der medianen Knospe über der Blattnarbe zum beblätterten Zweig und Abstoßen dieses am Ende der Vegetationsperiode durch eine glatt umschriebene Bruchfläche;

b) zweites Jahr: Ruhe (oder Entwicklung der lateralen Nebenblattknospen *a* über der Narbe, wenn der tragende Zweig abgechnitten und in Wasser gestellt wird);

c) gelegentliches Austreiben der beiden Nebenblattknospen im zweiten oder dritten Jahre, wenn der tragende Zweig am Stamm verbleibt.

Wir sehen somit, daß im äußersten Falle, wenn die Axillarknospen alle mit der gleichen Intensität und nach dem Schema sich entfalten, der Baum überfüllt sein würde.

Gerade so wie die Weide verhalten sich aber alle Betulineen, Cupuliferen, alle Carpineen und Ulmaceen und viele andere, insofern zu jedem Infertionsareal eines Blattes drei Knospenanlagen gehören, von welchen zwei im mikroskopisch kleinen Zustande und unter Umständen ohne Anlegung seitlicher Organe Jahre lang verharren, um, durch gelegentlichen Lichtgenuß gereizt, als beblätterte Sprosse über die Stammfläche hervorzutreten.

Bei den decussirten Laubbäumen: *Fraxinus*, *Acer*, *Aesculus*, wo die Nebenblätter fehlen, kommen die mikroskopisch kleinen Axillarsprosse der Niederblätter gelegentlich (und in dem gleichen Sinne, wie oben bei den Nebenblättern der Laubbäume) zur Entfaltung.

Jeder künstliche Eingriff in das Zweigsystem, soweit er einen Wechsel

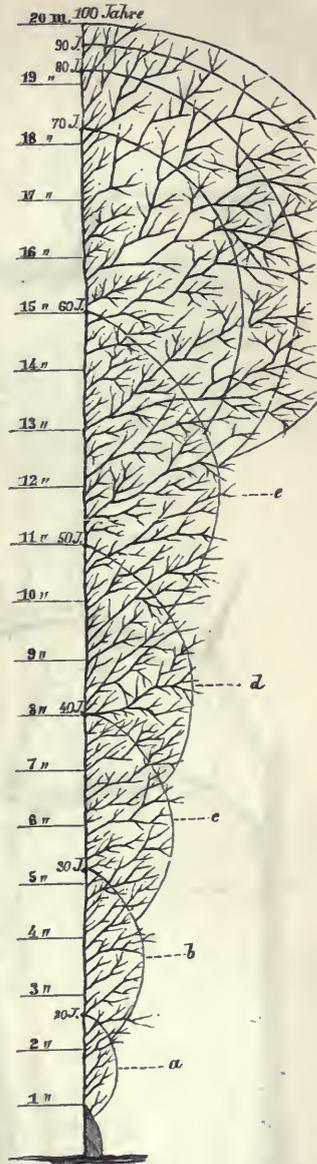


FIG. 382. Schematische Zusammenstellung über die Kronenentfaltung einer 100jährigen Buche. Die Curven *a b c* u. f. f. stellen den Kronenumfang dar, links sind verzeichnet die zugehörigen Längenmaße in Metern und das Alter. Trägt man die Längenintervalle für 10 Jahre hintereinander in eine Abscissenaxe als Function der Zeit, so erhält man eine periodische Function, die Function des Zuwachses. Die Zahl der Zweige ist nach Messungen geschätzt; von *e* ab beginnt die Region der im 100. Jahre noch herrschenden Aeste, alle Aeste in *a b* bis *e* werden abgestoßen.

in der Befruchtung im Gefolge hat, weckt die ruhenden Knospen der Neben- und Niederblätter. Gerade durch den Vorrath, welchen der Baum in den ruhenden Knospen besitzt, vermag er ein Correctivverfahren einzuschlagen

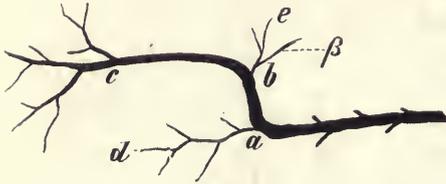


FIG. 383. Buche-Silhouette. Ast der V. Ordnung in einem Hochwaldbaum. Die Ebene *a b c* ist die Infertionsebene der Zweige. Die relative Hauptaxe *a* ist einmal von *a* nach *d*, zum zweitenmal in dem Ast der VI. Ordnung *a b* von *b* nach *e* unterdrückt. Es entsteht ein zweimal geknietter Ast *b c*, welcher sich nach dem Typus der Wickelfloreszenzen aus drei Zweigordnungen zusammensetzt.

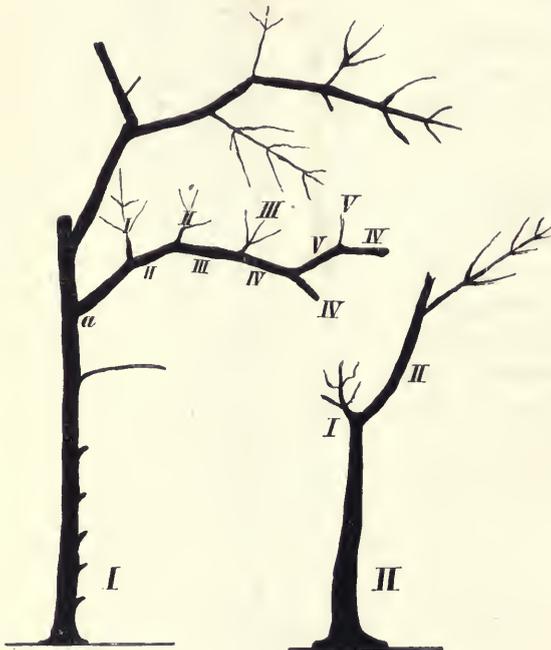


FIG. 384. Silhouette. Parthie aus der Krone 80jähriger Kiefern.

gegen Störungen, welche von außen eindringen. Nennen wir die medianen Knospen der Cupuliferen, Betulineen, Carpineen u. a. m. das Ausfaatmaterial für die Lichtfläche (den Kronenumfang) des Jahres m , so ist die gewöhnliche Vermehrung einer Knospe deselben durch die Jahre $m + 1$, $m + 2$ u. s. f. ausgedrückt durch die geometrische Reihe $1 + n + n^2 + n^3 + \dots$,

wo n die Anzahl der medianen Knospen eines Jahrestriebes bedeutet.

Offenbar wächst aber für das System die Gefahr, einen Theil der Glieder durch äußere Einflüsse zu verlieren, da jedes neue Glied in der vorstehenden geometrischen Reihe um eine gewisse Länge von dem Schaft (resp. der Wurzel) entfernt und hinausgeschoben wird, in Richtungen, welche durch die seitliche Divergenz der consecutiven Blätter und durch den Winkel zwischen zwei consecutiven Zweigordnungen bestimmt sind.

Ein Ueberblick über die Evolution einer 100jährigen Buche, Fig. 382, zeigt, daß vom ersten Jahre die Krone allmählig fortrückend an Umfang gewinnt, während die jeweilig tiefer stehenden durch Verschattung eingehen. Die Curven *a b c d e* stellen die Kronenschalen zum 20., 30., 40., 50., 60.

Lebensjahre dar. Ein Theil der herrschend gewordenen Aeste geht mit hinüber aus einer in die folgende Kronenform. In der Figur sind links noch die zugehörigen Höhen verzeichnet. Die Zahl der verzeichneten Auszweigungen ist aus Abzählungen gefunden.

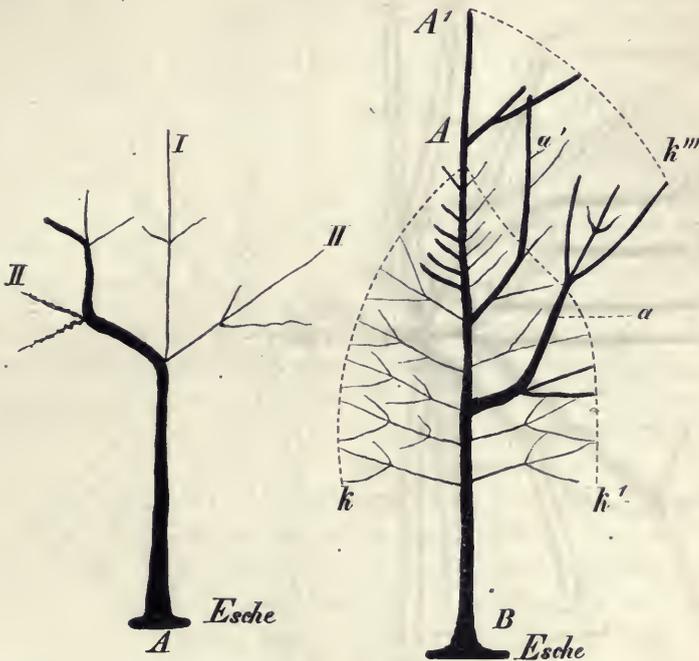


FIG. 385. Silhouette der Esche in zwei Phasen. *A* junger Baum dem morphotischen Gesetz eine Zeit lang folgend, bis die Haupttriebe eingehen und ein Ast der 5. oder 6. Ordnung dominierend wird. In *B* ist *k A k'* die Krone eines älteren Baumes mit dem Typus der jüngeren Phase und es ist zum Ausdruck gebracht, wie für das höhere Alter die Krone aus dominirenden Aesten *a a'* zusammengesetzt wird. Beide Aeste sind aus zwei Ordnungen verschmolzen, wie man aus der Figur erfieht.

Durch das Eingehen des Haupttriebes fließt der dominierende Ast zusammen aus den Zweigstücken mehrerer aufeinander folgender Ordnungen.

An dem gegebenen Zweigsystem der Fig. 383 beobachten wir der Anlage nach den tragenden Ast *a d*, an welchem *a b e* die erste, β die zweite Ordnung bildeten. Da nun *a d*, *b e* später hinfällig, das Stück *a b* mit der ersten Ordnung und mit *c b* verschmilzt, so setzt sich der später herrschend werdende Ast zusammen aus einem Stück der ersten, einem Stück der zweiten *a b* und einem Stück der dritten Ordnung *b c*, bezogen auf den tragenden Ast oder Stamm.

Dies gilt selbst für die mit streng terminaler Sproßfolge wachsenden Coniferen. An dem Stamm, Fig. 384, ist der später zum Schafte werdende Ast *II* ein Zweig der ersten Ordnung gewesen. In dem Stamme *I* würden,

wenn alle Zweige, welche der Anlage nach vorhanden waren, ausgebildet wären, 5—6 Ordnungen vorhanden fein, der Haupttrieb aber ist in dem Winkelstück aI einmal durch den Zweig II abgelöst und zur Seite ge-

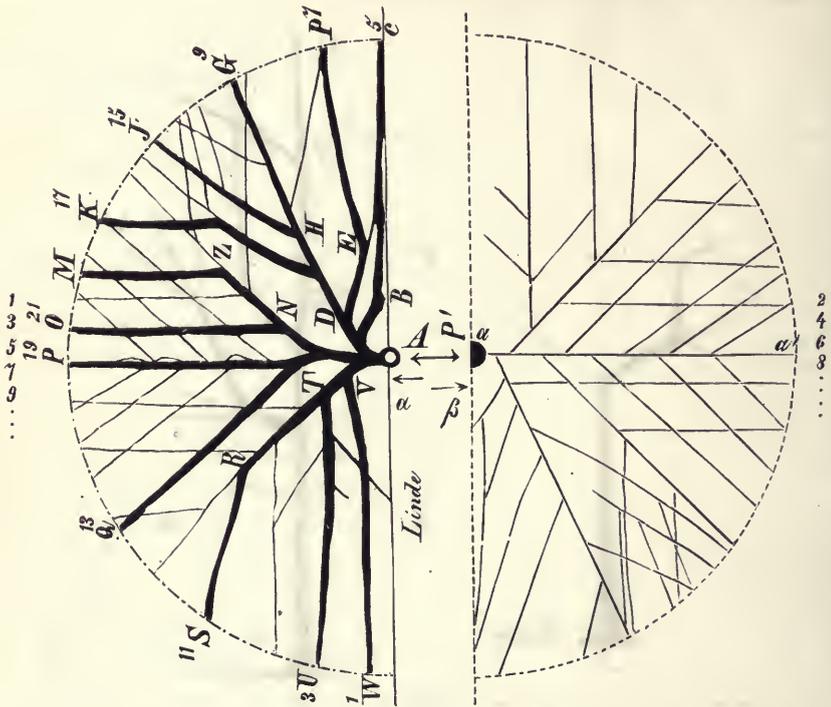


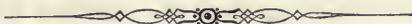
FIG. 386. Schema der Evolution der Linde, nach Beobachtungen in der Natur aufgenommen. Von dem Punkt A aus, welcher den Querschnitt des Schaftes darstellt, divergiren alle Aeste der ersten Ordnung nach $\frac{1}{2}$, so daß A mithin nur in der Richtung AP (19) und AP' bezweigt ist. Die Figur ist ein Querschnitt der Krone, und da sie symmetrisch gedacht werden kann, so genügt die Hälfte der Projection, um die Verhältnisse, welche uns interessieren, zu demonstrieren. Wenn die Zweige der ersten Ordnung zu den dominirenden Aesten erster Ordnung würden, so könnte auf dieser Seite der Krone nur der eine Ast AP (19) stehen und alle übrigen wären zu ihm Auszweigungen höherer Ordnung. In Wirklichkeit aber ist der Schaft nach mehr wie zwei Richtungen von dominirenden Aesten besetzt. Dieß wird nur verständlich dadurch, daß der später dominirende Ast aus mehreren Zweigordnungen der Richtung AP (19) sich zusammensetzt. Denken wir uns die Figur senkrecht zur Ebene der Zeichnung fortgeschoben, so paßirt sie die nach $\frac{1}{2}$ an der Axe A geordneten Zweige erster Ordnung 1, 3, 5, 7 . . . und es entsteht hierbei der Ast AVW , zusammengesetzt aus den Ordnungen 1, 2, 3 bezogen auf A . Rückt die Figur parallel der Axe A höher, so steht der Ast der ersten Ordnung 3, aus ihm geht der dominirende Ast U hervor, zusammengesetzt aus den Ordnungen 1, 2, 3 bezogen auf A . Lassen wir die Zeichnung senkrecht zur Axe weiter wandern, so berührt sie nach und nach die Aeste der ersten Ordnung 5, 7, 9, 11 u. f. f., jeder dieser bildet durch Abstoßen eines Theiles der Zweige höherer Ordnung und Verschmelzung einen dominirenden Ast. 5 z. B. bildet C und ist aus 3, 7 bildet P und dieser ist aus 4 Ordnungen zusammengesetzt, 9 bildet G u. f. f. In unserer Figur müssen selbstredend in den höher stehenden Aesten J z. B. Deckungen vorkommen, so bedeutet $ADHG$ die Projection des 9., $ADHJ$ aber die Projection des 15. Astes.

drängt worden. Dieß hat sich bei III (inclusive) zweimal nach der gleichen Richtung wiederholt, IV aber ist durch einen nach oben abgehenden Zweig V , V wieder durch einen nach unten abgehenden Zweig VI verdrängt. So setzt sich hier endlich der dominirende Ast aus 6 Zweigklassen zusammen.

Bis zur dauernden Herrschaft wiederholen sich diese Vorgänge, so daß der ursprüngliche Haupttrieb bald erhalten bleibt, bald eingeht. In der Fig. 385 *A* ist dargestellt, wie bei der Esche ein Seitenzweig die Rolle des Haupttriebes gelegentlich übernimmt.

Haben wir in dem Vorstehenden einen Ueberblick über die Zahlenverhältnisse in der Gliederung der Baumkrone erhalten, so können wir nun noch die wichtigeren räumlichen Verhältnisse in's Auge fassen, welche aus den früher geschilderten Momenten der Reinigung resultiren.

Da der endlich dominirende Ast aus Stücken mehrerer Zweigrangklassen sich zusammensetzen kann, so kommt es, daß die Krone sich auch dann nach mehr wie zwei Richtungen mit Aesten ausfüllt, wenn die Blatt-, beziehentlich die Zweigstellung ursprünglich nach dem Divergenzwinkel $1/2$ stattgefunden hat. Als Beispiel kann die Buche oder Linde, Fig. 386, gewählt werden (s. Figurenerklärung). Die dominirenden Aeste stunden hier ursprünglich alle nur in zwei Längszeilen am Stamme. Später divergiren sie nach allen möglichen Richtungen. Dieß wird nur möglich, wenn in dem rechts, Fig. 386, verzeichneten Zweigsystem, dessen Hauptaxe *a a'* ein nach $1/2$ gestellter Ast der ersten Ordnung ist, jeweilig die größte Anzahl der Zweiglein eingeht und wenn sich der nach Jahren oder Jahrzehnten endlich dominirende Ast aus Zweigen mehrerer Ordnungen zusammensetzt nach den früher geschilderten Entwicklungsgeschichten. So kann es kommen, daß sich die Krone bei der Ulme, Linde, Buche, Hainbuche u. s. f. nach mehr wie zwei Richtungen mit Aesten ausfüllt. Hiebei wird jedenfalls im Großen und Ganzen dem Lichtbedürfniß in dem Sinne Rechnung getragen, daß die Lücken möglichst gleichmäßig besetzt werden.



Achte Abtheilung: Theorie der Ernährung der Pflanzen.



§ 35. Allgemeine Orientirung.

A. Die Medien.

Als allgemeinen Gesichtspunkt der hier einschlägigen Phänomene beachten wir, daß alles Leben der höheren Organismen von der Pflanze ausfließt, insofern die Elemente, welche die Organismen zusammensetzen,

aus den Medien Erde, Wasser, Luft in das Reich des Lebens durch die Pflanze nach dem Thiere gelangen. Beachten wir die Continuität der Rassen¹⁾, so spielen diese Proceſſe eine Hauptrolle:

1^o vorhandenes Bildungsmaterial wird an den Ort der Neubildung geleitet, eventuell im chemischen Sinne dabei verändert (Osmose und Filtration spielen hier eine Rolle);

2^o aus den Elementen oder Verbindungen der umgebenden Medien wird das plastische Material gebildet (Assimilation);

3^o bei diesem Umsatz ernährt sich eine Generation zum kleineren Theil der Zeit in der vorhergehenden, z. B. alle höheren Pflanzen;

4^o viele Gewächse sind auf selbständig wachsende Nährpflanzen angewiesen, welche sie besiedeln und durch welche die assimilirten Körper für den Parasiten geliefert werden (ächte Parasiten, Pilze, wenige Algen, Flechten und einige Familien der Phanerogamen).

Andere sind mindestens angepaßt an eine Unterlage, welche reich ist an organischen Bestandtheilen, wie sie Thier- und Pflanzenleichen entstammen, Saprophytae. Dahin gehören die Mycelien vieler Erde bewohnenden Pilze, z. B. die Agaricineen und zahlreiche Sphaeriaceen, welche abgestorbene Pflanzen-(Baum-)Theile bewohnen.

a) Ernährung der Amöben.

Bei fast allen Wasser bewohnenden Amöben beobachtet man, daß sie feste Körperchen, welche in dem Wasser vertheilt sind, aufnehmen, während der strömenden oder gleitenden Bewegung ihres Plasmakörpers. Auch lebende, bezogen auf die Amöbe hochentwickelte Thiere und Pflanzen werden gelegentlich von der Plasmamasse geradezu verschluckt, wenn ihre Masse überwiegt, oder überzogen, wenn der befallene Organismus seinerseits ein größeres Volum besitzt (s. die *Vampyrella vorax*, Fig. 16, S. 16).

In den Plasmodien des *Aethalium* kommt ein peptisches Enzym vor²⁾, auf dessen Gegenwart es beruht, daß die Plasmodien, Amöben und die Protoplasmamassen der vegetativen Zellen überhaupt verdauen, feste Niederschlagskörper und sonst in Wasser, Säuren, Alcalien u. f. f. schwer lösliche Körper verhältnißmäßig rasch verflüssigen und in ihrem flüssigen Leibe reforciren, vertheilen oder assimiliren.

Peptische, faure Secrete werden auch von den höheren Pflanzen ausgeschieden. Diese besitzen die Eigenschaft, thierisches Eiweiß, Fibrin der Muskelfaser u. f. f. zu lösen.

¹⁾ Die Thatſache, daß alle Generationen unter sich eine unendlich lange Kette in die Vergangenheit bilden.

²⁾ Ueber das Vorkommen eines peptischen Enzyms im Plasmodium von *Aethalium septicum*. Unterf. aus dem physiolog. Institut in Heidelberg. 1878.

Die Aufnahme von Diatomeen und anderen niederen Algen, Palmella-
ceen, Volvocineen durch nackte Protoplasmamassen geschieht auch so, daß
letztere über den Körper der ersteren hinüberfließen, bis die aufzunehmende
Masse allseitig eingeschlossen ist.

Die Figur 16 demonstirt diesen Vorgang, die Diatomee *d* dringt
durch die hyaline Randschicht und nimmt einen Theil dieser mit in die
von körnigem Plasma erfüllte Kugel, wo sie einige Zeit eingeschlossen
bleibt. Sie wird während ihres Aufenthaltes in der hyalinen Plasmanasse
getödtet.

Die nach der Verdauung übrigbleibenden Reste werden ausgestoßen.
Bei den rascher fließend-kriechenden Amöben (Fig. 9 bis 15, oben S. 12 ff.)
treten diese Reste an dem hinteren Ende aus. Sie bleiben an einem ge-
gebenen Punkte der Bahn liegen, während die Amöbe in Bewegung ist.

Analog diesen Vorgängen finden sich in der Zelle der höheren Pflanze
Vorgänge der vorübergehenden Umschließung von festen oder geformten
zähflüssigen Körperchen, z. B. Stärke, Crystalle, Chlorophyllkörper, welche
gelegentlich im Plasma resorbirt und an anderem Orte wieder fest geformt
niedergeschlagen werden.

Verdauung eigener und fremdartiger fester Körper.

Bei der *Dionæa muscipula* werden die Leichen der gefangenen Fliegen
zum Theil durch ein Secret, welches dem Blatte entstammt, verdaut und
von der Pflanze resorbirt. Experimentell hat man gefunden, daß auch
Fleischfasern von demselben Secret gelöst und aufgenommen werden können.

Diese Erscheinung, in der neueren Zeit mehrfach besprochen, hat,
da man den Ausdruck «fleischfressende Pflanzen»¹⁾ unpassenderweise an-
wandte, einerseits die voreilige Vorstellung wachgerufen, so hoch gegliederte
Pflanzen, wie diese Droseraceen sie darstellen, seien mit jenem Klappenapparat
der Blätter an die Fleisch- oder Insectennahrung adaptirt, andererseits sollte
die Resorption thierischer Masse durch Pflanzenblätter eine auffällige und
neue Erscheinung sein. Weder in dem einen noch in dem andern Sinne
bietet dieser Vorgang ein wesentlich neues Interesse außer dem der Curiosität.

Der Ernährungsvorgang kann an so hoch organisirten Pflanzen nicht
als eine Anpassung angesehen werden, da die Pflanze selbst an die Boden-,
Luft- und Lichternahrung in complicirterer und vollkommener Weise an-
gepaßt ist.

¹⁾ PFEFFER, Ueber fleischfressende Pflanzen u. s. f. Sep.-Abdr. der Landwirthsch.
Jahrbücher. 1877. — M. REESS u. H. WILL, Einige Bemerkungen über fleischfressende
Pflanzen. 713. Bot. Ztg. 75. — Dr. DRUDE, Die insectenfressenden Pflanzen. Sep.-Abdr.
aus: SCHENK, Handbuch der Botanik.

Die Resorption ist in mechanischem (chemischem) Sinne nicht neu, da eine große Anzahl solcher Resorptionsvorgänge in der Pflanze selbst herrschen muß, um ihre eigene nicht parasitäre Ernährung möglich zu machen. Die eigenen Zellhäute und alle geformten organischen Niederschläge werden im Innern der Pflanze hier und da aufgelöst und an andern

Orten resorbirt oder wieder zum Aufbau ausgefchieden. Es sind dieß Vorgänge, über welche in dem weiteren Verlaufe dieser Abhandlung zu berichten ist.

Bei den höheren «fleischfressenden Pflanzen» wirkt das Secret ähnlich wie saure Pepsinlösung. Es wandelt die unlöslichen Eiweißkörper in lösliche um. Diese Resorption vollzieht sich an Thier-, namentlich Insectenleichen, in besonderen Apparaten, welche zum Fange der Insecten geeignet (nicht angepaßt) sind, dahin gehören: Nepenthes, Drosera, Dionæa, Droserophyllum.

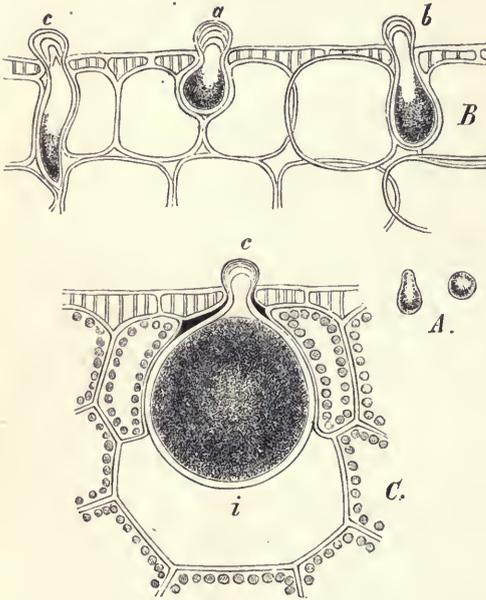


FIG. 387. Chlorochytrium Lemnae. A Zoospore von zwei Seiten gesehen. B keimende Zoosporen, welche zwischen zwei Membranlamellen der Epidermis eindringen a, die Keimschläuche von b und c tiefer bis zu dem Interzellularraum eingedrungen. C ein ausgewachsenes Chlorochytrium im Interzellularraum i, der Sporenknopf ragt in c über das Niveau der Epidermis. (F. COHN, Biologie, Beiträge II. Heft, Ueber parasitische Algen.)

b) Algen des Süßwassers. Meeresalgen¹⁾.

Die große Mehrzahl dieser Pflanzen ernährt sich selbständig, d. h. sie vermögen die Elemente und die binären und ternären

Verbindungen der Medien Wasser, Salze (Kohlenäure), Sauerstoff so umzusetzen, wie es die Landpflanze thut. Der Algenstamm mit allen seinen Descendenten ist daher physiologisch wohl charakterisirt von dem Pilzstamm, welcher nach der heutigen Naturanschauung ein späterer Zweig des Algenstammes ist (s. allgem. Morphologie).

Nach den neueren Untersuchungen COHN's giebt es indeß eine Alge, welche parasitirt. Das Chlorochytrium Lemnae befüllt mit seinen Zoosporen, Fig. 387 A, die Epidermis der Lemna, Fig. 387 B.

¹⁾ COHN, Beiträge. Heft 2. S. 87. Ueber parasit. Algen. — A. FAMINTZIN, Die Wirkung des Lichtes auf Algen und einige andere ihnen nahe verwandte Organismen. S. I. PRINGSH. Jahrbuch. Bd. VI.

c) Pilze. Flechten.

Die Pilze bewohnen entweder Pflanzen- und Thierleichen oder die lebenden Körper dieser oder sie vegetiren in und auf einer Unterlage, welche reich ist an den nächsten Zeretzungsproducten todtter Organismen. Sie führen somit diese noch einmal in das Reich der Lebewesen zurück, ehe sie dem Zerfall in Aschenbestandtheile, Kohlenäure und Ammonsalzen vollständig erliegen.

Die genetisch nahe stehenden Flechten bewohnen nicht allein die abgestorbene Rinde der Bäume, sie vermögen die nackten Urgesteine, selbst Metallflächen zu besiedeln.

Die Uredineen, Chytridiaceen, Ustilagineen, Pyrenomyceten, Fig. 388, 389, und viele andere tödten oder führen die befallenen Pflanzen mehr oder weniger verderblichen Krankheiten entgegen. Die Ernährung der Parasiten ist der Tod der Nährpflanze oder des befallenen Organes dieser.

Die Keimschläuche des Parasiten dringen durch die Membranen der Nährpflanze oder durch die Spaltöffnung, Fig. 390 *b*. Sie wachsen in den Intercellularräumen, Fig. 391, und senden gelegentlich die Myceliumfäden durch die Membran, indem sie diese durchbohren.

Befondere Deformirung der befallenen Pflanzentheile tritt ein an den Nährpflanzen der Ustilagineen, Uredineen, Chytridiaceen.

Bei allen diesen parasitären Ernährungsvorgängen ist die Masse des Parasiten im Zeitpunkt seines Eindringens verschwindend klein. Der Ort des ersten Angriffes ist mikroskopisch klein, die Verbreitung der vegetativen Theile in dem befallenen Organ aber meist sehr rasch und erstreckt sich über weite Räume des befallenen Pflanzenkörpers.

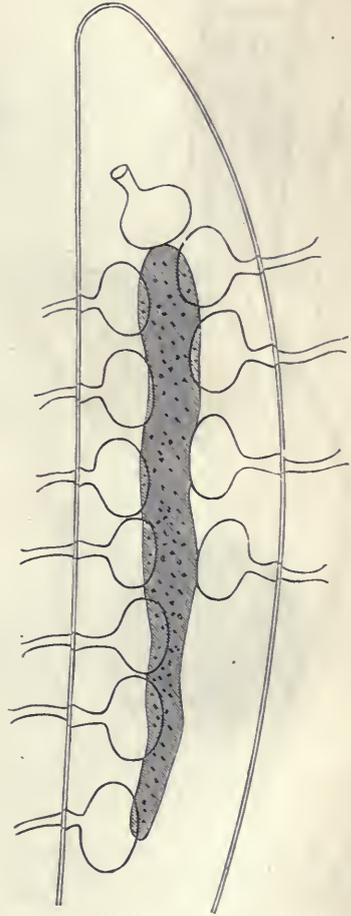


FIG. 388. Absterbendes Exemplar von *Closterium Lunula*, auf dessen zu einem braunen Strang contrahirtem Inhalte 12 Exemplare von *Chytridium endogenum* sitzen, welche die Zellhaut durchbohren und als Röhrchen über dieselbe hervorragen; sie sind sämmtlich entleert.

B. Abriss der Entwicklungs- und Ernährungserscheinungen.

Sucht man zunächst in den aufeinanderfolgenden Pflanzenfamilien die Verbindungspunkte einer Generation mit der andern und die durch die Propagation von der ersten nach der zweiten abgestoßenen Massen, so erhält man:

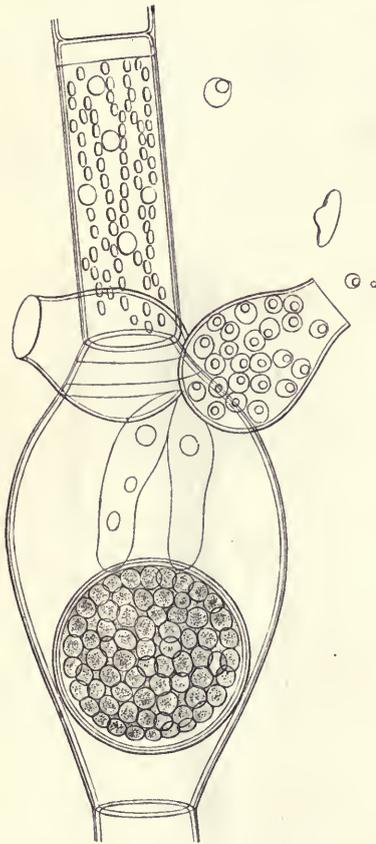


FIG. 389. Ein Faden von *Conserva bombycina*, welcher 2 Exemplare des *Chytridium lagenula* trägt. (M. BRAUN 1856, Ueber *Chytridium* etc. Aus den Abh. der königl. Acad. zu Berlin 1855.)

Die nächste Entwicklung des ernährten Theiles auf die Form der Nährpflanzen ändernd zurückwirkt. Das Heranwachsen der Moosfrucht und der embryonalen Pflanze der höheren Cryptogamen übt einen Reiz auf die tragende Generation aus, welcher sich in einem gesteigerten Wachsthum an der bestimmten Stelle äußert.

Bei den Moosen verwächst der Kapselfuß von *Anthoceros* mit der Axe der tragenden Generation.

1° die Vermehrungszellen sind unbewegliche oder bewegliche Sporen von minimaler Masse, sie werden in ungeheurer Anzahl gebildet. Die Ernährung derselben ist bezogen auf den Ascendenten selbständig: Algen oder parasitäre Pilze;

2° die Spore ist größer, bis zu Hirsenkorngröße, ihre Keimung nach der Ausfaat erfolgt zunächst durch Consum eines in ihr von der ersten Generation mitgegebenen Reservoirs assimilierter Körper, Oel, Amylum, Protoplasma. Im weiteren Verlauf wird die Sporengeneration selbständig aus dem Wasser, dem Boden und der Atmosphäre ernährt.

a) Ernährung der Moosfeta und Frucht.

Die nächste Generation in dem ganzen Verwandtschaftskreise der Moose steht mit der vorhergehenden in organischem Verbande, häufig aber ohne directe Verwachsung. Die Moosfeta und Kapfel werden aus der beblätterten Pflanze ernährt. Sie parasitieren in dieser, oder besser gesagt, sie leben mit dieser zusammen, nicht ohne daß die gestaltliche Entwicklung des ernährten Theiles auf die Form der Nährpflanzen

b) Ernährung der beblätterten Pflanze der Gefäßcryptogamen.

Auch in diesem nächst höheren Kreise wird die beblätterte Pflanze von derjenigen Generation eine Zeit lang ernährt, welche direct aus der Spore entspringt.

Die primäre Axe wächst zu beschränktem Volum und steht in Verband ohne Verwachsung mit dem Prothallium oder dem Endosperm der Spore. Ihre Ernährung ist im Beginne der Entwicklung als eine parasitäre aufzufassen. Das Prothallium aber zeigt sich nicht im Wachstum wesentlich dadurch beeinträchtigt, auch nicht dadurch zu wesentlich stärkerem Wachstum gereizt.

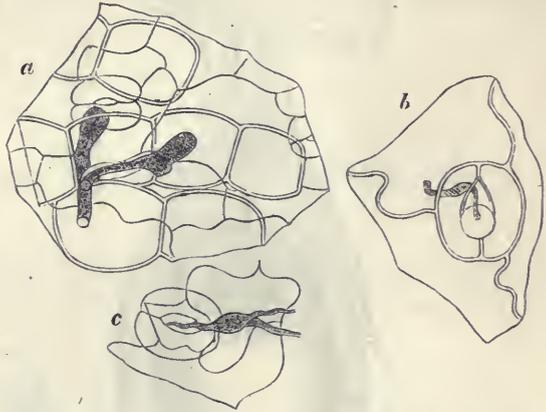


FIG. 390. Keimende Zoosporen von *Cistopus*, welche in die Spaltöffnungen der Nährpflanze ihre Keimschläuche treiben.

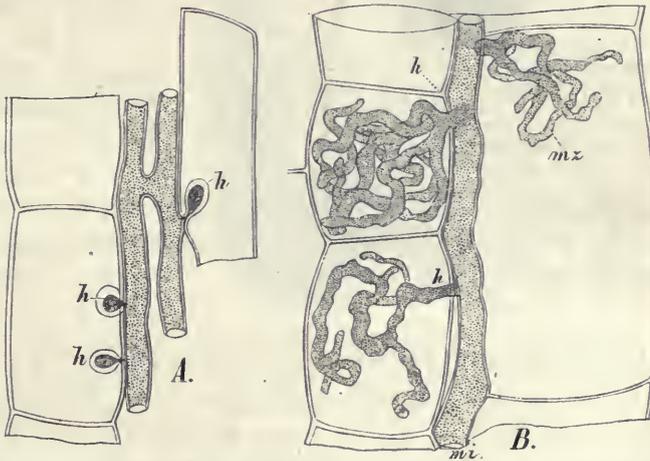


FIG. 391. *Peronospora calotheca* (auf *Asperula odorata*). *mi* Intercellulares, *mz* Mycelium in der Zelle, von den die Wand durchbohrenden Haustorien *h* entsprossend.

c) Ernährung der entstehenden Keimpflanze im Embryofack.

Bei allen höheren Pflanzen wird die Keimpflanze mit seltenen Ausnahmen (Orchideen, Orobanchen) in der gegebenen Generation soweit ernährt, daß sie nach der Ausfaat die an ihr angelegten Organe Stamm,

Wurzel, Keimblätter, nur zu strecken braucht, um selbständig in dem ihr zugewiesenen Medium, Wasser oder Erde, zu leben. Die Ernährung des Keimlings in dem Eißproß der Mutterpflanze geschieht durch Resorption

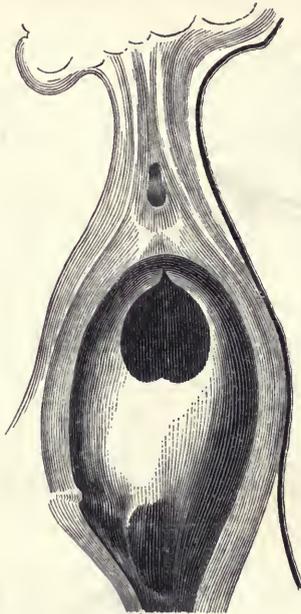


FIG. 392. Schematischer Längsdurchschnitt durch den Fruchtknoten von Dipfacus. Der innere sphäroidale Körper ist das ovulum, welches zum großen Theil durch den Embryosack nach der Befruchtung resorbirt ward. Der zweitheilige Körper ist die Keimanlage, diese füllt als reifer Keimling, nachdem sie die Nährkörper des Embryosackes resorbirt hat, den größten Theil des Hohlraumes aus.

dort angehäufter Nährkörper, Zucker, Amylum, Oel, sowie ganzer Gewebe des Endosperms, Perisperms, eines Theiles der Integumente selbst, Fig. 392 (siehe allgem. Morphologie d. Blütenpflanzen).

Schon während der geschlechtlichen Vorgänge aber kommt die Resorption der angehäuften Nährkörper, sowie die Verdrängung und Auflösung ganzer Gewebeparthien zur Geltung, so z. B.:

1^o bei dem Empfang des Pollens und dessen Wanderung durch den Griffel;

2^o bei dem Wachstum des Embryosackes, welcher einen großen Theil des Eikerns resorbirt;

3^o bei der Bildung des Endosperms während der Anlegung des Keimlings und der Resorption desselben.

d) Ernährung der Phanerogamenparasiten¹⁾.

Der Parasit verwächst bei der Keimung mit der Nährpflanze durch eine Saugwurzel, Haustorium, welche in den Rindenkörper des Wirthes eindringt, Fig. 393. Von nun ab entwickelt sich der Parasit wie ein organisch mit der Nährpflanze verwachsener Theil. Die Laubblätter ergrünen und übernehmen die Function der Assimilation der atmosphärischen Gase bei den Loranthaceen und einigen Santalaceen, oder sie sinken zu unbedeutenden

¹⁾ HERMANN, Graf zu SOLMS-LAUBACH, Ueber den Bau und die Entwicklung der Ernährungsorgane parasitischer Phanerogamen. PRINGSH. Jahrb.

Rudimenten von bleicher Farbe herab, bei den Orobanchen, einigen Orchideen, Monotropen u. f. f.

Die Corallorhiza affilirt selbständig ohne Chlorophyllapparat. Auch zeigten die Untersuchungen von REINKE, daß die Corallorhiza ohne Chlorophyll führende Zellen die in dem Waldboden vorkommenden Nährkörper affilirt.

§ 36. Ernährung der grünen Landpflanze.

Eine jede Pflanze, welche Wurzel und Stämme deutlich differenzirt, mit den ersteren den Boden und die Gesteinstrümmer desselben besiedelt und durchwächst, mit dem beblätterten Stamme von den atmosphärischen Gasen umfluthet wird, erfährt fortwährende Störungen in ihrem molecularen Gleichgewicht:

1° sie athmet, d. h. sie nimmt Sauerstoff auf und scheidet Kohlenäure ab;

2° sie verdunstet an den der Atmosphäre ausgesetzten Theilen stärker wie an den Wurzeln, welche in dem mehr oder weniger wasser-gefüllten Boden wachsen;

3° sie wächst und bringt dabei vorher gelöste oder allgemein flüssige Körper in eine stabile feste Lage und Form.

Durch alle diese Vorgänge wird an der Grenzschicht in der Atmosphäre, sowie an dem Boden der soeben herrschende Gleichgewichtszustand der Lösung von außen eingedrungener Theile gestört in der Weise, daß zwei Ströme in die Pflanze gerichtet sind: ein Gasstrom in die Blatttheile, ein Wasserstrom in die Wurzeltheile.

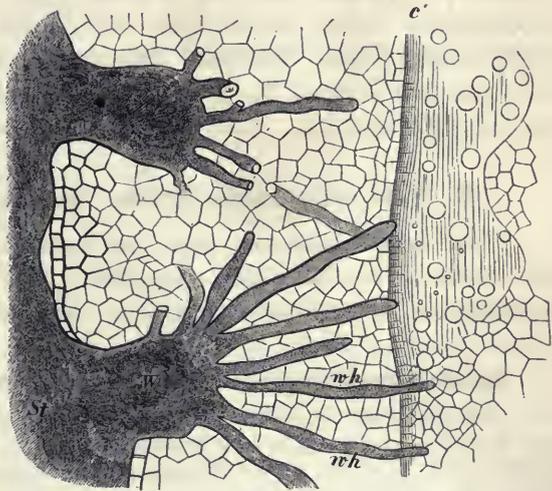


FIG. 393. Schematischer Querschnitt durch eine Partie des Stammes der Balsamine, welche von einer Cuscuta umschlungen ist. *St W* Stamm und Wurzel der letzteren. *wh* die Wurzelhaare der Saugwurzel (Hanftorium), welche weit in das Gewebe der Rinde bis zur cambialen Zone *e'* des Balsaminstammes vorgedrungen sind.

A. Die verbrennlichen Kohlenstoffverbindungen beschreiben einen Kreisprocess.

Da an dem Erdball die organischen Bewegungen in einer äußeren außerordentlich dünnen peripheren Schale sich abspielen, da hiebei eine Capitalisation verbrennlicher Kohlenstoffverbindungen durch abgestorbene Pflanzenleiber seit unendlich großen Zeiträumen (bezogen auf die historischen) stattgefunden haben muß, so ist zunächst von Interesse zu fragen, wo kommen diese Kohlenstoffcapitalien in heutiger Zeit hin? Abgesehen von jenen Kohleablagerungen in Stein- und Braunkohleflözen, in den Torfmooren, wo größere Mengen verbrennlicher Pflanzensubstanz sich erhalten haben, weil der Luftzutritt auf ein Minimum beschränkt war, vollzieht sich in unserer Epoche neben dem Proceß der Desoxydation der atmosphärischen Kohlenfäure stetig der umgekehrte Vorgang der Verbrennung. Die Leichen von Thieren und Pflanzen zerfallen in letzter Linie so, daß Ammon, Schwefel, phosphorsaure Salze, Kohlenfäure und Wasser entstehen. Die endliche Masse verbrennlicher Substanz, insbesondere des Kohlenstoffes, schwankt somit aus dem Zustand der Kohlenfäure nach dem Zustand der chemischen Spannung hin und her. Die Pflanze unterhält diesen Proceß.

B. Zwei eintretende Ströme: Gas- und Wasserstrom¹⁾.

Von außen betrachtet liegt die Sache so: die Landpflanze ist stetig zwei Strömen von Moleculen ausgesetzt. Aus der Atmosphäre treten die Gastheilchen, Kohlenfäure, Sauerstoff, Stickstoff, kleine Mengen gasiger

1) Physikalische Einleitung in die Lehre von der Aufnahme der Nährkörper.

Die Aufnahme der Körper, welche die Pflanze zu ihrem Aufbau nöthig hat, ist eine Molecularerscheinung, d. h. es werden nur kleinste Theilchen, die der directen Beobachtung sich entziehen, an der Oberfläche der Nährorgane aufgenommen. Die Pflanze nimmt feste, gelöste, flüssige und gasförmige Körper in sich auf. Wird diese Aufnahme als eine Bewegungerscheinung betrachtet, so ist klar, daß man erst die Gesetze der Bewegung der drei Aggregate kennen lernen muß, ehe man die Gesetze der Stoffaufnahme am Pflanzenkörper übersehen kann.

Bis jetzt stehen der Forschung in diesem Gebiete noch sehr große Schwierigkeiten entgegen, die, abgesehen von dem Mangel experimenteller Daten, hauptsächlich darin bestehen, daß die Theorie der Molecularbewegung flüssiger und fester Körper bis jetzt noch zu wenig gefördert ist.

Nach dem Princip von der Erhaltung der Kraft stellen wir uns die kleinsten Theilchen der Materie, so lange sie überhaupt noch Temperatur besitzen, in steter Bewegung vor.

Es mögen dieß geradlinig fortschreitende, um eine Gleichgewichtslage oscillirende oder auch rotirende sein, die Form dieser Bewegung ist, dafern sie nicht durch die Erklärung eines Phänomens direct gefordert wird, hier gleichgiltig; die Bewegungsgröße

Ammoniakverbindungen ein, und die im Regen und Thau gelösten Gase. Aus dem Boden tritt ein Wasserstrom mit allen gelösten festen Körpern und Gasen ein. Beide Ströme gelangen zu dem Heerd der Neubildung, dem Protoplasma, nur in Folge eines osmotischen, beziehungsweise eines Absorptionsprocesses.

Nun ist selbstredend, daß für den großen und ganzen Umsatz die sämmtlichen Elemente und Verbindungen, welche in dem Luftoccean vorkommen, auch in den Meteorwässern des Bodens in concentrirterem Zustande durch die Wurzel der Pflanze zugeführt werden.

Die Gase haben somit zwei Wege von mechanisch verschiedener Bedeutung: einen Gasstrom und einen Wasserstrom. Anders liegt dieß für feste Körper des Bodens. Nur die Meerfalzverbindungen werden allenfalls in dem zerstäubten Meerwasser über so weite Strecken weggeführt, daß ihre Zufuhr durch die Atmosphäre für die Landpflanze irgend in Betracht kommen kann.

C. Allgemeine Theorie der Gas- und Wasserströme in der Pflanze.

(Theorie der Gasbewegung siehe oben § 25, S. 205 ff.).

Was zunächst die Gase angeht, so wird sich ein Gleichgewichtszustand der Lösung herstellen, welcher stetig gestört wird:

1° durch den Temperaturwechsel und die Druck-, resp. Barometerchwankung der Atmosphäre;

2° dadurch, daß die Gase zersetzt werden.

Dieß gilt für die Kohlensäure, welche in der Pflanze reducirt wird, und den Sauerstoff, welcher, mit den verbrennlichen Verbindungen zusammentretend, wieder Kohlensäure bildet.

Der Wasserstrom erleidet in der Pflanze stetig eine Concentration; da die festen Aschenbestandtheile in der Pflanze zurückbleiben, das Wasser aber stetig verdunstet, so findet in der Pflanze eine Anhäufung der unverbrennlichen Substanzen statt, welche zunächst ganz unabhängig von einem Bedarf derselben für die Ernährung gedacht werden muß.

Bei der Aufnahme von festen Körpern gilt als ganz allgemeines Ge-

aber, dieß wird beachtet werden müssen, hängt von der Temperatur ab. Je höher diese, desto größer ist die Amplitude der Bewegung der Moleculé.

Fest nennen wir nun den Körper, wenn die Anziehung der benachbarten Moleculé die lebendige Kraft der gegebenen überwindet. (Dostoió, Theorie der Lösungen.)

Tropfbar flüchtig ist ein Aggregat von Moleculen, deren lebendige Kraft die Anziehung der zunächst benachbarten zu überwinden vermag, jedoch kleiner ist als die Anziehung der Gesamtheit aller andern in Bezug auf daselbe.

Gasförmig ist ein Aggregat von Moleculen, von welchen die lebendige Kraft jedes einzelnen größer ist als die Anziehung der Gesamtheit auf daselbe.

fetz, daß sie nur in Form einer Lösung vor sich gehen kann. Eine solche Lösung wird ein directer Niederschlag der Atmosphäre oder des Bodengewässers sein, oder es ist das Fluß- und Meerwasser für Algen und sonstige Wasserbewohner.

Die Aufnahme der festen Körper ist wie diejenige der Gase im Allgemeinen eine Diffusionsercheinung¹⁾. Sie ist abhängig vomit:

1° von dem Moleculargewicht und der Molecularbewegung des festen Körpers;

1) Verhalten von Flüssigkeiten zu Flüssigkeit.

Löst sich eine Flüssigkeit vollständig in der andern, so nennen wir die Lösung eine Mischung, gegenüber der Lösung von Gasen, welche eine Absorption genannt wird.

Schichten wir eine Flüssigkeit A über eine zweite B . Dieselben sind vollkommen mischbar, wenn die Anziehung der Theilchen AA zu einander kleiner ist, als die von B zu A . Es nähern sich dann die ungleichartigen Molecule, d. h. die Mischung tritt bis in die kleinsten Theile, also vollständig ein.

Ist dagegen die Anziehung von B nicht im Stand, die Anziehung zwischen A und dem nächsten Theilchen A' zu überwinden, so wäre eine Mischung der beiden nicht denkbar, wenn nicht noch die steten Bewegungen der Molecule A und B mit in Betracht kämen. Durch diese kann es offenbar kommen, daß ein Molecule A bei der Entfernung von einem gleichartigen sich nach B bewegt. A bewegt sich allerdings mit abnehmender Geschwindigkeit nach einem Ort zwischen $B B'$ in der Grenzschicht und würde, wenn es sich nicht einem der Molecule $B' B''$ näherte, sicher wieder von einem der $A^0 A'$... angezogen; die lebendige Kraft + der Anziehung von B zu A kann nun hinreichen, A jenseits der Grenzschicht, also in die Orte der $B^0 B'$..., zu bringen. Die so unter den $B' B''$... befindlichen Molecule von A werden sich gleichmäßig vertheilen, es werden also auch wieder welche an die Grenze kommen und zurück nach dem Ort der A gehen.

Gefättigt ist die Lösung von B mit A , wenn in gleicher Zeit gleichviel Molecule von A in beiden Richtungen durch die Grenzschicht gehen.

Die Löslichkeit muß mit der lebendigen Kraft der Molecularbewegung zunehmen, also mit der Temperatur. Denn da in dem vorausgesetzten Falle, daß die Anziehung der ungleichartigen Molecule für sich kleiner ist, als die Summe der Anziehungen der gleichartigen, die Bewegung der Molecule die gegenseitige Löslichkeit der Flüssigkeiten bedingt, so muß mit der Ursache der lebendigen Kraft auch die Folge, die Löslichkeit, zunehmen. Bei der Lösung fester Körper in Flüssigkeiten ist leicht einzusehen, daß eine Vertheilung der ungleichartigen Molecule nicht möglich ist. Da die Anziehung der festen Molecule A zu $A = aa$ größer als die lebendige Kraft der Bewegung eines Molecules ist, da ferner die Anziehung bb zweier der Molecule der Flüssigkeit bb kleiner als aa , so folgt, daß die Bedingung für die Lösung nach allen Verhältnissen nicht möglich ist, denn wenn auch $ab > aa$ und $ab > bb$, so ist doch die lebendige Kraft von A kleiner, als die Anziehung zweier A zu A . Die lebendige Kraft der A wird daher nicht die Anziehung von ab überwinden, da sie nicht einmal die Anziehung aa überwindet.

Die Lösung hat einen Sättigungspunkt, d. h. es tritt ein Zeitpunkt ein, wo gerade so viele A von andern A zu B übertreten, als umgekehrt solche von B sich trennen, um zu A zu gehen. Im Allgemeinen wird der Sättigungspunkt um so später eintreten, je höher die Temperatur, also die lebendige Kraft der Molecularbewegung ist.

2^o von der spezifischen Natur der Membran und deren Anziehungskräften zu der Flüssigkeit;

3^o vor allen Dingen in der lebenden Pflanze von dem Verhalten des durch die Membran diffundirten festen Körpers in der Pflanze.

Verfchwindet derselbe aus der Lösung in der Pflanze in der Weise, daß er zu einem festen unlöslichen Niederschlage wird, so wird im Allgemeinen eine größere Menge unter sonst gleichen Umständen diffundiren, wie wenn er in der Lösung längere Zeit verbleibt.

D. Was ist ein absolutes Nährmittel¹⁾?

Ein jedes Element, welches zunächst in dem verbrennlichen Theil des Pflanzenkörpers ein constituirender Bestandtheil ist, muß als ein absolutes Nährmittel angesehen werden. Solche sind: Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor als constituirende Bestandtheile des Eiweißes, ohne welche das Protoplasma nicht entstehen kann.

Die Alkalimetalle Kalium, Natrium, Lithium sind absolut wesentlich für die Stärkebildung und für die Bildung der Holzsubstanz.

Von den schweren Metallen ist das Eisen, in seltenen Fällen sind Mangan und Zink absolute Nährmittel.

Die Kieselsäure ist ein steter Bestandtheil aller Epidermen und peripheren Gewebe.

¹⁾ SACHS in HOFMEISTER's Handbuch der physiolog. Bot. IV. S. 141 ff. — Prof. WILH. WICKE, Ueber das Vorkommen und die physiolog. Verwendung der Kieselerde im Pflanzenreiche. 76. Bot. Ztg. 62.

Bei Lösungen nach allen Verhältnissen wird

$$ab > aa > bb,$$

wird Wärme frei, z. B.

Wasser mit Alkohol,

« « SO_4H ,

« « Essigsäure,

« « Glycerin,

weil die Anziehung vergrößert wird.

Bei der Lösung von Salzen und im Allgemeinen festen Körpern, dafern nicht eine chemische Verbindung mit parallel läuft, wird

$$aa > ab$$

$$bb > ab,$$

es wird Wärme gebunden (verbraucht, weil die Anziehungen aa bb zum Theil überwunden, verkleinert werden).

Allgemein: Wärmebildung tritt ein, wenn Moleculverbindungen durch überwiegende oder bei überwiegender Anziehung der vorher getrennten Molecule zu Stande kommen.

Wärme wird consumirt, wenn die Bewegungszustände der Molecule eine unumgängliche Bedingung für deren Vermischung sind.

Die Jod-, Brom-, Chlor-, Fluorverbindungen finden sich in den Meeres- und Salinenpflanzen. Fluor, ein Bestandtheil der thierischen Knochen, muß ebenso den Weg durch die Pflanze nehmen, wie alle übrigen Nährkörper des Thieres.

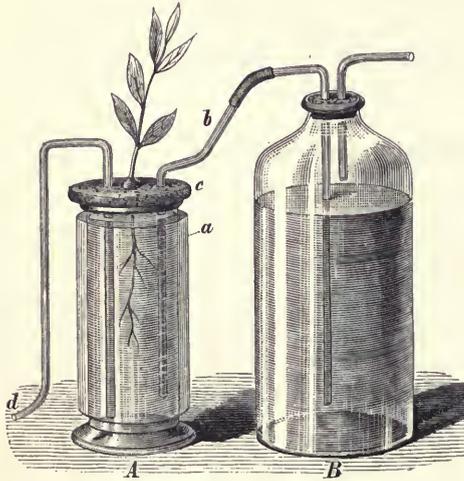


FIG. 394. Apparat für Wasserculturen. *A* der Behälter, in welchem die Pflanze wächst, *c* eine durchlöchernte Korkplatte, *b* das Zuleitungs-, *d* das Ableitungsrohr für die Nährstofflösung aus dem Reservoir *B*, *a* eine undurchsichtige Hülle von Pappe.

und zweijährige) Culturpflanzen diesem Versuche ausgesetzt werden. Indes ist es gelungen, Eichen, und Buchen bis zum dritten Lebensjahre zu züchten¹⁾. Der Versuch erlaubt offenbar ein Differenzverfahren. Will man wissen, ob ein gegebener Körper ein absoluter Nährkörper für eine gegebene Culturpflanze ist, so braucht man ihn der Pflanze während der Cultur nur vorzuenthalten. Bildet sie alle Organe bis zum Samen normal aus, so ist der fragliche Körper zur Ernährung nicht absolut nothwendig.

1. Kohlenstoff. Stickstoff. Wasserstoff. Sauerstoff.

Der wichtigste und allgemein verbreitetste Körper, die Cellulose $C_6 H_{10} O_5$, enthält 44 % Kohlenstoff, die in der Natur vorkommenden Holzkörper oder verholzten Gewebe enthalten einen höheren Procentatz, wie durch die Molecularformel verlangt wird:

Eichenholz . . .	52 %
Ebenholz . . .	53 »
Nußschale . . .	54 »

¹⁾ Als Nährstofflösung lassen sich anwenden in 1000 cc Wasser 1 g KSO_4 , 0,5 $NaCl$, 1 g $CaSO_4$, 0,5 $MgSO_4$, 1 g Ca_3PO_8 , Spuren von Eisenchlorid, das Kalksalz in verdünnter Salpetersäure gelöst, der Ueberchuß der Säure mit kohlenstoffreichem Kali gesättigt.

Jedenfalls hat man es in den Pflanzengeweben mit Gemengen verschiedener, der Cellulose ähnlicher Kohlehydrate zu thun.

BOUSSINGAULT¹⁾ war der Erste, der die Frage, ob der atmosphärische Stickstoff von der Pflanze direct assimiliriert wird, experimentell entschied. Er züchtete Puffbohnen in einem Apparat, in welchem den Keimpflanzen jegliche Stickstoffverbindung vorenthalten war, Fig. 395. In einer Wanne ist die Glocke *A* durch verdünnte Schwefelsäure abgesperrt, der Same keimt in ausgeglühtem Sande. Durch eine Röhrenleitung *t'* wird CO_2 , durch eine zweite *t* die Nährstofflösung zugeführt. Alle Theile des Apparates sind frei von organischer Substanz. Die Pflanze keimte, kam in drei Monaten zur Samenreife. Alle Theile aber stellten gewissermaßen nur eine Miniaturausgabe der normalen Pflanze dar. Die Analyse ergab keinen Stickstoffzuwachs, dagegen einen kleinen Verlust, bezogen auf das Stickstoffreservoir im Ausfaatobject.

Das Stickstoffcapital, welches in Form von Ammoniakverbindungen oder Salpeteräuresalzen im Boden der von Pflanzen bewohnten Flächen befindlich ist, erfährt nur sehr langsam bei electricischen Entladungen in der Atmosphäre einen Zuwachs. Durch den sehr wichtigen Nachweis von BOUSSINGAULT, daß der atmosphärische Stickstoff nicht direct assimiliriert wird, kommen wir zu der Vorstellung, daß die Pflanze vorzugsweise jene geringen Mengen von in der Atmosphäre gebildeten Ammon- und Salpeteräuresalzen

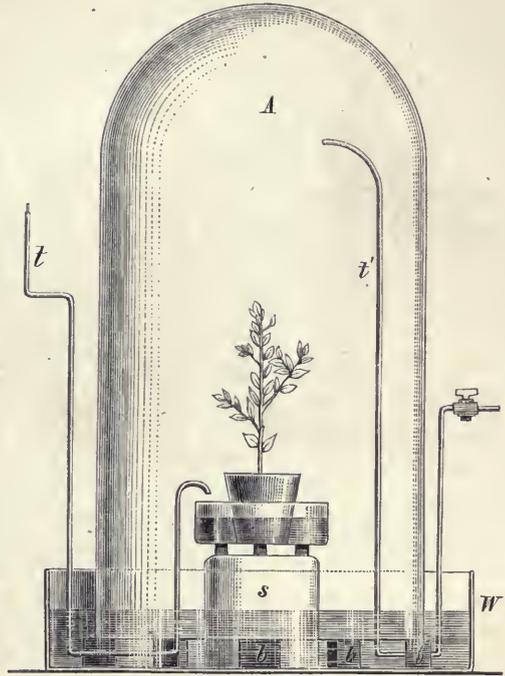


FIG. 395. Die Glasglocke *A* ruht auf drei Porzellan- oder Glasfüßen in der Wanne *W*, auf dem umgestülpten Glas *s* steht eine zweite Schale, in welcher der Blumentopf steht. Dieselbe wird durch die Röhre *t* mit Wasser gefüllt, so daß der Blumentopf dieses imbibiren kann. Die Wanne *W* wird bis zur Sperrung der Glocke *A* mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. Das zweite Rohr führt Kohlenäure, welche auf das sorgfältigste gereinigt ist, in die Glocke *A*. BOUSSINGAULT's Nachweis, daß das *N* der Atmosphäre nicht assimiliriert wird. *Ann. d. sc. nat. Bot. IV. Sér.*, I. Bd. 1854. *Recherches sur la végétation etc.*

¹⁾ BOUSSINGAULT, *Recherches sur la végét.* *Ann. d. sc. nat. IV. S.* 241. — AD. MAYER, Ueber die Aufnahme von Ammoniak durch oberirdische Pflanzentheile. *Ab. landw. Verfuhs-Stat.* — NOBBE. Bd. XVII. 1874.

anfammelt, die Meteorwässer gewissermaßen condensirt. Hieraus ergibt sich für den Stickstoffvorrath die hohe Bedeutung der Waldstreu und der Düngemittel¹⁾.

Wir nennen einen Nährstoff einen solchen, welcher zur Bildung von organischer assimilirter Substanz erforderlich ist. Ohne die Gegenwart eines solchen kann die Pflanze gleichwohl alle Phasen der Blatt-, Blüthe-, Fruchtbildung, aber nur mit geminderter Intensität, ausführen, wie der Versuch BOUSSINGAULT's beweiset.

Freilich ist hier ein Vorrath bereits assimilirter Stickstoffverbindungen, welcher nur vertheilt zu werden braucht, um die Entstehung einer Miniaturausgabe der Stammpflanze möglich zu machen.

Bei den Wasserculturen stellt sich in dieser Hinsicht eine Schwierigkeit ein. Sie besteht darin, daß wir nicht wissen, ob die gezüchtete Pflanze überhaupt normal in der chemischen Constitution aller ihrer Verbindungen ist. Dieß gilt insbesondere für den Vorrath der assimilirten Stickstoffverbindungen in den Samen und Früchten. Indes ist es zweifellos, daß diese Art Versuche anzustellen hinreicht, um zu entscheiden, ob die großen Mengen der Afchenbestandtheile, welche in der Freilandcultur in die Pflanze gerathen, absolut nothwendig sind, oder ob der Vegetationscyclus auch mit minimalen Mengen derselben Nährmittel möglich ist. Dieser Entscheid wird aber selbstredend nur gelten für die Form in der vorliegenden Race. Anders gestaltet sich diese Sache, wenn man in Betracht zieht, daß die Ernährung in letzter Linie mitbestimmend sein muß für die Bildung der Varietät²⁾.

FAMINTZIN³⁾ kommt von einer Betrachtung über die DARWIN'sche Lehre zu Culturversuchen niederer Pflanzen in Nährstofflösungen und zeigt, daß eine Reihe von Formänderungen durch die Cultur an ein- und vielzelligen Algen hervorgerufen werden können. Er cultivirte Süßwasseralgen zuerst in verdünnter ($1/2$ 0/0 feste Substanz) Lösung und gewöhnte durch allmälige Steigerung dieselben, in 3—5procentiger Lösung (von salpeterfaurem Kalk und Kali, phosphorfaurem Kalk, schwefelaurer Magnesia) zu vegetiren. Im Allgemeinen ertragen die Algen höhere Concentration, wie die Phanerogamen in der Wassercultur. FAMINTZIN zeigt, daß die Lebensweise der Algen durch derartige Culturen verändert wird, derart selbst, daß die Zoosporenbildung von Chlorococcum z. B. sistirt wird, wenn die Con-

1) EBERMAYER, Die Waldstreu. — SCHREEDER, Forstchem. und pflanzenphysiolog. Unterf. Schönfeld, Dresden. Heft I. 1878.

2) Prof. A. FAMINTZIN, Die anorganischen Salze als ausgezeichnetes Hilfsmittel zum Studium der Entwicklungsgeschichte der niederen Pflanzenformen. 781. Bot. Ztg. 71.

3) Prof. A. FAMINTZIN, Die anorganischen Salze als ausgezeichnetes Hilfsmittel zum Studium der Entwicklung niederer chlorophyllhaltiger Organismen. *St.-Petersbourg. Mélanges biologiques*. Bd. VIII. 21. Sept. 2. Oct. 1871.

centration der Lösung gesteigert wird. Statt dessen vermehrt und theilt sich die Zoospore durch ruhende nicht schwärmende Zellen: Wurden diese wiederum in verdünnte Lösung von $\frac{1}{2}$ 0/0 oder in destillirtes Wasser gebracht, so trat die gewöhnliche Bildung und Entleerung der Zoosporen wieder ein. Culturen von Conferva und Protococcus in feuchter Luft bewirkten, daß das Chlorophyll verschwand und daß ein rothes Pigment an dessen Stelle trat. FAMINTZIN zeigt daß, wie KÜTZING früher angegeben, ein genetischer Zusammenhang zwischen den Protococcuszellen und den Conferven besteht, mit dem Unterschiede aber, daß die protococcusartigen Gebilde, welche den Fadenalgen entsprechen, von einander verschiedene Zustände, verschiedene Organismen sind. Die Conferven können in Kugeln, ja selbst Moosprotonemen können in Protococcus ähnliche Kugeln zerfallen. Umgekehrt können wirkliche Protococcuszellen durch Veränderung der Ernährungsbedingungen in vegetative Varietäten, welche weit von der gewöhnlichen Form abweichen, umgewandelt werden.

Es wird für die Descendenzlehre in letzter Linie doch die Frage sich aufwerfen, welches die mechanischen Bedingungen sind für das erste Auftreten der Varietät, beziehentlich der Abweichung von den Ascendenten. DARWIN geht einmal von dem Satze aus: die Organismen variiren, ohne die endliche Urfache der Variation zu untersuchen. Sehr wahrscheinlich wird die Ernährung als endliche Urfache der Formschwankung erfunden werden.

2. Schwefel- und Phosphorverbindungen.

Die Salze dieser Säuren häufen sich zuerst im Blatte, wandern dann, in den Proteinkörpern assimiliert, nach den Orten der Anhäufung, namentlich den Samen und Früchten, den Reserveorganen für assimilierte Nährkörper: Knollen, Zwiebeln, Rhizomen.

In 1000 Theilen der frischen Substanz sind Gewichtstheile:

	Schwefelsäure.	Phosphorsäure.
Junges Gras	0,8	2,2
Weizen	0,4	8,2
Reis in der Schale	0,4	32,6
Eichel	0,2	1,6
Buchel	0,6	5,6
Junges Buchenblatt	0,7	0,8
Altes »	2,1	2,4
Weißtanne { Rinde	0,5	0,7
{ Holz	0,1	0,1

In den Blättern der Buche, deren Aschengehalt genauer untersucht ist, sinkt der Gehalt an Phosphorsäure von 9,93 ‰ in 233,5 ‰ Trockensubstanz (*T*) am 7. Mai, bis 3 ‰ auf 436 ‰ (*T*) am 14. Juli, wo die Blätter jedenfalls ganz entfaltet, auf 1,24 ‰ auf 455 ‰ (*T*) im November. Die Aschenbestandtheile erfahren somit vor dem Blattfall eine Translocation nach dem Stamm.

3. Chlor. Fluor. Brom. Jod.

Diese Körper kommen in verschiedener Menge, Chlor und Fluor spärlich in allen Landpflanzen, Brom und Jod in Salinen- und Meerespflanzen, den Fucaceen (Kelp und Varec) vor. Ob sie absolute Rohnährkörper sind, ist bis jetzt nicht entschieden.

In 1000 Theilen frischer Substanz sind enthalten:

	Chlor.
Eichel	0,8
Buchel	0,1
Junges Buchenblatt	0,7
» Roßkastanienblatt	0,8
Herbst- »	1,2

4. Kalium. Natrium.

Kalifalze können nicht durch Natron und Lithionfalze vertreten werden (NOBBE, Naturforscher 71, S. 247¹⁾).

Kalifalze sind absolut nothwendige Nahrungsmittel für die Bildung der Stärke und somit der Zellhäute.

In 1000 Theilen frischer Substanz sind enthalten:

	Kali.	Natron.
Junges Gras	11,6	0,4
Weizen	5,5	0,6
Ungefälter Reis	12,5	3,1
Buchel	6,2	2,7

¹⁾ Prof. Dr. FR. NOBBE, Dr. J. SCHREDER und R. ERDMANN: Ueber die organische Leistung des Kaliums in der Pflanze. Chemnitz. Eduard Focke. 1871. — J. BÖHM, Nährwerth der Kalkfalze. Sitzgsber. d. Kais. Acad. d. Wissensch. 1875. Bd. 71. — H. LUDW. RISSMÜLLER, Ueber die Stoffwanderung in der Pflanze. Göttingen. Univerf.-Buchhandlung A. Huth. 1873.

	Kali.	Natron.
Erlenfamen	16,6	0,7
Buchenblatt { jung	1,0	0,1
Herbst	3,0	0,3
Roßkastanie { jung	8,3	—
Herbst	5,9	—
Birke { Holz	0,3	0,2
Rinde	0,4	0,6
Weißtanne { Holz	0,4	0,2
Rinde	2,3	0,9

Aus demselben Wasser wurden aufgenommen von Chara verschwindende Mengen von Kali, von der Hottonia aber sehr bedeutende Mengen. Ebenso verhalten sich beide Pflanzen verschieden in Bezug auf die übrigen Nährkörper¹⁾.

Procente der Gesamtafche.

	Kali.	Natron.	Na Cl.	Tez Os.	Ca O.	Phosphor- säure.
Chara	0,49	0,18	0,14	0,04	54,73	0,57
Hottonia	8,34	3,18	8,94	1,82	21,29	3,95

5. Calcium. Magnesium.

Die Alkalimetalle, an Schwefelsäure, Phosphorsäure und Kohlenäure gebunden, sind wesentliche Nährmittel. Sie werden vorzugsweise in der Membran in molecularer Vertheilung eingelagert und zwar vorzugsweise in den Zellen des Innern. In den peripheren Geweben, so namentlich in der Epidermis und den peripheren Baftlagen wiegen die Kieselsäureverbindungen vor. Andererseits zeigen die Rinden einen höheren Gehalt der alkalischen Erdmetalle wie das Holz²⁾.

In 1000 Theilen der frischen Substanz.

	Kalk.	Magnesia.
Fichte { Holz	1,0	0,1
Rinde	14,9	1,1
Weizen	0,6	2,2

¹⁾ HOFMEISTER-SACHS, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. IV. S. 141 ff.

²⁾ f. auch SCHROEDER, Forstchem. und pflanzenphysf. Unterf. Heft I.

	Kalk.	Magnesia.
Erlenfamen	13,6	3,5
Junges Buchenblatt	9,0	1,2
Herbst- »	25,8	3,4
Weißtanne { Holz	1,2	0,1
{ Rinde	19,6	0,8

Die Kalk liebenden Saxifragen bilden an ihren Blättzähnen kleine bis 1 mm große feste, weiße Mineralscrete (Kalkschüppchen), Fig. 396. Durchschneidet man das Blatt, so findet man das Schüppchen in einer Vertiefung am Rande eingefenkt, wenig von demselben entfernt endet das Gefäßbündel, und dicht bei der Schuppe liegt eine spindelförmige, aus sehr dünnwandigem plasmareichem Parenchym bestehende Drüse, *D* Fig. 396, welche sich in der mikroskopischen Wahrnehmung scharf von dem großzelligen Parenchym, *P* Fig. 396, des Blattes abhebt.

Die Asche enthält CaO 0/0.

	Kalkboden.	Nicht Kalkboden.
<i>Brafica olerac.</i>	27,9	13,6
<i>Napus</i>	43,6	19,0
<i>Allium Porrum</i>	22,6	11,4

6. Mangan. Eisen. Zink¹⁾.

Das Eisen wird allgemein als Aschenbestandtheil vorkommen. Es ist zur Chlorophyllbildung ein absolut nothwendiger Nährkörper. Mangan kommt in merklichen Mengen in der Fichtenasche bis 33 0/0, in der Tannenasche bis 13 0/0 (als Manganoxydul in Rechnung gebracht) vor.

In der Varietät der *Viola tricolor*, welche in der Nähe der Galmeigruben vorkommt, findet sich Zink in

ZnO in der Asche.	Gefammtasche.	ZnO .
Stamm von <i>Thlaspi alpestre calaminaria</i>	11 0/0	3,28 0/0
» » <i>Viola calaminaria</i>	10,5 »	0,62 »

beträchtlicher Menge in der Asche. Der Habitus der Pflanze ist, bezogen auf die Stammform, verändert, so daß die Varietät die *Viola calaminaria* genannt wurde.

¹⁾ SCHRÖDER a. a. O. S. 9.

7. Kieselsäure.

Die Kieselsäure befindet sich oft im dreifachen Gewicht aller übrigen festen Bestandtheile in der Epidermis der Stämme und Blätter. Gleichwohl können sonst kieselreiche Pflanzen in der Nährlösung ohne Kieselsäure erzogen werden.

In 1000 Theilen der frischen Substanz sind enthalten Gewichtstheile:

	Kieselsäure.
Junges Gras	2,1
Weizenfroh	28,2
Junges Buchenblatt	6,8
Herbst- »	19,5
Fichtennadel	18,4
Kiefer { Holz	0,1
{ Rinde	3,8

8. Das Aschenskelett (Gesamtasche).

Es giebt keinen ausgewachsenen Pflanzentheil, welcher nicht bei dem Verbrennen ein Skelett von Asche hinterlasse. Auszunehmen sind die ganz jungen Knospenanlagen, die cambiale Zone der Stämme, wo die feuerfesten Verbindungen, in geringerer Menge vorhanden, sich dem Nachweis entziehen. Das durch Einäscherung hergestellte Skelett ist, bezogen auf das ursprüngliche Volum, etwas zusammengefinert, zeigt aber, wenn es an mikroskopischen Durchschnitten zwischen zwei Glasplättchen auf einer Platinschale hergestellt wurde, alle Strukturverhältnisse des unverbrannten Durchchnittes. Die Aschentheilchen müssen somit in den Membranen außerordentlich fein vertheilt sein.

Für die frische Substanz der Pflanzentheile schwankt der Gehalt an Asche zwischen 2,1 pro mille bei dem Holz der Weißtanne und 69 pro mille bei den kieselharten Samen der Gramineen.

Für den Wald liegen uns einige werthvolle Notizen SCHREEDER'S vor. Pro Hectar und Jahr gehen aus dem Boden in die Masse des Baumes über in Kilogrammen:

	Kiefer.	Fichte.	Weißtanne.	Buche.
K_2O	6,93	8,90	17,89	17,03
CaO	26,55	71,18	83,76	104,17
MgO	6,24	8,93	11,08	17,97
PO_3H_3	4,80	8,04	11,71	14,68
SO_4H	1,91	2,78	4,35	3,95
SiO_2	7,06	54,64	9,29	64,10.

Im Allgemeinen sinkt der Aschengehalt von den älteren Stammtheilen nach dem Zweigsystem hin. Das Eisen macht hiervon eine Ausnahme; ebenso die Phosphorsäure. Dieß läßt sich aus den Vorgängen der Translocation der assimilirten Nährkörper, welche vom Blatte abströmen, dort aber auch zuerst gehäuft werden, erklären.

Gesammtasche in 1000 Theilen der frischen Substanz.

H o l z.

Eiche	5,0
Birke	2,6
Tanne	2,4
Fichte	2,1.

B l ä t t e r.

Junges Buchenblatt	20
Herbst- »	57,4
Kiefernadel	6,3
Fichte	26,3.

R i n d e.

Eiche	2,0
Birke	11,0
Tanne	28,1
Fichte	23,9.

S a m e n.

Weizen	17,3
Reis	69,0
Eichel	12
Buchel	27
Erlenfame	44.

Aschenzuwachs vom jüngeren nach dem älteren Zustande.

Nach den Untersuchungen RISSMÜLLER's¹⁾ ist die Veränderung des Aschengehaltes von dem jüngeren Zustand der Blätter nach dem ausgewachsenen eine sehr merkliche.

¹⁾ RISSMÜLLER, Ueber die Stoffwanderung in der Pflanze. Inaug.-Diss. d. Univ. Göttingen. 1873. Univ.-Buchhandlung. E. A. Huth.

1000 Theile frischer Blätter vom 7. Mai enthalten	KaO	CaO	PO ₃ H ₃	SiO ₂	Gesammtafche.	Trockensubstanz.
« 11. Juni	11,31	12,9	8,43	10,0	52	402
« 14. Juli	20,81	11,8	3,9	16,2	74	436
« 11. Aug.	1,19	3,9	0,6	2,3	90	507
« 11. Sept.	1,1	3,26	0,45	1,9	89	474
« 27. Oct.	0,87	3,5	0,36	2,5	108	403
« 18. Nov.	0,74	4,2	0,14	2,96	114	455

Hieraus geht hervor, daß die Aschenbestandtheile im Blatt gehäuft und dann wieder gemindert werden. Wie weit dieß darin begründet ist, daß die Assimilationsproducte, deren Verflüssigung ohnedieß nothwendig behufs der Rückleitung ist, den gefundenen Aschengehalt beanspruchen, kann freilich nicht ganz genau festgestellt werden. Indes muß man beachten, daß KaO , CaO , SiO_2 jedenfalls zum großen Theil in der Membran eingelagert waren. Die Analysen ergeben dann in der That, daß die Asche zurückgeleitet, an andern Orten stärker angehäuft wird.

E. Ort der osmotischen Aufnahme.

1. Wurzelauszweigungen.

Die Wurzel grenzt an die größeren oder kleineren Erdtrümmer und nimmt mit einem in der Nähe der Spitze belegenden Cylinderabschnitt das Bodenwasser auf. Die Spitze selbst ist bei der großen Mehrzahl der höheren Pflanzen mit einer rindenähnlichen Haube, der Wurzelmütze, bedeckt, daher zu dem osmotischen Verkehr weniger adaptirt, wie jener rückwärts belegene Cylindertheil. An den beobachteten Keimwurzeln entspringen die Haare des Epiblema, welche die auffaugende Fläche der Wurzel um das Vielfache vergrößern, in Distanzen von 5—20 mm von der Spitze. Mit Ausnahme der Lycopodiaceen geschieht alle Verzweigung des Wurzelkörpers durch adventive Sprossung weit hinter der wachsenden Spitze.

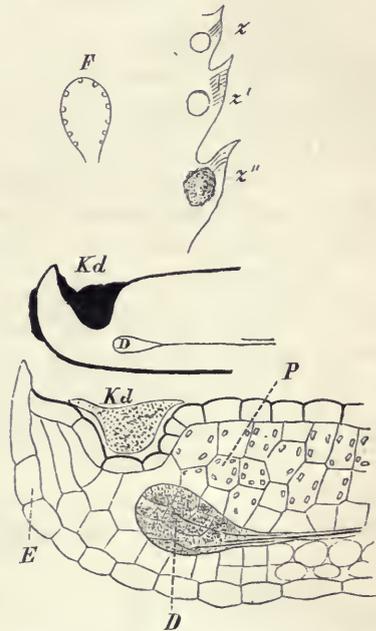


FIG. 396. Saxyfraga Aizoon. In z z' z'' die Zähne des Blattes mit den Kalkschuppen. F Blatt in natürl. Größe. In der mit Kd D bezeichneten Figur ein schematischer Durchschnitt, unten ein mikroskopischer Durchschnitt durch das Blatt, da wo eine Drüse D sitzt. E Epidermis, P Parenchym des Blattes. Kd der Kalk.

2. Wurzelhaare.

Die Haare an jener bestimmten Stelle des Wurzelcyinders sind einzellige cylindrische Ausstülpungen des Epibema; reich an Protoplasma, bis zu 5 mm lang, wachsen sie in den Boden zwischen die zum Theil mikroskopisch kleinen Gesteinstrümmel, welche ihnen fest ankleben. Die Wand des Haares besitzt während des Wachstums eine geringe Placticität, welche dieß zuläßt (f. SACHS, Exp.-Physiol. S. 184 ff.).

3. Secretion einer Säure aus der Wurzel.

Zertrümmert man eine Wurzelspitze der Erbfeckenimlinge, der Culturpflanzen Mais u. f. f., indem man sie auf Lackmuspapier legt und mit einem Hammer Schlag zerquetscht, so entsteht ein rother Fleck, welcher auch nach dem Trocknen des Reagenzpapieres nicht verschwindet.

In einer feuchten Kammer werden die Keimlinge so ausgestreut, daß die Spitzen auf blauem Lackmuspapier auftreffen und parallel der Papierfläche wachsen. Die Wurzel färbt in ihrer Bahn auf dem Papier daselbe roth.

Kleine Sämereien wie die Kresse, Roggen u. f. f. eignen sich zu Ausfaaten zwischen zwei Kalkspathkrytallen. Man legt die eben angekeimten Samen auf die Fläche des einen Kalkspathes und belastet sie mit einem zweiten Krytall, oder mit einem flachen Stein. Die platte Fläche des Krytalles wird durch die Wurzelspitzen corrodirt, und auf dem ganzen Verlauf dieser erscheint eine Gravirung, welche die Bahn der Wurzelspitze bezeichnet.

F. Diffusionsversuche¹⁾.

Die Geschwindigkeit der Bewegung löslicher Körper ist abhängig von ihrer chemischen Natur. Läßt man Lösungen von derselben Concentration ein Mal durch eine geschlossene Membran, das andere Mal durch Wasser diffundiren, so erhält man Beziehungen für die verschiedenen Salze, welche unzweideutig auf die verschiedene Moleculargeschwindigkeit hinweisen.

Zu dem Behufe wurden gleiche Mengen der Haloidsalze in den Grund einer 25 cm hohen Wasserfchicht von gleichem Querschnitt so sorgfältig verfenkt, daß eine Mischung nicht möglich war. Nach gleicher Zeit für alle wurde das gleiche Quantum des Wassers von der Oberfläche mit der Bürette herausgenommen und auf Chlor titrirt. Parallel laufend mit diesem

¹⁾ PFEFFER, Osmotische Versuche. Leipzig 1877. W. Engelmann. — N. J. C. MÜLLER, Bot. Unterf. Bd. I. S. 168. — Dr. TH. HARTIG, Ueber das endosmotische Verhalten der Holzfafer. 285. Bot. Ztg. 63. — A. HEINTZ, Vorlesungsversuch z. Osmose. Ber. d. deutsch. chem. Gesellschaft zu Berlin. VII. Jahrg. XI. Heft. — TH. HARTIG, Ueber die endosmot. Eigenfch. der Pflanzenhäute. Bot. Ztg. 1853.

Verfuch wurden dieselben Salze in geeigneten Osmometern der Membrandiffusion ausgesetzt und die Mengen der Verbindungen für beide Vorgänge verglichen:

Durch die geschlossene Membran.	Durch eine 25 cm hohe Wasserfäule.
Chlorammon 0,494 grm	0,0024 grm
Chlorkalium 0,0254 »	0,0022 »
Chlornatrium 0,02457 »	0,0025 »
Chlormagnesium 0,5076 »	0,03525 »
Chlorbarium 0,0032 »	0,00190 »

Für gleiche Zeiten erhalten wir für Chlorammonium 0,494, für Chlorbarium aber nur 0,0032 durch die Membran, und 0,0024 für erstere, 0,0019 für letztere Verbindung durch die Wasserschicht diffundirt.

1. Die Osmose.

Die Osmose ist der specielle Fall der Diffusion oder Mischung zweier chemisch verschiedener Flüssigkeiten, deren Grenzflächen durch eine Membran getrennt sind. Der Membran entspricht bei der Pflanze draußen die freie Oberfläche der an das Bodenwasser grenzenden Zellen oder die gemeinschaftliche Membran je zweier Zellen im Innern der Pflanzengewebe.

Wir haben es jetzt mit einem neuen Moment zu thun: mit der Anziehung der Membran zu den Flüssigkeitstheilchen.

Die Phänomene werden mechanisch complicirter, da jetzt zu untersuchen sind:

- aa* die Anziehung zweier Theile der Flüssigkeit *A*.
- bb* „ „ „ „ „ „ *B*.
- ac* „ „ der Theilchen von *A* zur Membran *C*.
- bc* „ „ „ „ „ „ *B* „ „ *C*.

Endlich aber wächst die Verwickelung der hier einschlägigen Erscheinungen dadurch, daß gelöste feste Körper in *A* und *B* in Betracht kommen. Dieser Fall wird gerade bei den Diffusionsvorgängen in Organismen eine große Rolle spielen. Es kommen jetzt, wenn wir mit $\alpha\alpha'$ die specifischen Anziehungen der gelösten Körper bezeichnen, noch zu jenen hinzu:

$$\alpha a \cdot \alpha b \cdot \alpha c$$

$$\alpha' a \cdot \alpha' b \cdot \alpha' c.$$

In der Pflanze ist *A* und *B* gleich, insofern das Lösungsmittel in der großen Mehrzahl der Fälle das Wasser ist.

Nur der Protoplasmakörper wird selbst wieder, bezogen auf alle übrigen Löfungen, eine ähnliche Rolle spielen, wie die Membran gegenüber wässerigen Löfungen. Er besitzt zwar keine feste Membran, sondern nur die Grenzschicht einer zähflüssigen Masse, doch zeigt derselbe ähnliche Widerstände, wie die jugendliche Membran selbst, welche als Niederschlag aus ihm entstanden ist.

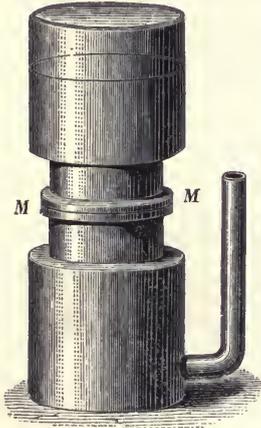


FIG. 397. Receptiv für osmotische Versuche. In der Berührungsfäche *M M* der beiden Gasgefäße wird die Membran befestigt. Die Ränder der Gläser können durch Klammern aneinandergepreßt werden.

Die osmotischen Vorgänge hängen von der Temperatur ab; sie verlaufen in den direct bestrahlten Theilen rascher, wie in den von der Erde bedeckten des Wurzelkörpers.

Die osmotischen Vorgänge sind vom Drucke abhängig. Derselbe schwankt in der Pflanze in Folge der Bestrahlung und dadurch, daß in einem gegebenen Gewebe die osmotisch wirksamen Körper soeben entstehen und nach dem Orte geringsten Widerstandes geleitet werden. So ergießt sich von den äußersten Enden des Baumkörpers über das ganze System ein Strom des festen Bildungsmateriales im Zeitraum von der Blattentfaltung bis zum Blattfall, während gleichzeitig ein entgegengesetzt gerichteter Wasserstrom von der Wurzel aus herrscht.

2. Natürliche Membranen.

Pflanzenhäute ohne mit dem Mikroskop sichtbare Lücken, namentlich solche, welche aus nur wenig Zellplatten bestehen, sind außerordentlich schwierig zu beschaffen. Man hat nun zwar in der gelösten Celluloseverbindung der Schießbaumwolle (Collodium) ein Mittel, größere Platten herzustellen. Die Collodiumhaut aber ist dichter, wie jede pflanzliche. Die Diffusionsvorgänge verlaufen außerordentlich langsam. Auch ist mit Bestimmtheit anzunehmen, daß sie in Hinsicht der molecularen Poren weit von den pflanzlichen Membranen abweicht.

Zu osmotischen Versuchen hat man außer der thierischen Blase Pergamentpapier, chinesisches oder Reispapier (dünne Lamellen aus dem Marke der *Aralia papyrifera*) angewandt.

Bei dem Versuch in Fig. 398 ist die U-Röhre mit Gummi oder Zuckerlöfung gefüllt, taucht in *a* in Wasser, ist dort mit einfacher Lage von Reispapier gesperrt, in *b* aber mit drei oder vier Lamellen derselben Membran. Der hydrostatische Druck steigt, in *b* aber filtrirt reines oder fast reines Wasser.

Es ist mir gelungen, in einer Epidermis (von *Hæmanthus puniceus*) eine Membran in größeren bis zu zwei Zoll großen Lappen lückenlos abzuziehen, welche näherungsweise den Forderungen für das Experiment entspricht.

Herr Studiosus von KNIERIM¹⁾, welcher in meinem Privatlaboratorium in Heidelberg in dem Jahre 1872 beschäftigt war, verwandte dieses Material, um einige Versuche über die Durchgangsgeschwindigkeit verschiedener Substanzen durch eine solche Membran zu bestimmen. Ich habe diese Versuche wiederholt und die von KNIERIM erhaltenen Resultate im Allgemeinen bestätigt gefunden. Der angewandte Osmometer bestand aus zwei Opodoc-Gläsern, deren Rand abgeschliffen war (Fig. 397). Das untere Gefäß enthält die Lösung, das obere reines Wasser. Beide sind durch die Membran getrennt. Zur bequemeren Handhabung ist an dem unteren Gefäß ein offenes Rohr angeschmolzen, in welches man die Luftblasen, welche sich beim Befestigen der Membran nicht vermeiden lassen, dadurch eintreten läßt, daß man das Gefäß neigt. An dem oberen Gefäß ist der Boden abgesprengt.



FIG. 398. Vorrichtung für osmotische Versuche. Die Mündung des U-Rohres in *a* in Wasser und die Mündung in *b* mit Blase oder Pergamentpapier verbunden, nachdem das Rohr mit Zucker- oder Gummilösung gefüllt ist.

Die Durchgangsmengen verhalten sich für daselbe Zeitintervall von zweimal 24 Stunden wie die Zahlen in der beifolgenden Tabelle¹⁾.

Ich wiederholte diese Versuche mit drei gleichen Osmometern von der obigen Gestalt und verglich zuerst

Kalifalpeter,
Zucker,
Gummi

¹⁾ Gewichtsmengen verschiedener Substanzen, welche durch dieselbe Pflanzenmembran hindurchgehen (bei gleichem Druck, Temperatur und gleichem Volum Wasser in einer der Zellen):

Gummi.	Moleculargewicht.	Durchgangsmenge.
$C_{12}H_{10}O_{10}$ Gummi	162	0
$C_{12}H_{11}O_{11}$ Zucker	171	0,3
$CaNO_6$ salpeterf. Kalk	82	1,56
$Na_3PO_5 \cdot 2,4HO$ phosphorf. Natron	165	2,3
KCl Chlorkalium	74	2,5
NH_4Cl Chlorammon	53	13,978

Mit höherem Moleculargewicht sinkt die Menge der diffundirten Substanz.

für gleiche Membranflächen, gleiche Zeit und gleiche Temperatur. Von den genannten Substanzen wurden je 0,5 grm in etwa 13 Theilen Wasser in die unteren Zellen gegeben und viermal 24 Stunden gewartet. Nach dieser Frist, während welcher die Mitteltemperaturen etwa 23° C. waren, wurden die Lösungen im Wasserbad eingedampft und der Rückstand durch Wägung bestimmt; es ergaben sich für $KaNO_3$ 0,015 grm, für Zucker und Gummi nicht wägbare verschwindend kleine Spuren.

In einem zweiten Versuch wurde Zucker mit Chlornatrium verglichen. Die Durchgangsmengen verhielten sich nach viermal 24 Stunden wie

Chlornatrium	0,014,
Zucker	0,003.

Es blieben mir noch zwei Membranen, um ein Eisensalz mit einem Magnesiumsalz zu vergleichen. Es wurden 0,5 grm Eisenvitriol und 0,5 grm Bittersalz angewandt. Nach viermal 24 Stunden ergab sich für Bittersalz eine kaum wägbare Spur. Das Eisen war aber selbst nicht qualitativ in der oberen Zelle nachweisbar. Dagegen fanden sich in derselben deutliche Spuren von Schwefelsäure. Durch dieses Ergebnis ist zur Genüge erwiesen, daß die angewandte Membran von groben Lücken frei war. Hr. Dr. ASKENASY, Privatdocent der Botanik in Heidelberg, war so freundlich, mir später mehrere Blätter von *Hæmanthus* zuzufenden, so daß ich in der Lage war, die Versuche fortzusetzen. Dieselben wurden in dem folgenden Sinne angeestellt. Um von der Temperatur unabhängig zu sein, wurden je zwei Substanzen in jedem der Versuche mit Chlornatrium verglichen. Es wurden dabei nur Chlorosalze angewandt, welche auch für minimale Spuren mit einer Normalfilterlösung maßanalytisch bestimmt werden konnten. In der folgenden Tabelle sind die Durchgangsmengen mit dem Moleculargewicht zusammengestellt.

Salz.	Moleculargewicht.	cc der Normalfilterlösung.	Abolut. Gewicht der diffundirten Chlorverbindungen.
<i>NaCl</i>	58,50	0,45	0,0026325 grm
<i>CaCl</i>	55,50	0,25	0,0013875 »
1. Versuch. Dauer der Osmose 10 Tage. Temp. 10° C.			
<i>NaCl</i>		0,45	0,0026325 »
<i>NH₄Cl</i>	53,46	1,20	0,0064152 »
<i>KCl</i>	74,70	0,32	0,002390 »
2. Versuch. Dauer der Osmose 6 Tage. Temp. 12° C.			
<i>NaCl</i>		1,15	0,0067275 »
<i>BaCl</i>	10,40	0,18	0,001872 »
3. Versuch. Dauer der Osmose 12 Tage. Temp. 10° C.			

Die osmotische Spannung, welche sich in den Zellen, Fig. 394, rasch ausgleicht, kann, sowie es in der Pflanze thatsächlich geschieht, für längere Zeit gespart werden, wenn der Druck ein kleinerer wird und wenn man

Es macht sich in dem Versuch eine Periode bemerklich von 13 nach 12 und 12 nach 10. Dieß beruht in einem Fehler, der bei Anwendung von Pergamentpapier nicht vermieden werden kann, weil die Wasserfäulen nicht durch Capillarität gehalten werden.

Nach der Auffassung BRÜCKE's kommt bei der Osmose lediglich die Anziehung der Membran zu den Flüssigkeiten in Betracht (m. f. auch Naturf. 1878. Jan. QUINKE).

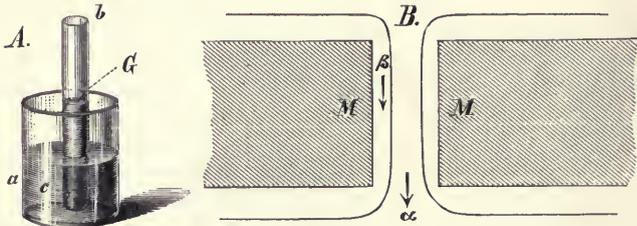


FIG. 400. A Apparat für die Osmose von Gummilösung in *b*, Wasser in *a*, durch einen capillaren Riß im Glasrohr *b*. B Durchschnitt des Risses, *M M* die Glasmasse, Pfeil *α* stellt den centralen Strom Gummi, Pfeil *β* den Wandstrom Wasser dar.

Die Osmose geht durch einen capillaren Spalt in einem Glasbehälter, Fig. 400, ähnlich vor sich, wie durch die molecularen Poren der Membranen. Die Gummilösung in *G*, Fig. 400, hebt durch den Spalt *c* Wasser nach *b*, während nur verschwindende Mengen derselben nach *a* gehen. Das Niveau der Gummilösung steigt. Ist die Anziehung des Wandstromes, Fig. 400 *B β*, für Wasser sehr groß gegenüber derjenigen des centralen Stromes *α*, so fließt nur Wasser, der letztere Strom wird gleich Null. In diesem Fall wird das osmotische Aequivalent unendlich¹⁾, so bei Gummi, Leim, Traganthgummi (welcher nach HOFMEISTER's Untersuchungen unlöslich, aber unbegrenzt quellungsfähig ist und nicht filtrirt werden kann), Hühnereiweiß u. a. m. Diese Ströme, welche unter dem Einfluß der Flächenanziehung stehen, werden noch dadurch in gewissen Fällen alterirt,

¹⁾ Endosmotisches Aequivalent für thierische Membran: Wassermenge, welche sich für 1 g der Substanz in entgegengesetzter Richtung durch die Membran austauscht. Diese Wassermengen sind für:

Alkohol	4,13
Chlornatrium	4,22
Zucker	7,25
Schwefel. Natron	11,05
« Magnesia	11,65
« Kali	12,70
Kalihydrat	231,4,

hier kommt die Quellung der Membran als eine theilweise Zerstörung der Membran durch die Kalilauge in Betracht.

daß die Weite der Poren in einer organischen Membran nicht constant zu sein braucht. Denken wir uns an eine Fläche eine Flüssigkeit angrenzen, welche die Membran zum Quellen bringt, z. B. Wasser, so wird der Porus verengt durch die Quellung nach Analogie der Holzzelle (f. oben S. 92).

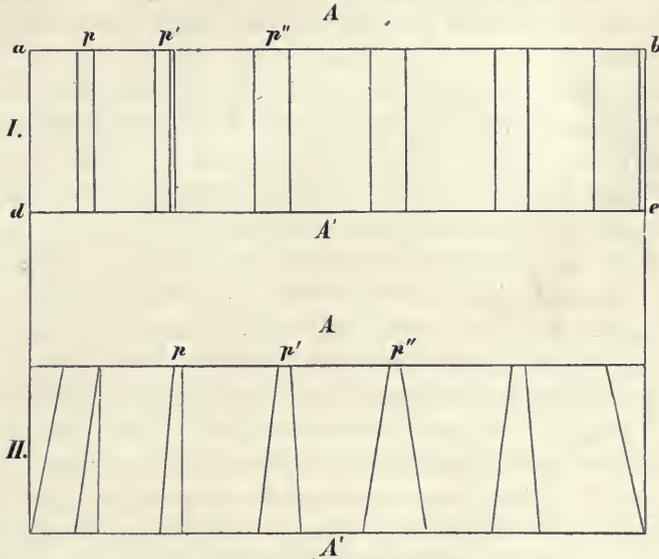


FIG. 401. $I a b d e$ ein Membrandurchschnitt, auf beiden Seiten nach $a b$ wie $d e$ mit Wasser in Berührung, die Porengänge $p p'$ gleichweit. In II ist die Membran in A' mit Wasser, in A mit einer concentrirten Lösung in Berührung, welche die Poren verengt, weil die Membran schrumpft.

Grenzt an die andere Fläche eine concentrirte Lösung, welche die Membran zum Schrumpfen bringt, so wird der Porus erweitert (Fig. 401 II). Gleiche Porendurchmesser werden nur dann vorhanden sein müssen, wenn beiderseits gleiche Flüssigkeit angrenzt (Fig. 401 I).

3. Künstliche Membranen.

Bei künstlichen Membranen haben, abgesehen von der Collodiumhaut, in erster Linie die TRAUBE'schen Zellen eine Bedeutung, insofern sie in ähnlicher Weise künstlich hergestellt, wie die natürlichen entstanden sind. Solche Membranen entstehen aus Gerbsäure und Leim, aus kohlensaurem Kali und Chlorcalcium, Ferrocyanium und Eisenchlorid, und vielen anderen Körpern, welche bei der Berührung einen Niederschlag bilden. TRAUBE zeigte:

1° daß alle solche Membranen wie die Pflanzenmembranen wachsen (f. oben S. 99 ff.);

2° daß die molecularen Interstitien für alle Molecule von kleinerem Volum (resp. Moleculargewicht) permeabel sind, während sie die Molecule ihrer Membranogene, resp. $CaCl$ und $KaCO_3$, $FeCyK$ und Fe_2Cl , u. f. f. nicht hin-

durchlassen. So wird in einer solchen Metallmembran noch Wasser und ein Ammonsalz durch die molecularen Poren hindurchgelassen, aber nicht diejenigen Molecule der Salze, aus welchen durch wechselseitige Zerfetzung die Membran selbst niedergeschlagen wurde.

Eine jede Niederschlagsmembran ist für ihre Membranogene undurchdringlich, während sie für Substanzen mit kleinerem Moleculargewicht permeabel ist.

TRAUBE schloß aus gewissen Eigenschaften der pflanzlichen Membranen, daß sie, den Niederschlagsmembranen analog entstanden, selbst Niederschlagsmembranen aus einem vorher gelösten Amyloid und dem Sauerstoff der Atmosphäre darstellen. Er wies auf die große Dichte der pflanzlichen Häute hin. Nach dieser Anschauung müßte die Pflanzenmembran unter gewöhnlichen Umständen durchaus undurchdringlich für solche Molecule sein, welche ein der Cellulose oder dem Amylum ähnliches Moleculargewicht besitzen (z. B. Gummi). In der That realisirt die TRAUBE'sche Zelle im Allgemeinen mehrere Phänomene der Pflanzenzelle:

1^o die absolute Impermeabilität für concentrirte Lösungen und Protoplasma durch die freie Oberfläche an der Pflanze. Die Ausscheidung (Secretion) nach der Oberfläche ist ein seltenes und eng localisirtes Vorkommniß, wiewohl die Flüssigkeiten im Inneren unter hohem hydrostatischem Drucke stehen. Die Wurzel nimmt große Wassermengen auf, ohne einen merklichen Aufwand durch Exosmose zu machen;

2^o die TRAUBE'sche Zelle hat das Flächenwachsthum durch Intusception mit der natürlichen Membran als gemeinschaftlichen Zug.

Herr PFEFFER hat in der neuesten Zeit einige beachtenswerthe Versuche über Osmose publicirt. Er wandte neben Pergamentpapier kleine Thonzellen an, deren Poren er mit TRAUBE'schen Niederschlagsmembranen verschloß,

1^o indem er die beiden Membranogenlösungen von innen und von außen durch die Thonwand filtriren ließ;

2^o indem er in der Thonzelle eine TRAUBE'sche Zelle herstellte, deren Niederschlagsmembran sich der Innenwand anlegte¹⁾.

Er verbindet mit diesen Zellen, deren Volum constant ist, während bei den Pergamentpapierzellen eine Dehnung der Membranen nicht ausgeschlossen werden kann, geeignete Manometer (f. S. 5, 15, 17, 22) und bestimmt die osmotische Leistung der verschiedenen Colloide und Krytalloide:

Ein langsam diffundirender Körper (GRAHAM's Colloide), Gummi, lieferte bei gleicher Concentration (6^o/o) eine Druckhöhe von 24—27 cm

¹⁾ a. a. O. S. 5.

Queckfilber, während der diffusiblere Zucker eine Queckfilberfäule von 290 cm ergab.

In Membranen von Ferrocyan kupfer wurden die Zuflrömungswerte für Wasser bestimmt, nachdem die Zellen mit Zucker und Gummilöfung verschiedener Concentration gefüllt waren. Diese Körper passiren die TRAUBE'sche Zelle nicht. Es ergab sich, daß die zuflrömenden Wassermengen nicht proportional der Concentration wachsen. Die Messung geschah, indem die Wasserzuflrömungswerte in dem Zuflrömungswert zu 1 procentiger Lösung ausgedrückt wurden¹⁾. So ergibt sich für Zucker von 1 % zu 10 %, zu 32 % ein Verhältniß der Zuflrömung von 1 zu 11,6, zu 48,4, für Gummi von 1 % zu 18 % ein Zuwachs von 1 zu 16,4. Bei dem Salpeter, welcher durch die genannte TRAUBE'sche Membran diosmirt, ergibt sich ein Zuwachs bei von 1 % nach 18 % von 1 nach 11,69.

In Gemengen von einem Colloid und einem Kryftalloid wurden Zuflrömungsmengen gefunden, welche der Summe der Einzelwirkungen entsprachen. Wenn 15 procentige Lösung von *CaCl* den Werth von 9,9 mm in der Stunde, eine 2 procentige Lösung von arabischem Gummi den Werth 1,2 cm zeigte, so ergab die Mischung in derselben Zeit 11,4.

Die osmotische Druckhöhe oder die Arbeit, welche beim Verluft der osmotischen Spannung geleistet wird (s. meine Bot. Unterf. Bd. I, S. 260 ff.), bestimmte PFEFFER für 6 procentige Lösungen für drei Membranen in Centimetern Queckfilber.

	Pergamentpapier.	Thierblase.	Membran aus <i>Cu₂FeCy₆</i> .
Gummi arabicum	17,9	13,2	25,9
Flüssiger Leim	21,3	15,4	23,7
Rohrzucker	29	14,5	287,7
Salpeter	20,4	8,9	700 ?

Die Druckhöhe ist für dieselbe Membran größer für solche Körper, welche diosmiren, wie für solche, welche die Membran nicht zu passiren vermögen. So erzeugen die Kryftalloide Salpeter, Zucker (bezogen auf Leim und Gummi) einen höheren Druck wie die Colloide.

¹⁾ Ist *k* die Salzmenge, welche in der Zeiteinheit die Flächeneinheit einer Membran passirt, während auf die Längeneinheit die Concentration um 1 sinkt, so ist die Salzmenge $s = k a \frac{e}{l} t$, hierin bedeutet *e* die Abnahme der Concentration auf die Strecke *l*, *a* die Fläche, *t* die Zeit. Die Temperatur muß constant sein während der Versuchsdauer.

Mit wachsender Concentration der Lösung wächst der Druck. Für Gummi entspricht der Concentration von 1 % die Druckhöhe von 53,5 cm, für 2 % 101, für 4 % 208, für 6 % 307 cm. Bei dem Zucker wurden für 1 % 7,1 cm, für 6 % 27,5 cm, für 18 % 120 cm beobachtet.

«Die Quotienten aus der Concentration in die Druckhöhe $\frac{MO}{c}$ und den Wassereinstrom fallen namentlich für Zucker, aber auch für Gummi nahezu übereinstimmend aus, d. h. die Druckhöhe und der Wassereinstrom wachsen in demselben Verhältnisse.»

G. Fortleitung des Wassers (der Lösung, welche aus dem Boden aufgenommen wird).

Das Studium der Fortbewegung des aus dem Boden eintretenden Wassers unter dem Einfluß der Verdunstung der oberirdischen Theile bietet allein einiges Schwierige bei den Bäumen, wo es sich um Bahnen handelt, welche bis zu 100 m und mehr Länge zu verfolgen sind. Die mechanische Erklärung dieser Leitung schließt dann offenbar die Erklärung für denselben Vorgang bei kleineren Gewächsen ein. So hat man sich denn in der hier einschlägigen Literatur wenig den Kopf zerbrochen, wie die Leitung bei den Moosen, Pilzen, Flechten, den niedern krautartigen Gewächsen u. f. f. zu erklären sei, sondern lediglich die außerordentliche Höhe erwachsener Bäume als eine Schwierigkeit in's Auge gefaßt, welche der Erklärung gegenüberstehe. Man kann nun zeigen, daß die Möglichkeit constanter Wasserströme, welche in sehr hohen Bäumen gefordert ist, durch Anwendung eines einzelnen physikalischen Principes nicht übersichtlich wird, wenn nicht alle uns bekannten Vorgänge der neben der Verdunstung herlaufenden Lebenserscheinungen mit in die Betrachtung hereingezogen werden.

1. Die Pflanzen wachsen wassergefüllt.

Bei allen perennirenden Pflanzen, in welchen längere Strombahnen gebildet werden, ist zu beachten, daß dieselben wassergefüllt entstehen, d. h. da wo Länge- und Dickenzuwachs erfolgt — Prozesse, welche bei dem Baume stetig oder periodisch vor sich gehen — befinden sich Zellen, welche mit wässriger Lösung oder mit Protoplasma angefüllt sind.

a) Bestimmung des Wassergehaltes im Baume.

Mit Hilfe des PRESSLER'schen¹⁾ Zuwachsbohrers kann man aus jedem Niveau an einem erwachsenen Waldbaum kleine Parthieen des Holzes aus

¹⁾ Der PRESSLER'sche Zuwachsbohrer ist ein Bohrinstrument, welches erlaubt, daß etwa bleistiftdicke Cylinderchen aus dem Stamm herausgenommen werden können (in der forstlichen Technik allgemein bekannt).

der Querrichtung des Stammes herausheben und durch Wägung und Austrocknen in einem Chlorcalciumexsiccator den Wassergehalt bestimmen. Solche Bohrschnitte können in einer Kanone, Fig. 402, so gepreßt werden, daß das flüssige in den Hohlräumen capillar festgehaltene Wasser ausfließt.

Um eine Vorstellung von der Größe des Druckes zu erhalten, welchem das Wasser in der Holzzelle Widerstand leistet, wurden ähnliche Bohrschnitte rasch gewogen, mit Seidenpapier umwickelt, in die Kanone gebracht und mit Hilfe eines Gewichtes gepreßt, die Tangentialfläche des Bohrschnittes beträgt 28,3 qmm. Das Tischchen *a a'* nimmt in dem hohlen Fuß bei *a* eine Röhre von Eisenblech auf *b*, welche dasselbe Caliber hat wie der PRESSLER'sche Zuwachsbohrer. Der Bohrschnitt in Seidenpapier gewickelt steckt in dieser Röhre. Auf ihm ruht ein eiserner Bolzen, auf welchem die Säule *e* des mit Gewichten belasteten Tischchens *a'* lastet.

- Aus diesen Versuchen erhellt, daß bei Anwendung eines Druckes von 10 kg aus 12,36 g Holz nur 0,095 g Wasser gepreßt werden können.

Es wurden in diesen Versuchen aber noch Druckkräfte angewandt, wie sie im Schraubstock zum Ausdruck kommen. Das Resultat dieser Messungen ist: «aus der Gewichtseinheit nassen Holzes können im Maximum 0,4916 Gewichtstheile trockbaren Wassers gepreßt werden».

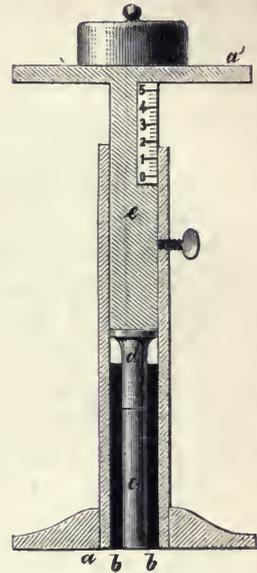


FIG. 402. Das Tischchen, welches zum Auspressen des Wassers aus dem Holze benutzt wurde. Die Metallhülfe *b*, welche den Bohrschnitt *c* aufnimmt, kann von dem Fuß aus in das Tischchen eingeschoben werden.

Stammregion.		Aus 1 Gewichtstheil nassen Holzes können gepreßt werden Gewichtstheile Wasser.	Auf 1 Gewichtstheil trockenen Holzes kommen Gewichtstheile Wasser.
Reg. I 60 cm über dem Boden Radius 125 cm	außen	0,4024	1,522
	Mitte	0,3460	1,333
	innen	0,04210	0,338
Reg. IV 6,8 m über dem Boden Radius 10,1 cm	außen	0,4916	1,609
	Mitte	0,1852	0,7144
	innen	0,02829	0,2898
Reg. XI 19,4 m über dem Boden Radius 5,5 cm	außen	0,4810	1,918
	Mitte	0,4434	1,465
	innen	0,1967	0,6486

Ein Blick auf die Figur 403 zeigt uns, wie viel Wasser aus dem Holze unter Anwendung einer ungeheuren Druckkraft gepreßt werden kann gegenüber der Gesamtmenge des Wassers, welche in dem Holze imbibirt ist.

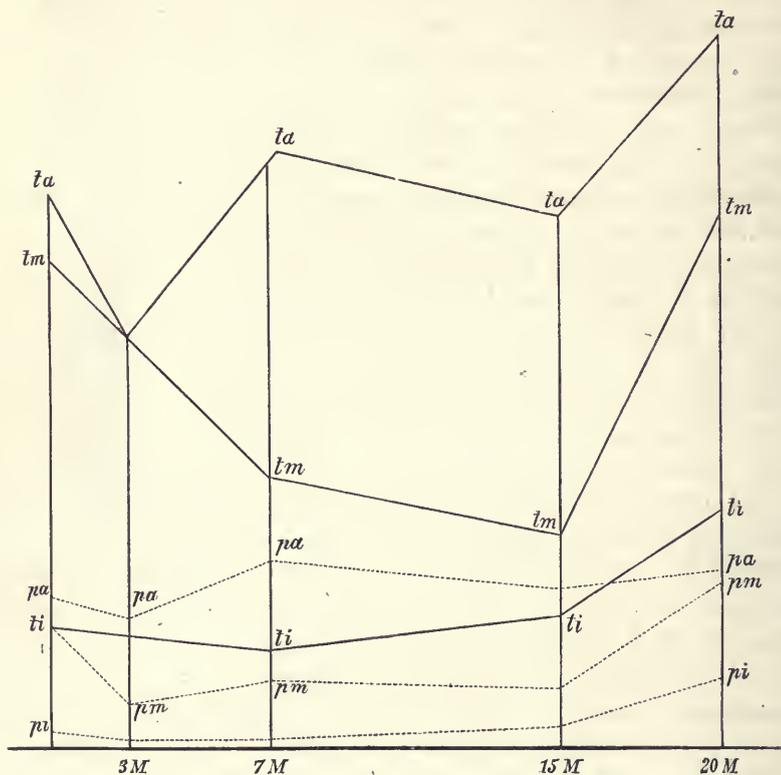


FIG. 403. Diese Figur stellt die Vertheilung des Wassers dar in einem Baume (Fichte), welcher im Winter gefällt wurde. Die Abscisse stellt den Ort in Meternhöhe über dem Boden dar, in welchem die Bestimmungen des Wassergehaltes für die Volumeinheit Holz ausgeführt wurden, 5 solcher Bestimmungen in 0 M, 3, 7, 15, 20 M Höhe wurden ausgeführt. In jedem dieser Niveau's wurden Bohrschnitte bis zum Mark geführt, diese in drei gleiche Theile getheilt, a der äußere, m der mittlere, i der innere. Für jeden dieser Theile wurden zwei Bestimmungen gemacht: jeder Theil wurde in dem Tischchen und zuletzt im Schraubstock ausgepreßt, die Wassermengen sind in pa , pm , pi dargestellt; jeder der Schnitte wurde im Exsiccator getrocknet und die gefundenen Wassermengen in ta , ti , tm dargestellt.

Die Abscisse der Figur 403 ist in Meter (Höhe des Baumes) eingetheilt. Die Ordinaten pa , pm , pi bedeuten die Wassermengen in Zehntelgewichtstheilen des Bohrschnittes, welche durch Druck in dem Schraubstock herausgepreßt werden können, und zwar pa in der äußeren, pm in der mittleren, pi in der inneren Schale.

Die Abscissen ta , tm , ti bedeuten die Gesamtwassermengen, wie sie durch Austrocknen im Exsiccator bestimmt werden können, in Zehntelge-

wichtstheilen derselben Bohrschnitte, *ta* in der äußeren, *tm* in der mittleren, *ti* in der inneren Schale.

b) Bestimmung des Stärkestromes in dem Holz des Baumes.

Es ist äußerst schwer, direct zu bestimmen, wie weit die wassergefüllte Strombahn in transversaler Richtung in den Stamm hinein reicht. Beachtet man aber, daß die transitorische Stärke¹⁾ alljährlich wie eine große Welle in dem Holze fluthet und ebet, daß diese Bewegung ohne die Gegenwart von tropfbarem Wasser nicht gut denkbar ist, so erhält man in der Ausdehnung der Stärkebahn in transversaler Richtung zum Wenigsten die Minimalgröße derjenigen Bahn, welche einmal im Jahr mit Wasser gefüllt sein mußte. Es wurden daher Messungen angestellt von Mitte bis Ende Februar über die Ausdehnung der Stärkebahnen, indem durch die Bohrstücke von Fichte und Eiche Radialschnitte mit Jod behandelt wurden.

Aus der Tabelle erhellt die Zunahme osmotischer Spannung vom Stamm nach dem Zweig. Schon bei dem 22jährigen Afte erstreckt sich die Spannung über den ganzen Querschnitt, sie bleibt nach den jüngeren in diesem Verhältniß, sie sinkt nach dem älteren bis $\frac{27}{100}$ der Jahreslagen für die Eiche.

- Bei einer 100jährigen Eiche geht die transitorische Stärke noch bis zum 27. Jahrring, von außen gezählt.

Holzart.	Stärke des Zweiges oder Stammes. mm	Zahl der Jahresringe		Bemerkungen.
		des ganzen Stammstücks.	mit Stärke gefüllt.	
Eiche I	5	1	1	Mark gefüllt.
» II	8	4	4	» »
» III	12	6	6	» »
» IV	27	12	12	» »
» V	41	22	22	» »
» VI a	90	33	13	Obere Seite des Aftes mit breiten Jahrringen.
» VI b	90	33	16	Untere Seite des Aftes mit schmalen Jahrringen.
» VII a	420	100	12	Stamm.
Fichte I	65	8	8	Mark leer.
» II	140	15	9	» »
» III	175	19	8	» »
» IV	245	28	8	» »
» V	305	36	12/13	» »

¹⁾ f. unten Translocation.

Die Stärke dringt noch bei 12 Jahrringen bis zum innersten vor, bei einem 33jährigen Aste aber selbst noch bis zum 16. von außen gerechnet.

2. Ueber die ganze Strombahn befinden sich wassergefüllte Gewebe vertheilt¹⁾.

Der höchste Wassergehalt findet sich gerade zu der Zeit der vollen Belaubung in den Orten, welche am weitesten von dem wasseraufnehmenden Wurzelsystem entfernt sind, nämlich in den jungen, in dem laufenden Jahre entwickelten Zweigen.

Es interessirte mich, zu wissen, wie groß der Wassergehalt dünner, nur Splint führender Zweige zu der Zeit sei, in welcher die Blätter das Maximum der Verdunstung zeigen. Zu dem Behufe wurde das Gewicht naß und trocken, sowie das Volum naß und der Querschnitt naß bestimmt. Das Austrocknen geschah bei gewöhnlicher Temperatur im Chlorcalcium-Exsiccator.

Die Zweige wurden gefammelt am 3. August; zu dieser Zeit war die Tagestemperatur, 23⁰ C. im Mittel aus Mittag- und Abendstunden für 6 Tage.

	Gewicht naß.	Gewicht trocken.	% Wasser.
Hainbuche	2,16	1,280	40,74
Birke	1,74	0,795	54,44
Buche	5,26	3,017	42,64
Acer pseudopl.	1,65	1,020	38,18
Efche	2,37	1,440	39,33
Kiefer	2,40	1,127	53,04
Erle	2,96	1,530	48,31
Eiche	3,59	2,075	42,47
Pappel	1,92	1,145	58,02
Weide	3,15	1,410	55,24

Die Ursache aller Bewegung für Wasser an dem ganzen System des Baumes läßt sich zurückführen auf die Verdunstung in Zellenketten, welche mit Wasser, aber unter verschiedenem Druck gefüllt, sich von dem Punkte + bis zu dem Punkte —; Fig. 404, in der Längsrichtung — von dem Punkte — nach dem Punkte + in der Querrichtung ausdehnen.

3. Holzconvolute von Stamm und Wurzel.

Zum Verständniß der hier weiter zu behandelnden Phänomene muß Bezug genommen werden auf die grobe Anatomie (f. § 32, S. 302 ff. oben). Es

¹⁾ Dr. Th. HARTIG, Verdunstung der Zweigspitzen im unbelaubten Zustande. 261. Bot. Ztg. 63.

möge die Fig. 405 der schematische Durchschnitt durch einen Baum sein, $N N$ das Niveau des Bodens, $A N$ der verdunstende Stamm, $W N$ die wasseraufnehmende Wurzel, so erhellt aus dem Früheren, daß die absolut mit Wasser oder Flüssigkeit gefüllte Schicht die im laufenden Jahre entstehende Zuwachsschicht ist. Dieselbe ist außerdem (nach § 32 E) die einzige, welche bis zu dem Niveau fg am Stamm, resp. den Ästen und Zweigen reicht, welche das ganze System bis zu der Blattregion überzieht. Alle früheren Jahreslagen reichen direct nicht so weit.

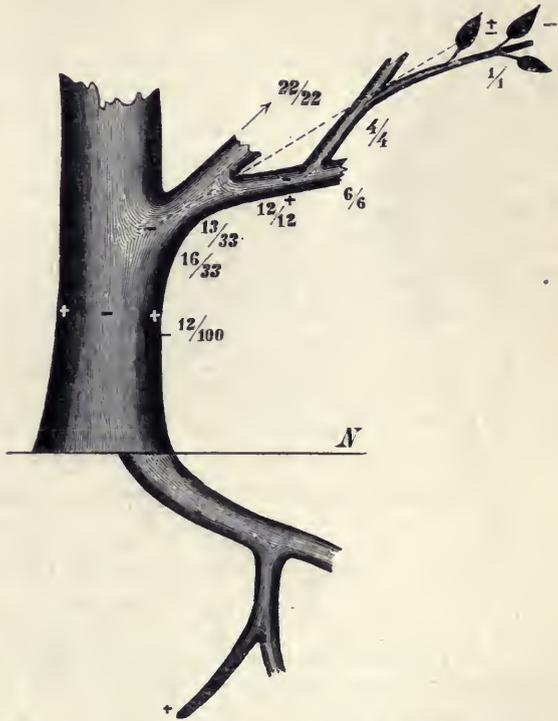


FIG. 404. Schema der Verteilung der Spannung für Wasser in dem Baume. Die wasserreicheren Orte sind dunkel und mit +, die wasserarmen sind hell und mit - bezeichnet. Der Nenner in den beigefügten Brüchen bedeutet die Anzahl der Jahrringe in dem betreffenden Niveau, der Zähler die Anzahl derselben, welche mit Stärkemehl gefüllt sind.

4. Filtrationserscheinungen.

Wir verstehen hierunter den Durchgang tropfbaren Wassers oder einer Lösung, welche wenige pro mille fester Substanz (wenig Zucker, Salpetersäure, Kalk u. a. m.) enthalten, aus den lebenden protoplasmahaltigen Zellen der leitenden Gewebe, nach der Atmosphäre (in seltenen Fällen) einerseits, nach dem Holzkörper der höheren Pflanzen andererseits. Solche Filtration muß immer herrschen, soll überhaupt die Fortleitung von Wasser den Verlust durch Verdunstung decken.

I. Periode des Blutens¹⁾.

Unfere Waldbäume (die Coniferen ausgenommen), die Rebe und viele strauchartige Gewächse bluten aus künstlich angebrachten Wunden

¹⁾ HALES, *Vegetable statics*. — DU HAMEL, *Physiologie des arbres*. — HOFMEISTER, Handbuch der physiolog. Botanik. Bd. IV. S. 198. — H. HOFMANN, Ueber die Richtung der Luftströmung in den Pflanzen. 377. Bot. Ztg. 48. Ueber die Organe der Saftströmung in den Pflanzen. 17. 33. Ueber die Saftwege in den Pflanzen. 793. 809. 42. 57. 76. Bot.

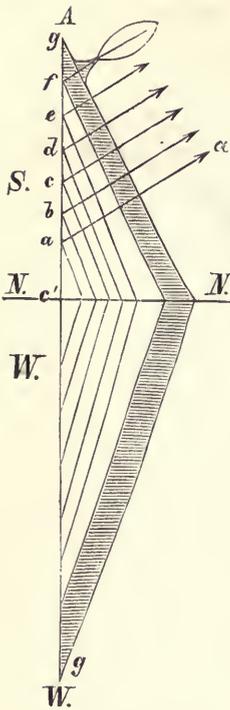


FIG. 405. Schema des Holzzuwachses. *a b c d* die ineinandergeschachtelten Kegel der aufeinanderfolgenden Jahreslagen für Stamm und Wurzel, die Pfeile bedeuten die Zweige und Blätter.

zu einer bestimmten Zeit vor dem Knospenaufbruch. Viele einjährige Pflanzen, welche rasch verdunsten, zeigen denselben Saftausfluß aus dem Wurzelstumpf, nachdem die belaubten Stämme abgeschnitten sind.

Ohne die Verwundung würde der Erguß nach außen weder bei den Bäumen noch bei den letzteren Pflanzen erfolgen.

Die Druckkraft hat ihren Sitz in dem System der Wurzeln.

Die Größe dieses Druckes wird gemessen:

a) indem man für eine gegebene Pflanze die Ausflußfunction, d. h. die Gesamtmenge des Exsudates als Function der Zeit bestimmt;

b) indem man die Ausflußgeschwindigkeit, d. h. die Flüssigkeitsmenge, bestimmt, welche im kleinsten Zeitraum (Stunde, resp. Minute) austritt, und diese als Function der Zeit darstellt;

c) indem man auf den Stumpf ein Manometer befestigt, in welchem das Exsudat eine Quecksilberfäule hebt, Fig. 406 A.

Auch wurde ein Manometer von der Form Fig. 406 B angewandt. Hier drückt der bei *c* austretende Saft auf Wasser, welches sich in dem U-Rohr *c b* befindet, und comprimirt das Luftvolum *b a*. Aus dem Volum *v* und der herrschenden Temperatur *t* wird der Druck berechnet¹⁾.

In dem Versuch, Fig. 406 A, ging von *b*

Ztg. 50. — Dr. TH. HARTIG, Freiwilliges Bluten der Hainbuche. Bot. Ztg. 53. S. 478. Ueber wässerige Ausscheidung aus den Pflanzenblättern. Bot. Ztg. 55. S. 911. Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen. 269. 77. Bot. Ztg. 62 u. 63. S. 73 ff. — JOSEPH BÖHM, Ueber die Ursache des Saftsteigens in der Pflanze. Sep.-Abdr. a. d. Sitzgsber. d. k. Akad. d. Wiss. 1863. Wird das Saftsteigen in der Pflanze durch Diffusion, Capillarität oder durch Luftdruck bewirkt? Sep.-Abdr. a. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenfch. 1864. — JUL. SCHRÖDER, Stud. chem. Unterf. der chem. Constitution des Frühjahrsaftes der Birke. Dorpat. Heinr. Laakmann. 1865. Beitrag zur Kenntniß der Frühjahrsperiode des Ahorn (*Acer platanoides*). S. 261. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — Dr. TH. HARTIG, Ueber Saftbewegung in den Holzpflanzen. 17. Bot. Ztg. 68. — J. BARANETZKY, Eine Mittheilung über die Periodicität des Blutes bei den krautartigen Pflanzen und deren Ursachen, 65. Bot. Ztg. 73.

¹⁾ Nach der Formel für das GAY-LUSSAC-MARIOTTE'sche Gesetz berechnet sich der

$$\text{Druck: } P_1 = \frac{P V (1 - \alpha t)}{V_1 (1 - \alpha t)}, \text{ f. Botan. Unterf. Bd. I. S. 276.}$$

ab in dem rechten Schenkel des Manometers eine continuirliche Wasserfäule in einem Bleirohr nach dem Glascylinder *C*, aus welchem ein zweites Rohr nach dem Stumpf eines foeben abgesehnittenen Astes *c* der ersten Ordnung hinführt.

Das ganze System *C c C b* zur Rechten wurde nun mit Wasser gefüllt. Es stellte sich hiebei heraus, daß wenn unten positiver Druck durch Saftausfluß herrscht, oben gleichwohl Saugen eintreten kann, wiewohl der Druck unten dann hinreichen würde, das höhere Niveau zu speisen, wenn er wie der Druck in einer Wasserleitung wirkte.

a) Größe des Druckes bei niedern Krautpflanzen.

Die Wasserfäule, welche den anbei verzeichneten Queckfilberdrucken entspricht, steht in gar keiner Beziehung zur Höhe der Pflanze.

	Druck auf den Stumpf. mm Queckfilber.
Phafeolus nanus	14
» multiflor.	87
Atriplex	65
Urtica	247
Vitis	731

Auch das Volum des ausgeschiedenen Saftes, welches bei den verschiedensten Pflanzen gemessen wurde, steht in keiner gefetzmäßigen Beziehung zu

	Zeit, Stunden.	Volum der Wurzel.	cc des Exsudates.
Urtica	90	0,0135	3,025
Phafeolus	49	2,300	3,63
Braffica	76	1,100	1,100

dem Volum des Wurzelkörpers oder des beblätterten Stammes.

b) Der Druck bei wechselnder Temperatur, Thränen der Gräser und Aroideen.

Bei einer großen Anzahl von Pflanzen, welche niederer wie unsere Waldbäume sind, so bei den Gräsern in der ersten Keimphase, bei Colocasia und anderen Aroideen, bei Vitis und Justitien beobachtet man, daß bei plötzlicher Erniedrigung der Temperatur, etwa bei Beschattung nach intensiver Bestrahlung, an der Blattspitze ein Wassertropfen abgeschieden wird,

welcher, wenn er entfernt wird oder abtropft, sich erneuert. Es kommt hier zur Abcheidung derjenigen Masse tropfbaren Wassers, welche vorher bei stärkerer Strahlung oder höherer Temperatur verdunstete.

c) Größe des Druckes bei dem Waldbaum, der Rebe¹⁾.

Die Drucke, welche auf Wurzeltümpfen von Justitien, Reben, Waldbäumen (Birke, Buche, Hainbuche) beobachtet wurden, übersteigen jedenfalls nicht den Druck einer 1500 mm hohen Quecksilberfäule.

d) Periode im Druck und der Ausflußgeschwindigkeit²⁾.

Die Ausflußfunction bei erwachsenen Bäumen ist ebenfalls eine periodische Function der Zeit. Die Blutezeit beginnt im Allgemeinen vor dem Knospenaufbruch und dauert bei der Birke, Buche, Hainbuche, Rebe drei bis vier Wochen im Maximum, sie endet fast instantan mit dem Knospenaufbruch bei der Birke, Buche und Hainbuche und dauert bei der Rebe nach ST. HALES' Beobachtungen noch einige Zeit während der Blattentfaltung.

Die Ausflußgeschwindigkeit ist periodisch und folgt nach genaueren Untersuchungen der Temperatur, oder es sinkt dieselbe doch so, daß ihre Curve als von der Temperatur abhängig erscheint.

e) Theorie der Erscheinung.

Wenn hier lediglich die Erklärung des Phänomens des Blutens als Aufgabe gestellt, und abgesehen werden soll von der Bedeutung dieser Erscheinung im Haushalte der Pflanze, so hat man in erster Linie zu beachten³⁾, daß der Druck, welcher das Wasser in den Stamm hebt;

¹⁾ Es muß dringend darauf aufmerksam gemacht werden, daß bei dem ursprünglich von HALES, später von HOFMEISTER angewandten Quecksilbermanometer die Schwankungen des oberen Quecksilberspiegels in Folge der Temperaturschwankung gar keine Bedeutung besitzen, wenn nicht eine Correction für die Contraction des Quecksilbers eingeführt wurde. Dieß geschah, so viel ich weiß, nicht.

Druck an einer Justitienpflanze.

Zeit.	Boden- temperatur.	Luft- temperatur.	Quecksilber- spiegel.
6 Uhr Nm.	22	25,8	1030
7 " früh.	21,4	23,8	1023
3 " Nm.	23,4	26,2	1054

²⁾ POISEUILLE's Formel bei constantem Röhrendurchmesser und Druck ist: $Q = 1836,724 (1 + 0,0336 t + 0,0002209936 t^2)$. — Dr. TH. HARTIG, Ueber Abscheidung der Gase aus lufthaltigen Flüssigkeiten beim Eindringen letzterer in capillare Räume. 301. Bot. Ztg. 63.

³⁾ Mindestens für den Zeitraum von mehreren Stunden und bei constanter Temperatur während der Beobachtungsdauer.

von dem Wurzelkörper ausgeht, und daß der Stamm so gut wie keinen directen Einfluß auf das Heben des Exsudates ausübt.

Die leitenden Bahnen im Wurzelstock aber, die Gefäße und Holzzröhren, sind ihrer physikalischen Bedeutung und ihrer histologischen Beschaffenheit nach als gleichwerthig mit denen des Stammes anzusehen. Diese aber sind so beschaffen: die von außen nach innen belegenen Convolute, Pfeil b''' , b'' u. f. f., Fig. 408, sind verschieden in ihrem Wassergehalte, so daß die inneren wasserärmer, die äußeren wasserreicher sind. In der großen ganzen

Ausdehnung der Strombahn finden sich zahlreiche Röhrenstücke, in welchen Luftblasen von ganz dünnen Wasserhüllen umgeben sind (Fig. 407). In der Richtung des Pfeiles herrscht für Wasser im Holze gleichwohl Continuität für die Säulen tropfbaren Wassers, sie fließen

aber gewissermaßen um die Lufträume v , Fig. 407, herum. Bis zu dem obersten Niveau des Bodens muß ein solches System von Luft- und Wasser-

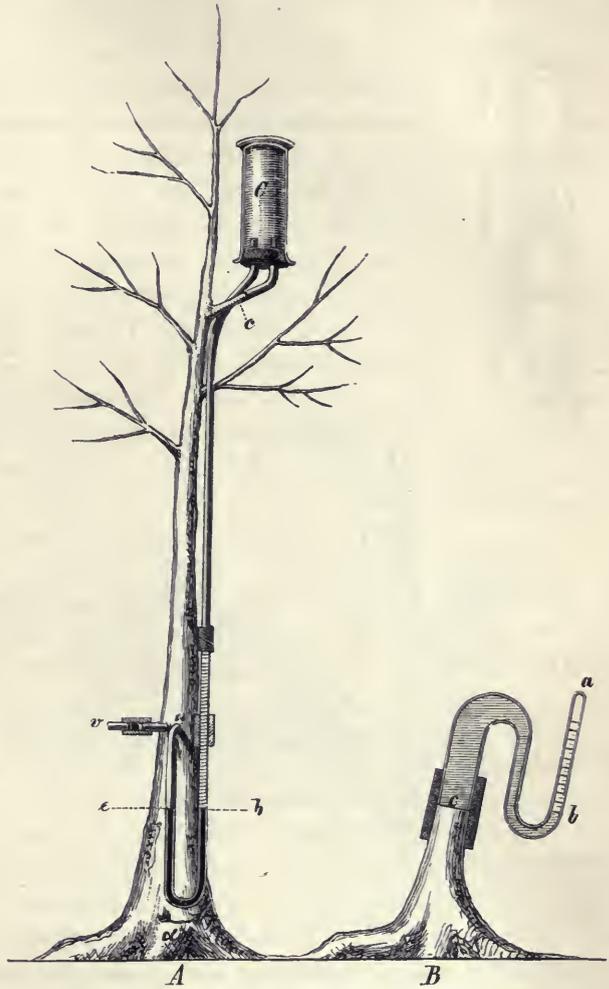


FIG. 406. Die Vorrichtung A besteht aus einem Glasrohr $e b$, welches bei a in ein Bohrloch eingelassen, bis $e b$ mit Quecksilber gefüllt ist; von dem rechten Schenkel geht ein wassergefülltes Bleirohr nach dem wassergefüllten Behälter C . Bei v dicht neben a ist ein zweites Bohrloch mit einem Ventil, welches beliebig geöffnet und geschlossen werden kann. Bei B ist der Baum abgeschnitten, das Manometer $c a b$ wird, bis b wassergefüllt, bei c mit Pergamentpapier zugebunden, auf dem Stumpf mit Hilfe eines Kautschukschlauches befestigt, sodann wird durch eine Drehung das Pergamentpapier in der Fläche des Stumpfes zerrissen, um die Verbindung der Wunde mit der Sperrfähigkeit herzustellen.

fäulen mit Ausschluß der äußersten Schale im Holz, wo die Wafferfäulen continuirlich sind, vorhanden sein. Die folgenden Veränderungen in Folge ganz kleiner Temperaturschwankungen müssen eintreten:



FIG. 407. Luftblasen *v v* in den Holzzellen (im Winter), welche in Oel gelegt wurden.

1^o wirkt das System wie ein Thermometer, welches mit capillaren Wasser- und Luftfäulen gefüllt ist. Das System zahlloser solcher muß sich merklich zusammenziehen oder ausdehnen, wenn die Temperatur steigt oder sinkt;

2^o muß die Röhrenweite merklich schwanken, also die Reibung mit der Temperatur wachsen und sinken, weil die ganze Strombahn sich mit der Temperatur zusammenzieht oder ausdehnt;

3^o spielt die Reibung der Wassertheilchen unter sich und an der Wand der Röhren nach den POISEUILLE'schen Versuchen eine große Rolle.

Herrscht nun ein bestimmter Druck in dem unterirdischen System bei gegebener Bodentemperatur, so herrscht auch eine bestimmte constante Ausflußgeschwindigkeit, welche sofort verändert wird, wenn die Temperatur merklich schwankt.

Wird die Ausflußröhre an dem Stamm höher hinauf verlegt, Fig. 406, so wird dieser Aus Schlag noch deutlicher, oft genügt das Vorüberziehen des Schattens einer kleinen Wolke über dem vorher von der Aprilsonne schwach bestrahlten Baum, um die Ausflußgeschwindigkeit instantan merklich zu verkleinern.

Wir kommen zum Zweiten zu der eigentlichen Betriebskraft in dem Wurzelstumpfe (ist zu fagen dem Druck, welcher von dem unterirdischen System auf den Stumpf ausgeübt wird).

Im Temperaturwechsel ist ein Moment für die Tagesperiode der Ausflußgeschwindigkeit gefunden. Sehen wir, wie es sich mit dem Druck verhält: das Anbringen des Manometers am Stumpf bewirkt, daß sich eine merkliche Menge der Flüssigkeit staut, immerhin nicht alle die Flüssigkeit, welche sonst abfließen würde. Die Drucke wachsen mit der Temperatur durch die Expansion von Gasen und Flüssigkeit, welche erstere sich selbst in dem Exsudat in dem Manometer ausscheiden. Der Druck, welcher am Manometer abgelesen wird, ist daher eine periodische Function der Temperatur, und er sagt nichts aus über die Periode in der Intensität der osmotischen Betriebskraft. Ueber diese kann nur festgestellt werden, und dies gilt nur für wenige Versuchspflanzen und durchaus nicht für alle Bäume, daß sie mit dem Wachsen der Temperatur im Frühling merklich wird, daß in dem künstlichen, das Leben der Bäume wesentlich störenden Versuch die Ausflußmenge von Tag zu Tag wächst, ein Maximum erreicht

und fast instantan mit dem Knospenaufbruch Null wird. Der Wurzelkörper setzt eine begrenzte, bestimmte Menge von Zucker hiebei um, und man kann über diesen Umsatz Versuche anstellen, welche analog den Erscheinungen am Wurzelstumpf verlaufen.

Bestimmung der Arbeit bei dem osmotischen Austausch von Wasser und Kochsalz und Wasser und Zucker durch Schweinsblase und Pergamentpapier.

In die Glazelle *B*, Fig. 409, welche luftdicht in dem Tubulus *t* der zweiten Glazelle *C* eingeschliffen ist, wird ein Gemisch von Zucker

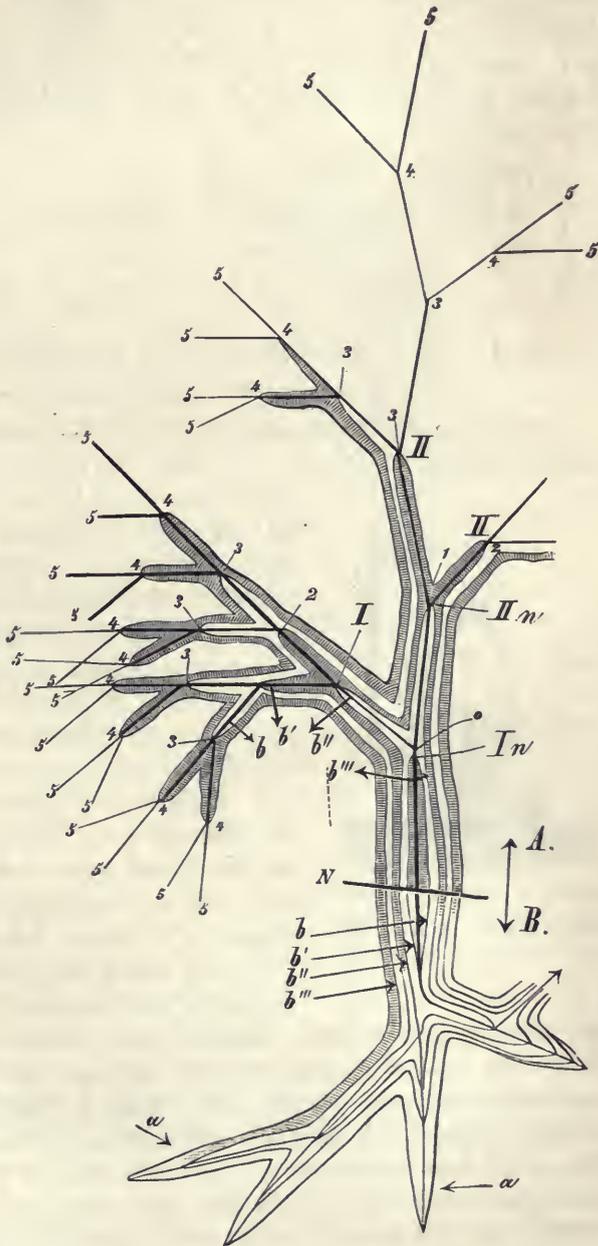


FIG. 408. Diese Figur, wiewohl abenteuerlich in ihrer äußeren Form, reicht in ihrer Gliederung doch gerade aus, um dem Interessenten den im Text geschilderten Bewegungsvorgang klar zu legen. Die äußerste Schale, links schraffirt, überzieht das ganze System, *I*, *II*, *3*, *4*, *5* die Triebe von fünf Jahren, links ist das System bis zum 4. Jahre ausgeführt. Die letzten mit einfachem Contour dargestellten Zweiglein sollen die im laufenden Jahre beblätterten sein, die sechs von jetzt ab zu bildende Zuwachschale würde alsdann alle vorhandenen ober- und unterirdischen Zweige umhüllen. Lassen wir ein Wassertheilchen an der Wurzel eintreten, so ist der kürzeste Weg nach den beblätterten Zweigen die periphere Schale: nur diese führt bis zum Blattziel, jede tiefere endet in einem der Abschnitte, wie *IV* nach *IV*, desto tiefer unter der Verbrauchsstätte, je älter sie ist.

und Traganthgummi gegeben. Das Ende *b* der Zelle ist mit Pergamentpapier, das Ende *a* mit Schweinsblase zugebunden. Die Zelle *C* ist mit Wasser bis zu dem Quecksilberpiegel *Q* angefüllt; durch den mit einem Kautschukstopfen verschließbaren Tubulus *t'* kann die etwa aus den Löfungen entbundene Luft in *C* entlassen werden. Nach neun Tagen hatte der Spiegel *Q* die Höhe von 375 mm erreicht. Nunmehr wurden die Flüssigkeiten in *A* und *C* eingedampft und die Rückstände gewogen.

Die Zelle *C* enthält 4,505 g,
 " " *A* " 7,060 " fester Substanz.
 Fläche in *a* = 16,83 qcm
 " " *b* = 10,76 " .

Parallelversuch für die äußere Arbeit aus dem Verlust der osmotischen Spannung.

Zwei gleiche Osmometer, wie sie die Fig. 406 darstellt, werden gleichzeitig beschickt, die Zelle *B* in dem einen mit Zuckerlösung (ein Theil Zucker, ein Theil Wasser), dieselbe Zelle *B* in dem anderen mit gefättigter Kochsalzlösung gefüllt; beide Oeffnungen *a* und *b* sind mit Blase verschlossen. Der äußerste Druck, welcher erzielt wurde, betrug für Kochsalz 229 mm, für Zucker 351,5 mm Quecksilber. Diese Manometerstände wurden nach 28 Stunden erreicht, von dieser Zeit ab sanken die Manometer langsam in dem Maße, wie die osmotische Spannung abnahm.

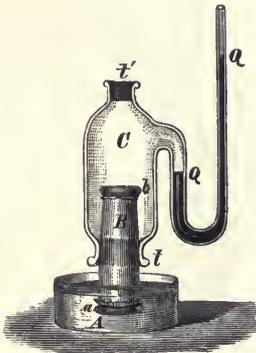


FIG. 409. Osmometer. *A* Wassergefäß, *B* beiderseits mit Blase verbundene Glaszelle, *C* zweite Zelle mit einem quecksilbergefüllten Steigrohr *Q*.

Endlich aber beachten wir, daß die Periode des Blutens 3—4 Wochen in Anspruch nimmt, daß der Baumkörper, wenn er nicht abge schnitten war, auf die osmotischen Proceße am Wurzelkörper in so langer Zeit doch zurückwirkt.

Wir hatten bei dieser Beobachtung im Sinne, zu zeigen, daß aus dem Stumpfe eines zu Beginn der Periode (des Blutens) abge schnittenen Stammes während der ganzen Dauer des Ausflusses weniger Wasser gehoben und abge schie den wird, wie von solchen Bäumen, welche außer einem kleinen Bohrloch intact erhalten werden. Beide Fälle kommen selbstredend im normalen Leben nicht vor. Man muß sich aber vorstellen, daß während der 3—4 Wochen dauernden osmotischen Bewegung des Wassers nach dem oberirdischen Auszweigungs system ein absteigender Strom oder allgemeiner eine Vertheilung fester,

aber löslicher Körper von den oberen Theilen nach dem Wurzelsystem herrschen muß. Dieß kann eben nur erwiesen werden, indem wir die Ausflußmenge des Stumpfes mit derjenigen aus dem Bohrloche vergleichen.

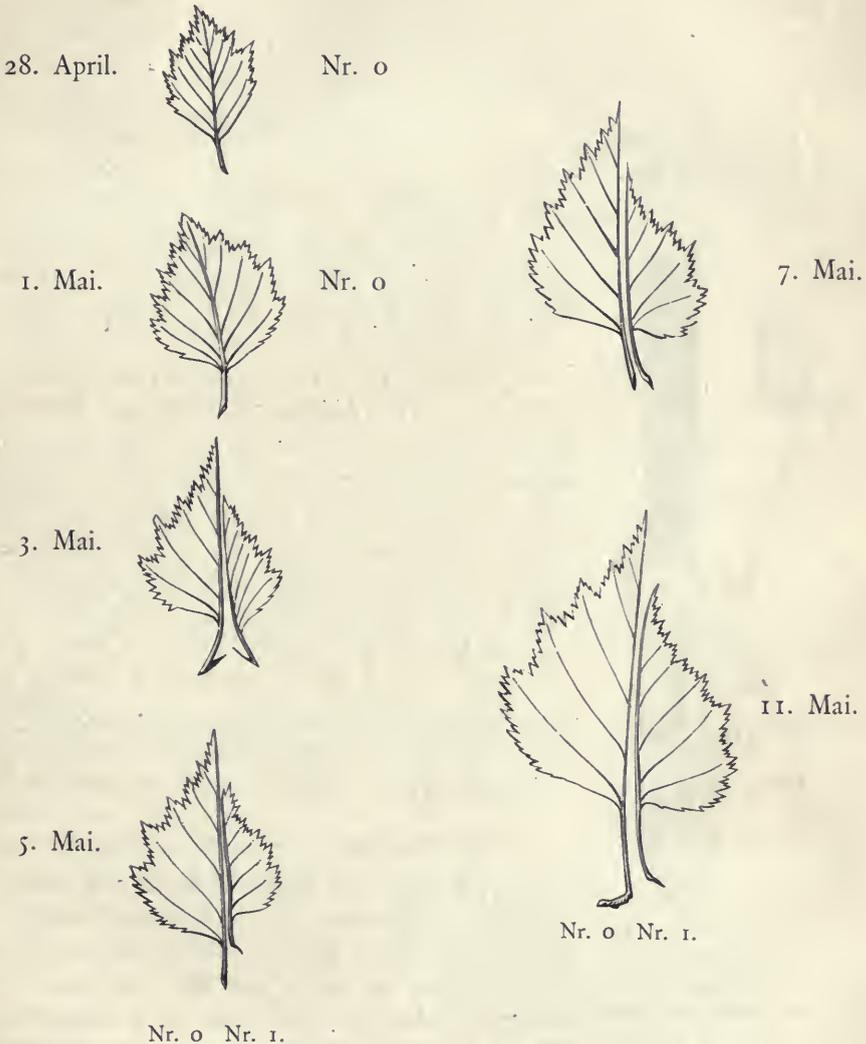


FIG. 410. Zusammenstellung der Blattgrößen zweier Birken, Nr. 0 ein Baum, welcher unverletzt blieb. Nr. 1 derselbe, welcher angebohrt war und drei Wochen lang blutete. Der erstere entfaltete die Blätter am 28. April, der letztere erst am 3. Mai. Von diesem Datum ab sind die Blatthälften beider zusammengestellt.

Wir stellen das Volum, die Dauer und die Ausflußmenge über alle Versuche hier zusammen.

Baum.	Volum. cbm	Dauer.	Gefammtausflußmenge. cbm
Nr. 1	0,07	14 Tage (12.—26. April)	0,013555
Nr. 2	0,04	9 " (12.—21. ")	0,005775
Nr. 3	0,08	8 " (13.—21. ")	0,001833
Nr. 4	0,04	4 " (16.—20. ")	0,000188
Nr. 5	0,07	10 " (15.—25. ")	0,003708
Nr. 6	} Volum kleiner wie 0,04 cbm }	} 16 " (17. April—3. Mai) }	0,001842
Nr. 7			0,000966
Nr. 8			0,000706
Nr. 9		36 " (5. April—11. Mai)	0,001322



FIG. 411. Eine Weinrebe mit mehreren Blättern ist am oberen Ende abgechnitten und steht mit einem Manometer in Verbindung. Der untere Abschnitt bei *a* steht ebenfalls mit Wasser in dem U-Rohr in Verbindung, welches unter Quecksilberdruck durch den Sproß gepreßt werden kann.

Höchstens $\frac{1}{5}$ des oberirdischen Volumens sehen wir an Flüssigkeit während der ganzen Periode ausgeschieden. Man erkennt somit, daß rückwirkend der osmotische Austausch vom Stamm nach der Wurzel den Strom verstärkt. Der Ausfluß schwächt den Baum in seiner Entwicklung; die Fig. 410 zeigt eine Zusammenstellung der Blätter von dem Momente der Knospenentfaltung für zwei Bäume über sechs Daten. Der eine Baum, Nr. 0, blieb unverletzt, der andere, Nr. 1, verlor nach der Versuchsreihe Nr. 1 innerhalb 14 Tagen 0,013555 cbm Saft auf ein Volum des Holzes von 0,07 cbm. Für die ersten beiden Daten bis zum 3. Mai ist die Knospe des erschöpften Baumes noch geschlossen, von da ab sind die Blatthälften beider Bäume nach photographischen Abklatschen zusammengestellt.

II. Periode der Verdunstung¹⁾.

Am Ende der Blütezeit bei den periodisch beblätterten Pflanzen (alle Nadelhölzer, vielleicht alle Immergrünen, besitzen überhaupt keine Blütezeit) beginnt eigentlich erst der Zeitraum, wo merkliche Wassermengen durch die verdunstenden Blätter durch den Stamm bewegt werden müssen. Im Maximum der Verdunstung fließen nun diese

¹⁾ H. COTTA, Naturbeobachtungen. 1806. Weimar. Hoffmann's Buchhandlung. — Dr. Th. HARTIG, Ueber Aufaugen gefärbter Flüssigkeit durch Stecklinge. Bot. Ztg. 53. S. 617. — J. BARANETZKY, Ueber den Einfluß einiger Bedingungen auf die Transpiration der Pflanzen. Bot. Ztg. — Dr. Th. HARTIG, Ueber den Einfluß der Verdunstung auf Hebung

Mengen so, daß beim Anschneiden ein Erguß nach außen nicht stattfindet. Machen wir nun für die Bedeutung des Wurzeldruckes die weitesten Zugeständnisse, so muß für die Discussion der Phänomene der Wasserleitung in Pflanzen zugestanden werden, daß in allen den ungeheueren Waldarealen der Fichten, Kiefern, aller unserer Laubbäume, in den riesenhaften Gras-ebenen der Pampas, in fast allen unseren Culturflächen, von der Pflanze in der vertausendfachen Oberfläche des einfachen Culturareales das Wasser auf viele Meter Höhe gehoben wird, ohne daß ein Tropfen Wasser aus der angechnittenen Strombahn verloren geht.

Wählt man, um den Einfluß der Verdunstung zu studiren, selbst solche Pflanzen, welche nach der Belaubung noch einige Zeit bluten: Rebe und Justitien (und allenfalls noch die Birke), so findet man: während am oberen Stammtheil, Fig. 406, bei *c* aus einem Wasserbehälter *C* Wasser aufgesaugt wird, fließt solches unten in den Manometer aus.

Versuch 1.

Ein Rebsproß wird an seinem unteren Ende (Fig. 411) unter so hohen Druck versetzt, daß das Wasser an einem oberen Querschnitt ausfließt. An diesem oberen Ende ist ein Manometer angebracht, in welchen das ausfließende Wasser eintritt und dadurch einen positiven Druck erzeugt. Ist der Druck unten am Anfang groß genug, so gerathen also beide Querschnitte *a* und *b* unter positiven Druck, welcher aber abnimmt in dem Maße, wie der eingeschaltete Sproß verdunstet oder Wasser aus den Zähnen austreten läßt. Die Drucke in nachfolgender Tabelle sind Quecksilberdrucke.

Stand im oberen Manometer.	Stand im unteren Manometer.	Temperatur.	Befchaffenheit.	Tageszeit.	Dauer.
+134 Mm.	+958 Mm.	19°	—	2 ³⁰ Uhr Nm.	3 St. 30 Min.
+205 »	+ 53 »	20°	Wasser fließt nicht aus den Zähnen.	12 ⁴⁵ » »	2 » 30 »
+196 »	+ 3 »	22°	desgl.	4 » »	nach 44 Stunden

Nun sinkt der Druck im unteren Manometer bald auf 0, während der obere nur sehr langsam sinkt. Der Druck im unteren wird durch

des Pflanzenaftes. 302. Bot. Ztg. 63. — P. SORAUER, Einfluß der Wasserzufuhr auf die Ausbildung der Gerstenpflanze. 145. Bot. Ztg. 73. — N. J. C. MÜLLER in Bot. Unterf. I. Bd. S. 21 ff. S. 85 ff. 225. S. 529 ff. — E. PFITZER, Ueber die Geschwindigkeit der Wasserbewegung in der Pflanze. (Vorl. Mitth.) 71. Bot. Ztg. 76.

Nachfüllen auf wenige Millimeter Quecksilber belassen, und dann wird er negativ, sowie man mit dem Nachfüllen aufhörte. Aus der nachfolgenden Tabelle erhellt, daß der Strom des Wassers von oben nach unten bei den verzeichneten Drucken so stark von den Blättern absorbiert wird, daß kein Wasser in den unteren Manometer eindringen kann.

Stand im oberen Manometer.	Stand im unteren Manometer.	Temperatur.	Tageszeit.	Dauer.
196 Mm.	24 Mm.	22°	5 Uhr Nm.	— St. 30 Min.
200 »	23 »	22°	5 ³⁰ Nm.	6 » — »
189 »	18 »	21,5°	11 ³⁰ Abds.	9 » — »

Während der ganzen Versuchszeit waren die zwei Blätter vollständig turgescent. Die Länge des Sproßstückes betrug 330 mm. Die Verdunstung nimmt also von unten nach oben sehr rasch ab, d. h. das untere ältere Blatt absorbiert viel mehr Wasser aus dem Manometer als das obere jüngere.

Versuch 2.

An einer im Topf wurzelnden Justitiapflanze werden zwei Manometer bei *a* und bei *b* angesetzt (Fig. 412). Dieselben sind mit Wasser gefüllt und communiciren mit dem Differenzenmanometer *U*, welches mit Quecksilber gefüllt ist. Sind die Ventile α und β offen, so stehen beide Querschnitte *a* und *b* unter gleichem Druck und die beiden Quecksilberspiegel in *U* auf 0. Werden nun α und β geschlossen, so stehen beide Querschnitte im Anfang unter demselben Druck, saugt nun *a* stärker, so wird der rechte Quecksilberspiegel sich ein wenig heben, weil der Kautschukverband an *b* etwas nachgiebt, saugt *b* stärker, so wird der linke Spiegel sich ein wenig heben. Der Gesamtdruck wird in beiden Fällen kleiner fein wie der Anfangsdruck. Nach den Vor-

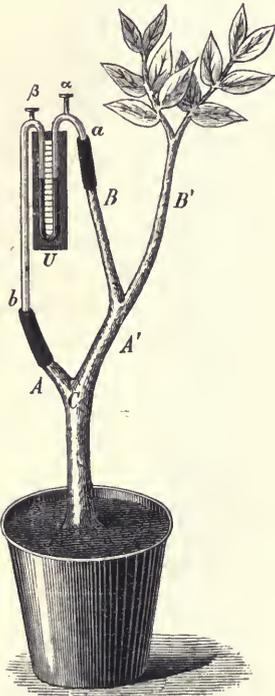


FIG. 412. Ähnliche Vorrichtung an einer Justitia wie in Fig. 411. Der Ast *A* ist mit dem Ast *B* durch einen Differenzenmanometer in Verbindung gebracht, in α und β kann dieses geöffnet werden. In *U* der Verbindungsrohre ist Quecksilber, von *b* und *a* bis zu den Quecksilberspiegeln ist Wasser.

stellungen von SACHS und HOFMEISTER müßte man erwarten, daß bei der Anordnung, Fig. 412, der Gesamtdruck im Inneren größer würde. Es wird sich zeigen, daß der Verlauf dieses Versuches denselben nicht entspricht.

Um nun am Schlusse des Versuches die wirkliche Druckdifferenz zwischen a und b zu erfahren, muß man zuerst eines der Ventile öffnen, und zwar zuerst β , wenn der rechte Spiegel in U , und zuerst α , wenn der linke Spiegel in U der höhere ist.

Bei allen nachfolgenden Ablefungen wurde der Gesamtdruck im Inneren immer negativ.

Diese Versuche lehren uns:

1° ob der Wurzeldruck überhaupt eine Rolle spielt. Wirkt eine Druckkraft von der Wurzel aus, so muß diese sich bei der nahezu vollkommenen Symmetrie des Zweigsystems auf die Arme AA' und BB' vertheilen. In den belaubten Zweigen kann die Verdunstung den Strom vollständig absorbieren. In den tiefer liegenden, nicht belaubten A und B aber müßte ein positiver Druck erweislich sein, denn so viel geht aus der Anordnung in Fig. 412 hervor, daß alle Drucke, die in der Pflanze geschaffen werden, auch an den Manometern zur Wirkung kommen;

2° in welcher Weise sich das Wasser im Holzkörper vertheilt. Es wird sich zeigen, daß der Wasserstrom, welcher von C aus sich gabelt, in Richtung von $CA'B'$ rascher fließt als in Richtung CA .

Zeit.	Temperatur.	Druck in a .	Druck in b .	Differenz beider.
10 Uhr 30 Min Abends.	21,4°	0	0	0
7 Uhr früh.	20°	—	+	80 Mm.
Von 11 Uhr bis 11 Uhr 20 Min. Vorm.	28°	0	0	31 "
Von 11 Uhr 20 Min. bis 12 Uhr Vorm.	28°	0	0	55 "

Nun, nachdem die Pflanze längere Zeit in der Sonne gestanden, wird sie, nachdem durch Oeffnen von α und β der Druck im Inneren dem äußeren gleich gemacht war, in's Dunkle gestellt.

Von 12—3 Uhr Nm.	20°	0	0	13 Mm.
Von 3—4 Uhr Nm.	20°	0	0	5 "

Nun wird die Pflanze in nasse Tücher gehüllt.

Von 3—10 Uhr 15 Min. Nachm.	19,5°	0	0	0
--------------------------------	-------	---	---	---

Versuch 3.

An einer Justitiapflanze, welche in einem Topf eingewurzelt ist (Figur 413), werden die Gabeläste *a* und *b* abgeschnitten und an ihre Stelle Manometer gesetzt, welche sowohl positive wie negative Drucke angeben. Das Sproßsystem ist äußerst regelmäßig, so daß man annehmen muß, daß unter normalen Verhältnissen unter gleichem Druck in dem Niveau *A* durch die Gabeläste *a* und *a'* gleich viel Wasser fließt. Dasselbe gilt für die Äste *b—b'*. Der Gang der beiden Manometer bei *a* und *b* zeigt uns aber, daß von einem Fließen des Wassers unter höherem Druck nicht die Rede sein kann.

Die Länge des Gabelastes *a* ist 160 mm, die Länge des Gabelastes *b* ist 270 mm, die Entfernung beider Manometer beträgt 600 mm.

Zeit.	Temperatur.	Oberer Manometer bei <i>b</i> .	Unterer Manometer bei <i>a</i> .	Witterung.
6 ¹ / ₂ Uhr früh.	19°	+ 7	+ 5	trocken
10 » früh.	19°	0	0	»
1 » Nchm.	20°	0	-12	»
8 ¹ / ₂ » Abds.	22°	-10	-15	Gewitter
11 » Abds.	22°	-24	-3	nasse Luft
8 ¹ / ₂ » früh.	21,5°	-33	0	»
12 » Mittags.	21°	-35	0	»
4 » Nchm.	22°	-37	0	»
1 » Nachts.	22°	-38	-5	trocken
10 » früh.	22°	-40	-10	»
9 » früh.	21,5°	-45	-20	Gewitter, Regen
5 » Nchm.	23°	-43	-18	»
8 ¹ / ₂ » früh.	22,5°	-42	-18	»

Die Pflanze stand im diffusen Licht und wird jetzt in die Sonne gestellt, nachdem die Schnittflächen, an welchen die Manometer sitzen, erneuert sind. Die Manometerstände, anfangs 0, ändern sich in wenigen Stunden der Besonnung auf

—10 im unteren, —50 im oberen nach 4 Stunden,

—12 « « —167 « « « 12 « .

Die stärkere Verdunstung alterirt also den unteren Manometer nur unbedeutend, während der obere beträchtlich verändert wird.

Aus diesen Versuchen folgt:

1° die Betriebskraft für den Strom liegt in den Blättern;

2° sie ist für die größere Zeit der Verdunstung unabhängig von dem Wurzeldrucke;

3^o sie ist jedenfalls eine complexe Wirkung der Verdunstung, Capillarität und Osmose.

H. Theorie der Bewegung¹⁾.

Bei der Gesamtbewegung des Bodenwassers nach den höheren Baumtheilen während der Periode stärkster Verdunstung spielt der Wurzeldruck gar keine Rolle. Große Schwierigkeiten entstehen in der Theorie dieser Bewegung überhaupt nur bei oberflächlicher Beobachtung oder bei einseitiger Anwendung physikalischer Principien und dadurch, daß man vergißt, daß zahlreiche Momente im Leben der Bäume und in ihrem Wachstum hier hereingreifen, deren Ursachen uns selbst nicht bekannt sind. Das Leben kann mechanisch in dem hier verlangten Sinne nicht erklärt werden, ebensowenig das Phänomen des stetigen Wachstums an einem so complexen Gebilde, wie der Baum ist. Beide beeinflussen jedenfalls die Erscheinungen der Wasser-, allgemein der Stoffbewegung. Vernachlässigt man nun ganz jene Rückwirkung, so begeht man denselben Fehler, wie wenn man nur die Phänomene an sich studirte und die Anwendung jedes physikalischen Principes und des Experimentes vermied. Wie wollte Jemand z. B. ein Vorkommniß so complexer Natur, wie es auf Schritt und Tritt im Walde Einem entgegentritt, in Bezug auf die Translocation des Wassers erklären, wie diese Linde (die Linde von Fontainebleau), Fig. 414. Der Baum ist bis auf eine ganz kleine

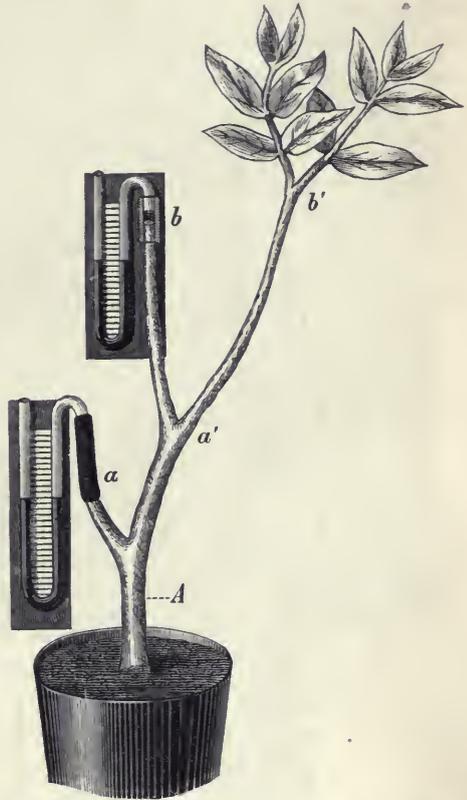


FIG. 413. Manometervorrichtung an einer im Topf wurzelnden *Justitia adathoda*: an einem tieferen *a* und einem höheren Gabelast *b* wurden Manometer angebracht, welche in den beiden Schenkeln, welche der Pflanze zugekehrt sind, mit Wasser, in den beiden äußern Schenkeln mit Quecksilber gefüllt sind.

¹⁾ NÄGELI, Capillarwirkungen. — NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroskop. S. 382 ff. — N. J. C. MÜLLER, Bot. Unterf. Bd. I. S. 20 ff. 85 ff. 225 ff. 529 ff.



Säule *CD* zerstört, oben in der Krone aber einigermaßen so normal, daß er merkliche Wassermengen aus dem ebenfalls gefunden Wurzelsystem bezieht.

In jener Säule *CD* fließt das Wasser nicht unter hydrostatischem Drucke, es muß imbibirt oder durch Capillarität festgehalten sein. Dennoch kann hieraus nicht auf die Bedeutung der Imbibition und Capillarität gegenüber anderen Betriebskräften für den intacten normalen Baumkörper geschlossen werden.

Ich versuche eine derartige Theorie mit Zugrundelegung der bis jetzt bekannten physikalischen Constanten und phänologischen Beobachtungen.

I. Phänologische Beobachtungen:

1^o alle Bäume wachsen wassergefüllt (nach S. 422);

2^o alle Bäume stoßen die ältesten Astanglassen von unten nach oben ab, nachdem die Aeste getrocknet und abgetödtet sind (nach Seite 383);

3^o alle Bäume wachsen an der Spitze und an der

FIG. 414. Linde von Fontainebleau (nach TRÉCUL). Der Baum ist bis auf eine schmale Parthie in *DC* eingefault, an dem Wurzelanlauf mit Wasserreifeisen verfehen.

Peripherie der Krone und fetzen dort gelöste Nährkörper in feste Zuwachsmasse um;

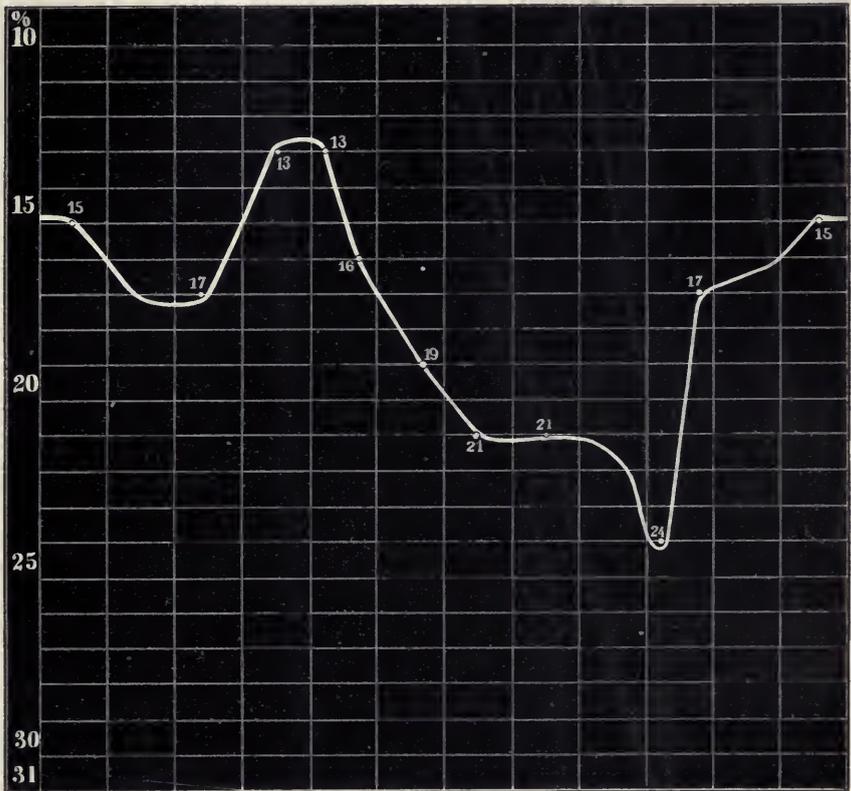


FIG. 415. Curve des Wassergehaltes in den Stammabschnitten der Buche und Hainbuche nach Mittelwerthen, welche von LAUPRECHT und NÖRDLINGER gefunden wurden. Die Abscissenaxe bedeutet das Jahr, sie ist in 12 Theile getheilt, die erste und letzte Ordinate, welche die Figur seitlich eingrenzen, entsprechen dem Monat Januar, die mittleren Ordinaten den übrigen Monaten. Die Curve entspricht den Volumprocenten des Trockencylinders im Stamme. Diese erreichen im Januar ein Minimum, im März ein Maximum, das absolute Minimum liegt mit 13 im April-Mai, von da ab wächst das Volum des Trockencylinders und erreicht ein absolutes Maximum in 24 im October, von wo ab die Curve wieder steigt und sich im Januar an die erste Ordinate wieder anschließt. Die reciproken Werthe dieser Ordinatenwerthe stellen den Wassergehalt dar.

4^o alle Bäume bilden die belaubten Zweige im Zusammenhang mit der laufenden Zuwachschale (Fig. 408 und deren Erklärung in S. 433);

5^o alle Bäume bilden die Assimilationsproducte von hohem osmotischem Aequivalent in den Blättern und vertheilen sie von da über die Zuwachschale von Rinde und Holz (f. weiter unten);

6^o alle Bäume trocknen von innen nach außen und von unten nach oben aus¹⁾ (nach S. 424 und mit Berücksichtigung der graphischen Dar-

1) Trockenkronige Ueberhalter gehören zu den pathologischen Erscheinungen.

stellungen Fig. 403, 404, 405). Hier haben NÖRDLINGER und LAUPRECHT¹⁾ ganz werthvolle Messungen gemacht. Diese Forscher bestimmten in halb-wüchfigen Buchen, Hafeln, Hainbuchen das Volum des Trockencylinders während des Jahres und stellten dieses Volum als Function der Zeit dar. Man erkennt in dem Baumkörper nach dem Durchfägen stets eine hellere, trockenere Kreisscheibe, deren Flächeninhalt gegenüber dem dunkleren, nasserem Ring, welcher von der äußeren Peripherie der Kreisscheibe bis nach dem Cambiumring sich erstreckt. Es steckt somit im Baumkörper

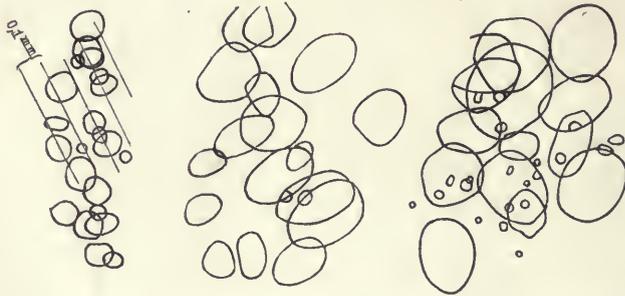


FIG. 416. Diese Zeichnung stellt die Weite der Gefäße und Holzzellen im 3ten, 40ten, 80ten Jahre in gleicher Größenrelation für die Jahrringe der Eiche dar. In der ersten Figur ist die Bildgröße der Mikrometercala bei der gleichen Vergrößerung verzeichnet.

ein massiver Trockenkegel oder -cylinder in einem nassen Hohlcyylinder oder -kegel. Zunächst beachten wir: daß das Volumverhältniß beider Scheiben nicht in allen Höhen des Stammes daselbe ist zu der ganzen Querschnitts-scheibe. Der nasse Ring nimmt an Fläche gegenüber dem trockenen Kreis gegen die Stammspitze hin zu. Sodann aber geht aus diesem Verhalten hervor, daß der Stamm von innen nach außen austrocknet, und endlich folgt aus der vorstehenden Aufnahme und dem Früheren, daß der Trockencylinder kleiner wird, indem in transversaler Richtung, also vom letztjährigen Zuwachsring nach dem Centrum hin Wasser einströmt. Der Trockencylinder schwankt in seinem Volum während des Jahres, erlangt die kleinste Ausdehnung im Winter, die größte im Sommer nach der Blattentfaltung;

7^o in allen Bäumen nimmt im Holzkörper die Flächenanziehung von innen nach außen ab, d. h. die Querdurchschnitte der Holz- und Gefäßröhren wachsen vom jüngsten Zustand des Baumes nach dem älteren. Die capillare Säule, welche gehoben wird, sinkt, die Reibung nimmt ab. In allen Bäumen nimmt die Reibung vom Stamm nach dem Ast und den

¹⁾ LAUPRECHT, Weiteres über Saftthätigkeit in Waldbäumen. Forst- u. Jagdzeitung von G. HEYER. 1871.

Zweiglein zu, weil in den Zweigen höherer Ordnung die Röhrenweite kleiner ist (Fig. 416);

8° in allen dicotylen Bäumen beschreibt ein Flüssigkeitstheilchen, welches, von der äußersten aufnehmenden Wurzelspitze eintretend, das System zu durchwandern hat, die kürzeste Bahn nach den verdunstenden Blättern, wenn es sich in der jüngsten Holzschale bewegt.

Die Gesamtmflächenanziehung wächst im Stamm vom Schafte nach dem Zweigsystem. Um dieß zu veranschaulichen, beachte man die Fig. 417 und die nachfolgende Tabelle.

Verhältniß der Aftquerflächen zur Stammquerfläche
der Fichte.

Durchmesser cm.	Zahl der Aefte.	Kreisflächen- summe in qm.
1	21	0,002
2	15	0,005
3	13	0,009
4	9	0,011
5	9	0,018
6	8	0,023
7	1	0,004

0,072 Gesamtmfläche der Aefte.

Durchmesser des Stammes am Abhieb 25 cm. Kreisfläche 0,049 qm.

Ein Blick auf Figur 417 zeigt, daß für die Bewegung eines Flüssigkeitstheilchens in centrifugaler Richtung aus dem Stamm in den Zweig die Molecularkräfte der Flächenanziehung mächtig wachsen.

Bei gleicher stromerhaltender Kraft auf den Querschnitt *A* würde die Bewegung eine beschleunigte im positiven Sinne sein, wenn der Strom von den dünneren Zweigen mit kleinerem Röhrendurchmesser unter hydrostatischem Drucke strömte. Umgekehrt müßte in Richtung des Pfeiles die Strömungsgeschwindigkeit verringert werden, wenn sie ganz allein vom hydrostatischen Drucke abhinge. Umgekehrt würde die Sache liegen, wenn lediglich die Flächenanziehung der Röhren zur Wirkung käme. Für jeden Schritt, den es im tieferen Niveau des Stammes in's Stamminnere mit den Pfeilen, Fig. 405, 408, macht, muß es in größerer Nähe der verdunstenden Blätter einen Schritt nach außen machen, um zum zweiten Male jene Zuwachschicht zu passiren, welche allein mit dem Laubblatt des laufenden Jahres in Verbindung steht.

II. Phyikalifche Momente.

1. Adhäsion der Flüssigkeit in den lebenden Zellen der verdunstenden Blätter und Zweige.

BÖHM führt diese Betrachtung herein: in allen verdunstenden Zellen, welche nach ihren anderweiten physiologischen Functionen mit Zellflüssigkeit angefüllt sind, haftet die Grenzschicht des Flüssigen an der festen Membran, so in allen Zellen der Epidermis, dem Parenchym der Blätter und

Rinde, im Cambium, kurz in allen nicht austrocknenden Geweben.

Wenn nun eine solche Zelle durch Verdunstung Wasser verliert, so müßte ein wasserleerer Hohlraum entstehen oder die Membran wird durch die Adhäsion an der kleiner werdenden Flüssigkeitsmasse nach einem kleineren Volum comprimirt und wird so im positiven Sinne gespannt sein, daß sie nach dem größeren Volum zurückstrebt.

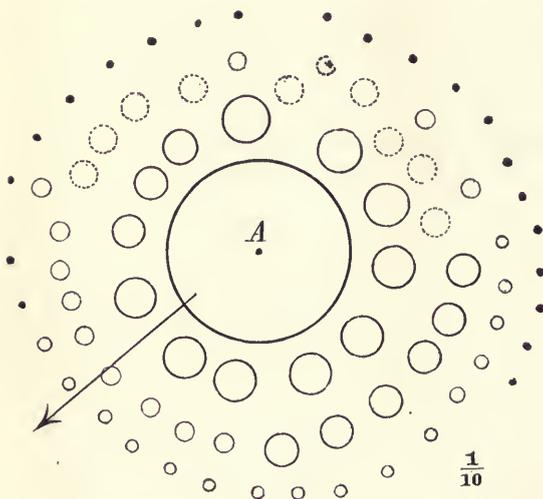


FIG. 417. Querschnittsprojektion der Krone einer Fichte in $\frac{1}{10}$ der natürlichen Größe.

in allen Geweben von Zelle zu Zelle ausgelöst, indem Wasser von den minder gespannten nach den stärker gespannten Zellen strömt, welche in den Blättern, Zweigen, allgemein den peripheren und nicht verkorkten Orten liegen, wo die Verdunstung am stärksten ist.

2. Capillarität.

Wir haben hier nur die Haarröhrenattraction im Sinne, welche an nicht molecularen, an sichtbaren Capillaren sich geltend macht, und beachten, daß alle hier in Betracht zu ziehenden Capillaren während des Wachstumes der Pflanze aus dem Zustand vollständigster Füllung mit Wasser allenfalls später zum Theil in einen Zustand übergehen, in welchem sie mit Luft mehr oder weniger vollständig angefüllt sind. Capillare Röhren finden sich in allen Bäumen, allen Gefäßpflanzen. Aus der Histologie und aus Fig. 418 erhellt, daß solche Röhren niemals gleichweit und nicht immer in Richtung der Axe des Pflanzentheils fortlaufende Cylinder sind, sondern

gelegentlich durch Seitenporen transversale, dann wieder axile Wasserstränge möglich machen, Fig. 418.

Die capillare Höhe in dem Holze hat man näherungsweise nur aus der Weite der Röhren geschätzt, eine directe Bestimmung wurde bis jetzt nicht vorgenommen. Die Methode, welche ich anwandte, beruht auf der bekannten Thatfache, daß die capillare Säule nur abhängig ist von der Beugung des Meniscus. Man kann demgemäß eine enge Röhre benutzen, um in einer daran befestigten weiteren eine dem Meniscus in der engen entsprechende Wasserfäule gegen die Schwere zu heben. Dem entsprechend kann man einen NÖRDLINGER'schen Holzschnitt an einem Differenzenmanometer so befestigen, daß er den einen Schenkel abschließt gegen den Zug oder Druck einer bestimmten Wasserfäule in dem andern Schenkel.

Der Manometer, welchen ich anwandte, hatte die durch Fig. 419 veranschaulichte Beschaffenheit. Die beiden Wasser- (resp. Quecksilber-) fäulen können beliebig zu einander verschoben werden durch Verschieben der Klammern *C C*, von welchen die eine mit *C'* einer Mikrometerschraube für die genauere Einstellung des einen Spiegels versehen ist. Auf dem Rand des Glasrohres *A* wird der Schnitt mit Lack im trockenen Zustande festgeklebt, sodann wird der zugehörige Schenkel *A A'* so lange gefenkt, bis der Wasserspiegel mit dem Schnitte in Berührung ist. Nunmehr wird der andere Schenkel *B B'* so lange gefenkt, bis die Wasserfäule dadurch abreißt, daß durch den Schnitt Luft in den ersten Schenkel eintritt. In diesem Moment ist die capillare Höhe des betreffenden Schnittes soeben erreicht und kann somit durch Ablefung des Niveauunterschiedes der beiden Spiegel in dem beflagten Zeitpunkt leicht ermittelt werden. In den nachfolgenden Bestimmungen wurden die Schnitte trocken angewandt und der Versuch mehreremale wiederholt, nachdem dieselben benetzt waren. Es

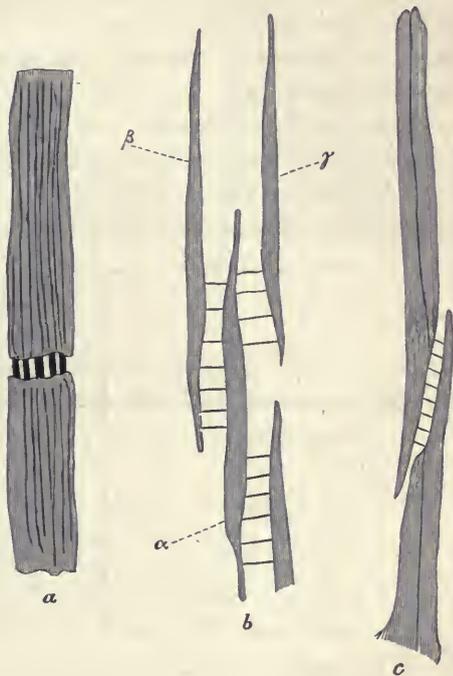


FIG. 418. Capillarsysteme, *a* zweier Gefäße mit leiterförmig durchbrochener Wand; *b* der Abietineen. Holzelle mit Seitentüpfeln; *c* einer Tracheide mit Poren in der geneigten Querwand.

zeigte sich, daß mit der Imbibition und der darauf folgenden mächtigen Quellung die capillaren Röhren verengt, somit die gehobenen Wasserfäulen allmählig vergrößert werden. So zeigte die Linde *Tilia argentea* eine capillare Höhe für den soeben benetzten Schnitt von 110 mm.

Es ergab sich die capillare Höhe für die Eiche im Splint, also den jüngeren Holzlagen, im Beginn zu 60 mm, nach 20 Minuten 81 und zuletzt nach 60 Minuten zu 96 mm. Im Kernholz aber wurden beobachtet anfangs 120 mm.

Bei der Buche wurden anfangs 175, zuletzt aber 358 mm beobachtet. Bei der Kiefer im Beginn 170, zuletzt 195 mm.

Aus diesen Daten läßt sich die capillare Höhe, abhängig von der Röhrenweite, berechnen, zunächst für den Endzustand der Röhre.

	$2r$ Weite in Mikromm.	h Steighöhe Maximal in mm.	Produkt aus $2r h$ in mm.
Popul. balsam.	83	182	15,106
Ostrya vulg.	80	180	14,400
Tilia argent.	50	275	13,75
Fagus filv.	125	358	9,95
Quercus Splint	401	96	38,496
» Kern	323	115	37,145
Pinus filv.	97	195	18,915

Die capillare Höhe muß nach der Betrachtung der Figur 420 innerhalb weiter Grenzen schwanken, wenn man alle Aststufenklassen eines Baumes in Betracht zieht. Die Relationen der Röhrenweite ergeben sich z. B. für die Eiche für die aufeinanderfolgenden Aeste aus der Figur 420, wo die oberste Figur den hundertjährigen Stamm, die unterste den wenigjährigen Zweig darstellt. Die kreisförmigen Poren in der Zone J' oder J entsprechen den Gefäßquerschnitten.

3. Jamin's Phänomen.

Die Möglichkeit, daß in dem luftefüllten Holze capillare Säulen von größerer Ausdehnung wie der Röhrenweite entspricht vorhanden sind, geht aus dem Früheren, S. 447, Fig. 418, und S. 444, Fig. 416, hervor.

Ich habe Glasröhren hergestellt, welchen wechselnd in den Erweiterungen Luft, in den Verengungen Wasser führen, in welchen bei einem Druck von 3 Atmosphären die capillaren Wasserfäden nicht abrisßen.

In den nachfolgenden Strömungsversuchen aber reißen die Luftblasen im Holze schon bei 200—500 mm Quecksilber ab. Dieses Phänomen

wurde von JAMIN zuerst beobachtet. Es spielt in dem Baume keine wesentliche Rolle. Die Theorie des Phänomenes ist nicht abgeschlossen.

4. Strömungsgeschwindigkeit.

a) Geradlinige unverzweigte Strombahnen.

Schneidet man geeignete Zweige von unferen Waldbäumen ab und bringt sie an einen der Manometerfchenkel, Fig. 419, preßt durch Hebung des queckfilbergefüllten Schlauches Wasser durch die Capillaren des Zweiges, so beobachtet man bei niederen Drucken, daß das Wasser kontinuierlich ausfließt; steigert man nun plötzlich den Druck auf 300 bis 500 mm Queckfilber, so sprudeln kleine Luftbläschen mit dem Wasser heraus.

Verfuchsreihe.

Eine 3,75 m lange frische Eichenstange wird unter den Wasserdruck der Wasserleitung (3,45 m Wasser) versetzt und die Ausflußmenge bestimmt. Der Strom ging von dem engen nach dem weiten Querschnitt:

Ganze Länge, Zeit 4 Stunden, Menge 4 ccm, Temperatur 12°.

Länge.	Unten.	Mitte.	Länge.	Unten.	Mitte.
		Durchm. mm.		Durchm. mm.	
1/1	20	17	1/8	13	12
1/2	17	15	1/16	12	—
1/4	15	13	1/32	—	—

Die Länge der Stange geht nach den früheren Verfuchen weit über die capillare Höhe hinaus. Um zu zeigen, daß die capillare Säule abreißt, wurde nunmehr eine solche Stange aufrecht mit dem einen Ende in ein graduirtes enges Gefäß mit Wasser gestellt, während das obere mit der Luft communicirte. Es zeigte sich sofort ein Ausfließen, wobei auch Luft mit austrat; in 10 Minuten waren 5 cc Wasser durch Sinken der capillaren Säule ausgetreten.

Länge.	Zeit.	Menge.	Temperatur.
1/2	1 Stunde 45 Minuten	19 Cc.	15° C.
1/2	1 » 50 »	8,6 »	10° »

Dieselbe Probe wie oben mit demselben Erfolge.

Länge.	Zeit.	Menge.	Temperatur.
$\frac{1}{2}$	2 Stunden 9 Minuten	8,8 ccm	10° C.
$\frac{1}{4}$	— » 37 »	4,4 »	10° »
$\frac{1}{4}$	— » 60 »	5,8 »	10° »
$\frac{1}{8}$	— » 30 »	1,8 »	10° »
$\frac{1}{8}$	14 » — »	2,52 »	10° »
$\frac{1}{16}$	— » 94 »	13 »	10° »

Nach den POISEUILLE'schen Untersuchungen ist die Strömungsgeschwindigkeit in engen Röhren¹⁾ abhängig von der Anziehung der Wand zur Flüssigkeit für verschiedene Löflungen, also von der chemischen Natur derselben. Hier bei den uns interessirenden Phänomenen mag die transpirirende Flüssigkeit Wasser sein. Die Röhrenweite ist constant für das gegebene Röhrenstück. Es ist alsdann die Wassermenge, welche austritt, dem Drucke selbstredend direct proportional, wenn die Röhre nicht, wie oben bemerkt, theilweise mit Luft gefüllt ist. Die Ausflußmenge aber ist alsdann

$$Q = C \frac{H D^4}{L}$$

der vierten Potenz des Röhrendurchmessers D noch direct und umgekehrt der Röhrenlänge L proportional. C ist eine von der Temperatur abhängige Constante, für Wasser von 10° ist $C = 135,35$.

POISEUILLE's Röhren²⁾ maßen 0,1 mm. Die Formel wird

$$Q = 1836,724 (1 + 0,0336793 T + 0,0002209936 T^2) \frac{H D^4}{L}.$$

Da die in der Zeiteinheit ausfließende Wassermenge ausgedrückt ist durch $\frac{v D^2 \pi}{4}$, worin v die Stromgeschwindigkeit ($\frac{D^2 \pi}{4}$ der Querschnitt der Röhre), so läßt sich obige Formel einfacher schreiben:

$$v = \frac{H D^2}{L} \times \text{Conf.};$$

hierin ist aber die Correction für verschiedene Werthe von T vernachlässigt. Setzt man $T = 15^0$, so wird

1) HAGEN und POISEUILLE, WÜLLNER a. a. O. S. 251.

2) EISENLOHR, Lehrbuch der Physik. S. 112. — NÄGELI u. SCHWENDENER, Das Mikroskop. S. 389.

$$\text{Conf.} = \frac{4}{\pi} \cdot 1836,724 \cdot 1,5549 = 3636,3,$$

und es wird

$$v = 3636 \frac{HD^2}{L}.$$

Verfuchsreihe.

Strömungsgeschwindigkeit des Wassers im Holz, abhängig von der Temperatur.

Ein 10 cm langer, 10 mm dicker Hafelzweig läßt dieselbe Wassermenge durchfließen

Temperatur:	Zeit.	Druck.
bei 0° C.	96 Minuten	650 mm Queckfilber.
» 4° »	71 »	650 » »
» 4° »	55 »	560 » »
» 7° »	53 »	» » »
» 8° »	50 »	» » »
» 13° »	43 »	» » »
» 16° »	35 »	» » »
» 20° »	39 »	» » »

In unferrn geradläufigen Stromsystem spielen aber noch gewisse Schleußen eine Rolle. Es sind die Orte, wo das Röhrenstück aus dem Jahre n sich ansetzt an das im Jahre $n + 1$ hinzugewachsene Stammstück (f. Anatomie S. 433, § 32).

So wurde bei der Esche in einem geradlinigen Zweigstück, welches eine Niederblattregion enthielt, für den Strom im aufsteigenden Sinne die Dauer von 186 Secunden beansprucht, während der Strom durch die Niederblattschleuße ging; wurde nun diese entfernt, so erforderte derselbe Strom nur 65 Secunden. Durch das Abschneiden der Niederblattregion aber war die Länge der Strombahn nur von 200 auf 160 mm verkürzt.

Die Niederblattregion in einem Zweige wirkt wie eine Schleuße, welche die Jahrestriebe eindämmt. Die Geschwindigkeit wird für die gleiche Stromstärke durch eine Niederblattregion auf den dritten Theil herabgemindert.

Ganz in dem gleichen Sinne zeigen die folgenden Verfuche den Einfluß der Gefäßanatomosen und Beugungen in der Wirtelzone der Niederblätter.

b) In winkligen Zweigbahnen.

Mit Bezugnahme auf die grobe Anatomie der hier zu betrachtenden Auszweigungssysteme (§ 32, S. 302 ff. und S. 343) mögen die Winkel-

bahnen hier mit in Betracht gezogen werden. In Zweigbahnen, welche von der geradläufigen abweichen, wird die Geschwindigkeit der Bewegung, constante Röhrenweite vorausgesetzt, von der Größe des Winkels abhängig sein. Die allgemeine Form des Problems, so weit sie den Baum betrifft, ist diese: die Längsleitung geht parallel der Faser. Der Faserverband kann nun fein, wie Fig. 418 *a* darstellt. Er kann aber auch so fein, daß von der gegebenen Faser α im Fichtenholz der Strom nach β oder nach γ geht, in diesem Fall (Fig. 418 *b*) wird man für die gegebene Tangentialfläche im Stamme, in welcher die Längsleitung erfolgt, annehmen müssen, daß für viele Meter weite Strecken die Strömung eines gegebenen Wasser-

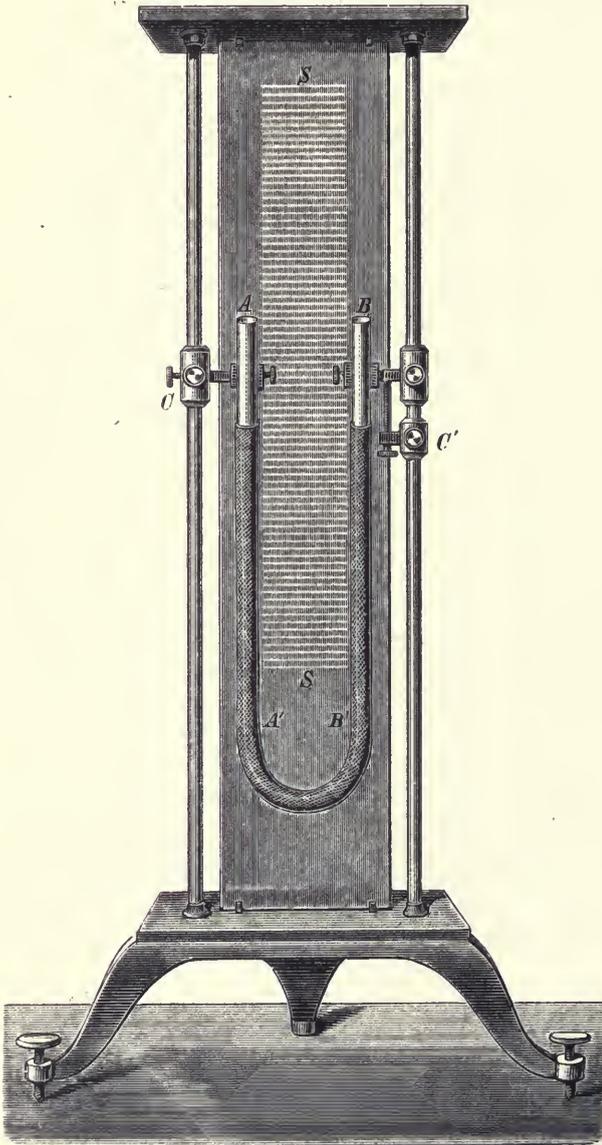


FIG. 419. Manometer zur Bestimmung der capillaren Höhe und der Strömungsgeschwindigkeit in engen Röhren (Holzröhren).

theilchens so erfolgt, daß es von der gegebenen Ausgangsfaser gerade so oft nach β als nach γ abwich. Hierbei aber muß es durch die Schließ-

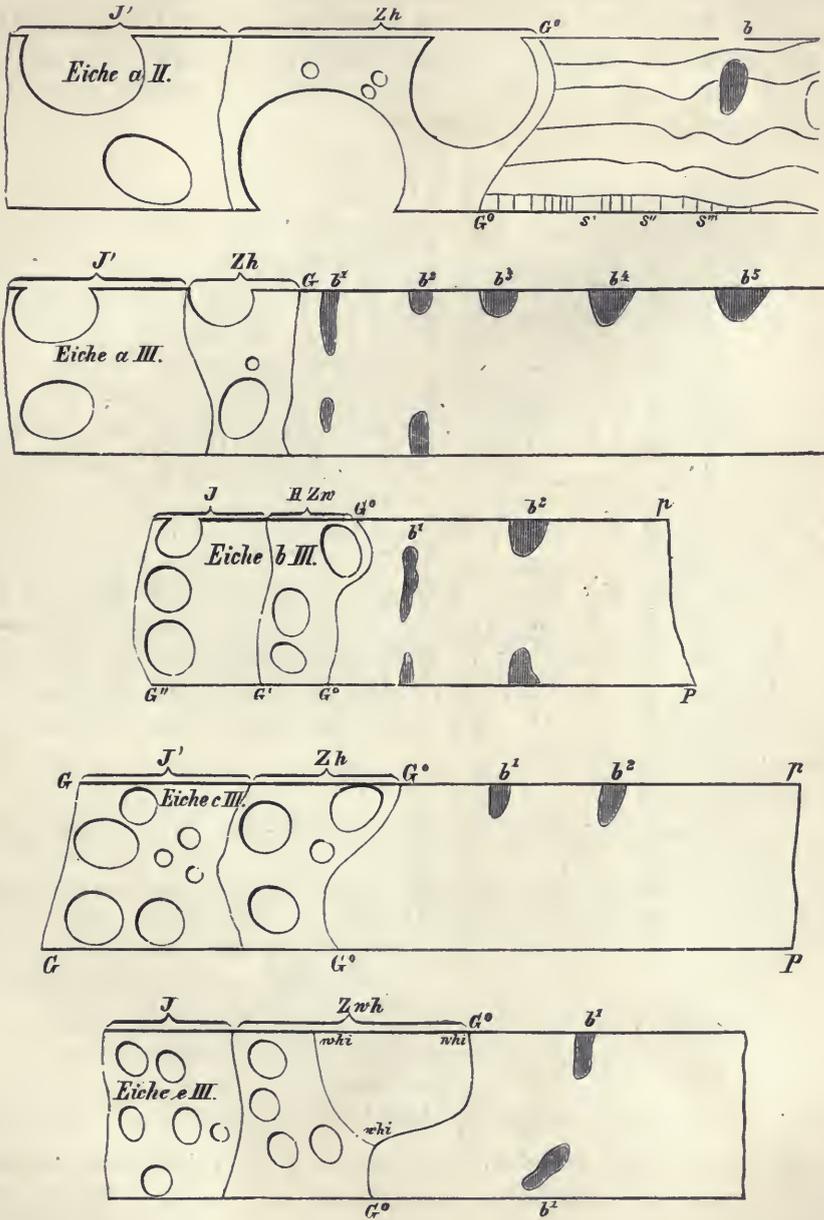


FIG. 420. Erklärung: Ei I Stamm, Ei II Aß, Ei III Zweig der letzten Ordnung. J vorjähriger Ring. Zw Holz zu wach. GG Grenze zwischen Holz und Rinde. $b^1, b^2, b^3 \dots$ Bastbündel. S^1, S^2 Leitzellen (Siebröhren). whi Infel von Winterholz. a b c . . . Daten mit 14tägigen Intervallen. Vergrößerung bei allen 100%.

haut filtriren. Alle derartigen Röhren verlaufen nun in der Cylinderfläche schraubenlinig, so daß von einer absolut genauen Längsleitung im Stamm unferer Bäume nicht die Rede sein kann.

Nach S. 343 tritt die Faser von der unteren Seite des tragenden Astes in den Zweig der nächsten Ordnung (Fig. 333, S. 344). Von Interesse schießen hier einige Versuche über vor- und rückschreitende Strömungsbewegungen¹⁾.

Verfuch.

Ahorn. Stromsystem der Figur 421.

Länge aller vier Abschnitte
der Strombahn = 40 mm

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Dicke } A = 5 \text{ mm,} \\ \text{'' } B = 3 \text{ ''} \\ \text{'' } C = 6 \text{ ''} \end{array} \right.$$

Temperatur 21° C.,

Druck 1/2 Atmosphäre,

Richtung *a* ↗ Dauer bei *A* 2 Minuten 33 Sec.,

'' '' *B* 2 Stunden 3 Min.,

'' *b* ↖ '' '' *B* 50 Minuten,

'' '' *C* 50 Secunden.

Dieser Versuch zeigt, daß ein Unterschied besteht in der Geschwindigkeit, wenn der Strom auf- oder abwärts gerichtet ist. Die Geschwindigkeit in der Winkelbahn *ACB* bei rückschreitendem Strom ist größer als diejenige der Winkelbahn *CC'B*. Dies kann nur erklärt werden durch den Verlauf der primären Fibrovafalfränge.

1) Die Formel der Ingenieure (f. Ingenieurs Taschenbuch. Berlin. Ernst u. Korn. 1875):

«Die Wassermenge, welche durch eine Röhrenleitung von gegebenen Dimensionen bei gegebenem Gefälle *h* erhalten werden kann, ist:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v = 0,7854 d^2 v.$$

Die Geschwindigkeit *v* aber ist offenbar:

$$v = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{1,505 + \lambda \frac{l}{d}}},$$

worin *g* das Gewicht der Flüssigkeit, *l* die Länge der Röhre, λ den Reibungs-Coëfficient bedeuten. Durch ein gekrümmtes cylindrisches Rohr ist $h_1 = \zeta_2 \frac{\beta}{90^\circ} \cdot \frac{v^2}{2g}$, hierin ist ζ der Coëfficient des Eintrittswiderstandes $\zeta_2 = 0,131 + 1,847 \left(\frac{a}{r}\right)^{1/2}$.

Syringa. Stromsystem der Figur 422.

Stromlänge α , γ , β , alle = 25 mm,

Dicke 3—4 mm,

Temperatur 25° C.,

Druck $\frac{1}{2}$ Atmosphäre,

Richtung a Dauer in C 27 Min. 50 Sec.,

B 26 " 30 "

" b " " A 8 " 20 "

B 12 Stunden.

Die größte Geschwindigkeit herrscht in der stumpfwinkligen Bahn und rückschreitenden Richtung, die kleinste in der spitzwinkeligen Bahn bei rück- und vorschreitender Bewegung.

Durch eine größere Reihe ähnlicher Versuche¹⁾ gelangte ich zu den nachfolgenden Gesetzmäßigkeiten:

An einem stumpfwinkligen Zweigsystem Gabelast, in welchem die zwei Gabeläste die gleiche Länge besitzen, wie der tragende Ast, verhalten sich die Geschwindigkeiten in der geradlinigen Bahn und der stumpfwinkligen wie 1 : 26, die Geschwindigkeiten in der geradlinigen Bahn für die auf- und absteigende Richtung 1 : 15. Die Geschwindigkeit steigt für je eine Stammastbahn und den gleichen Druck, wenn die Oeffnung anderweiter Aeste verstopft ist.

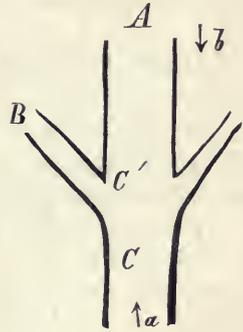


FIG. 421. Ahornzweig einjährig mit zwei Blattstielen.

5. Diffusion des Flüssigen zum Festen (Imbibition)²⁾.

Unter Imbibitionswasser ist zu verstehen die Wassermenge, welche in der festen Masse der Membranen in molecularen Hohlräumen aufgefaugt ist, oder bei quellungsfähigen Membranen als eine Wasserhülle um das Molecul fester Membransubstanz gedacht werden muß. Experimentell läßt sich diese Wassermenge für die Volumeinheit lückenloser Membransubstanz nicht bestimmen.

Alle Membranen sind im Beginn wasserreicher. In den uns beschäftigenden Strombahnen verläuft also das Phänomen umgekehrt wie jede künstlich vorgenommene Tränkung trockener oder nicht absolut gefättigter Holzmasse. Alle Membranen, welche hier in Betracht kommen, werden

¹⁾ N. J. C. MÜLLER, Bot. Untersuchungen. C. Winter. Heidelberg. 1870—78. I. Bd. S. 554 ff.

²⁾ J. WIESNER, Ueber die Bewegung des Imbibitionswassers im Holze und in der Membran der Pflanzenzelle (vorl. Mitth.). 353. 361. Bot. Ztg. 75.

nach ihrer Entstehung mit der Zeit wasserärmer. Sie füllen jedenfalls im Verlauf der Entwicklung (Verholzung, Verkernung) einen Theil ihrer molecularen Interstitien, welche vorher mit Wasser erfüllt waren, mit fester Masse aus.

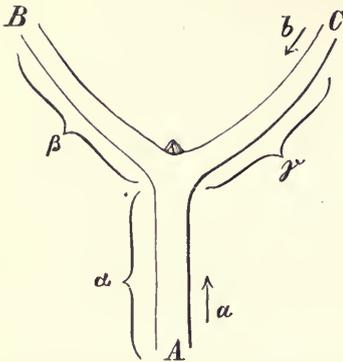


FIG. 422. Syringa, Zweiggabel, in deren Winkel der Blütenstand des vorigen Jahres faß.

Aus den Curven, Fig. 403, und den Messungen S. 425 über das Vordringen des Stärkestromes im Stamm geht hervor, daß von der jeweiligen peripheren Zuwachschale für Holz und Rinde alle Jahre feste Theile mit dem Wasser in tiefere Lagen des Holzkörpers gelangen, welche zum großen Theile dort verbleiben, nachdem das Wasser verdunstet und der Trockencylinder in das Maximum feines Volumens getreten ist.

Die Wassermenge, welche Holz überhaupt aufzunehmen vermag, kann man nur bestimmen, wenn solches viele Monate, ja mehrere Jahre unter Wasser stetig evacuirt wird.

Als Maximum erhielt ich bei Erlenholz, welches zwei Jahre lang in luftfreiem Wasser gelegen hatte:

Cylinder mit vier Jahresringen:

- Gewicht naß 3,92 g,
- Volum naß 3,3 ccm,
- Gewicht trocken 1,4 g,
- Volum trocken 2,75 ccm.

Diese Wägungen ergaben auf die trockene Holzmasse: 180 %.

	100 Gewichtstheile Holz haben bei einjährigem Liegen in Wasser aufgenommen Gewichtstheile.	100 Volumtheile haben sich dabei ausgedehnt um Volumtheile.
Hainbuche	60	12,9
Eiche	60	7,2
Kiefer	102	4,8
Pappel	214	8,4

Es erhellt hieraus, daß die porösen Hölzer (Kiefer, Pappel) eine größere Wassermenge aufnehmen als die dichteren (Eiche, Hainbuche).

Eine einfache Betrachtung genügt, um einzusehen, daß die Diffusion des Wassers zu den festen Theilen des Holzkörpers eine so untergeordnete

Rolle spielt, daß ein Ausgleich in so geringer Entfernung, wie zwischen dem jüngsten und dem zwanzigsten Jahring eines Baumes, nicht möglich wird. Um zu zeigen, daß auch in der Längsrichtung dieser Ausgleich nicht vor sich geht, wurden entlaubte, 2—3 cm dicke Aeste von 50 cm Länge an einem Ende entrindet, mit dem anderen Ende in Wasser gestellt, in Intervallen von 3—4 Tagen wurden dieselben gewogen und alle Wägungen zuletzt zusammengestellt. Die Tabelle zeigt, daß alle von Beginn des Versuches an Gewicht verloren, daß somit die Imbibition in viel weiteren Wasserbahnen, als sie im normalen Verlauf von dem Baume benutzt werden, den geringsten Verlust auf die kürzeste Distanz nicht zu decken vermag.

	1. Wägung.	Nach 7 Tagen 2. Wägung.	Nach 13 Tagen 3. Wägung.	Nach 17 Tagen 4. Wägung.
Corylus	55,85	55,25	54,66	53,21
Fagus	57,45	57,00	56,77	55,39

In verhältnißmäßig großen Zeiträumen, wie 2—3 Monate sind, wird erst ein merklicher Ausgleich hergestellt dadurch, daß die trockenen Theile des Holzkörpers den nassen durch Diffusion Wasser entziehen. Legen wir nun mit Berücksichtigung der von LAUPRECHT aufgestellten Curve unseren Zeitpunkt der Messung in den Winter (December), so sollte man nach den Vorstellungen der Diffusionslehre erwarten, daß der mittlere Wassergehalt in den Holzconvoluten von einem nach dem anderen Niveau von dem Wasser aufnehmenden Pol nach dem Wasser abgebenden sinken müßte, die nachfolgenden Messungen aber zeigen gerade das umgekehrte Verhältniß.

Verfuche, die Imbibitionsleitung nach den zwei Hauptrichtungen zu bestimmen.

Mit einem und demselben PRESSLER'schen Zuwachsbohrer wurden gleichlange Bohrstücke in radialtransversaler, sowie in der Längsrichtung hergestellt. Diese Schnitte sind dem Volum nach näherungsweise gleich. In ihrer Längsrichtung werden sie einem wandernden Wassertheilchen verschiedene Widerstände entgegensetzen, welche abhängen von dem Wassergehalt in dem Schnitte, von der histologischen Beschaffenheit der Bahn, welche das Wassertheilchen durchheilt, und von der molecularen Beschaffenheit der Membranen, in welchen das Wasser imbibirt ist. Die sämmtlichen Schnitte wurden unter Wasser luftleer gepumpt und in enge Glasröhren mit Hilfe eines Kautschukf Schlauches so eingefügt, daß nur ein kleiner 5 mm langer Cylinderabschnitt des Holzcylinders hervorrage, welcher im Ex-

ficator verdunstet. Durch Wägung der so beschickten Röhren wurde deren Verdunstung in gleicher Zeit bei gleicher Temperatur in dem gleichen trockenen Raum bestimmt:

	Gewichtsverlust				
	Anfangsgewicht nach grm.	nach 24 St.	nach 72 St.	nach 120 St.	nach 546 St.
I. Region längs	11,880	0,315	0,930	1,347	1,920
» radial transversal	9,700	0,185	0,290	0,340	0,535
III. » längs	13,35	0,360	1,020	1,505	1,830
» radial transversal	9,950	0,280	0,475	0,505	0,615
Letzte Region Gipfel längs	11,910	0,420	0,915	1,365	1,785
Aft achtjährig längs	13,44	0,400	0,865	1,120	1,285
Zweig zweijährig längs	8,270	0,315	0,625	6,45	0,72

Aus den Versuchen geht hervor, daß die Leitung des Wassers von dem Wasser aufnehmenden Pol nach dem verdunstenden, so weit sie auf einer Diffusionsbewegung zwischen den festen Theilen beruht, eine außerordentlich langsame ist. Der auffälligste Unterschied besteht zwischen der transversalen und der Längsrichtung. Hierauf beruht es, daß der Stamm überhaupt innen austrocknet, denn die Entfernung zwischen dem trockensten Punkt und dem feuchtesten in einer Querschnitts-scheibe ist selbstredend stets kleiner als dieselbe zwischen zwei ähnlichen Punkten der Längsrichtung. Käme die Diffusion des Flüssigen zu dem Festen während der Verdunstung zu irgend erheblicher Bedeutung, so müßte dennoch die Wasserbewegung von außen nach innen den Verlust rascher decken als in der Längsrichtung, wo es sich um eine viele Meter betragende Entfernung handelt. Das einzige Moment der Bewegung von Wasser auf dem Wege der Imbibition (Diffusion) kann doch nur der Unterschied im Wassergehalt zwischen dem Ausgangspunkt und dem Ziel der Bewegung sein, und es ist ganz gleichgiltig, wodurch dieser Unterschied hervorgebracht wird.

6. Mac Nab's und Pfitzer's Versuche¹⁾ (Cotta's Tinctionsversuche).

Bei jedem abgechnittenen Zweige, welcher in Wasser oder in eine Lösung gestellt wird, machen sich zwei Erscheinungen geltend. Das Wasser

¹⁾ PFITZER, Verh. d. naturhist.-med. Ver. Heidelberg. Neue Folge. I. 3. Heft. S. 173. MAC NAB.

steigt capillar durch die Holzzellen, Tracheiden und Gefäße, und die feste gelöste Substanz wird sehr bald in größerer Concentration in die Membranen eingelagert als sie in der Lösung herrschte. Bei der Verdunstung schreitet der Wasserstrom etwas schneller vor als das Pigment oder Salz, welches in dem Wasser gelöst ist.

Um die Geschwindigkeit der Strömung in verdunstenden Pflanzen zu bestimmen, wurde beobachtet, wie viel Zeit vergeht, bis an einer im Topfe wurzelnden *Justitia* ein vorher welches Blatt seinen Turgor wieder erlangt.

PFITZER erhält 5 m für die Stunde.

SACHS fand an einem Silberpappelzweig 23 cm in der Stunde.

MAC NAB (1871) fand das Vorschreiten solcher Salzlösungen, welche spectralanalytisch leicht kenntlich sind, mit 46 cm für die Stunde.

MAC NAB (1874) findet die Geschwindigkeit von 40 engl. Zollen in der Stunde. Endlich fand PFITZER für Philadelphuszweige 4,5 m und für *Amaranthus* 6 m für die Stunde (a. a. O.).

Mit Berücksichtigung der Verzögerung fester, im Wasser gelöster Theile, gegenüber der Geschwindigkeit der Wassertheilchen bei der Strömung, welche die Verdunstung veranlaßt, kann man sich mit Hilfe von verdünnten Anilinlösungen einen raschen Einblick in die Art der Strömung verschaffen.

Schon COTTA¹⁾ wandte, um sich über die Bewegung des Wassers in dem Baume zu unterrichten, verdünnte Farbelösungen an, in welche er abgechnittene Zweigsysteme eintauchte, so daß durch die Verdunstung die Lösung in den Zweigen aufstieg. Dieser Vorgang verläuft nach Beobachtungen, welche ich anstellte, so, daß die Lösung sehr bald, noch ehe sie ihr Ziel in den verdunstenden Blättern erreicht hat, ihres Pigmentes beraubt

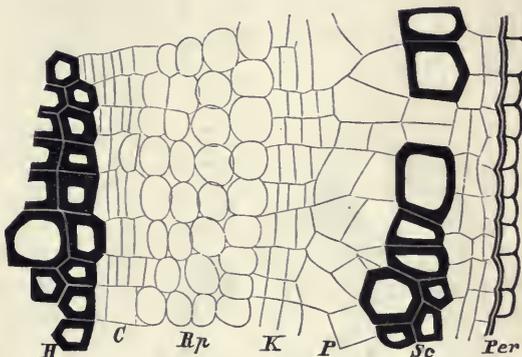


FIG. 423. Querschnittsparthe durch einen einjährigen *Loniceren*stamm, welcher, mit feinen Blättern mehrere Stunden in einer Anilinlösung stehend, verdunstete. Das Holz *H* und eine Scheide von Sclerenchymzellen, welche gleich unter dem Periderm *Per* liegt, haben sich stark tingirt. *K* Kork, *Rp* luftführendes Rindenparenchym, *C* Cambium sind nicht tingirt, ebenfowenig das Periderma.

¹⁾ HEINRICH COTTA, Naturbeobachtungen über die Bewegung und Function des Saftes in den Gewächsen etc. Weimar. Hoffmann'sche Buchhandlung. 1806. — TH. HARTIG, Ueber Aufsaugen gefärbter Flüssigkeiten durch Steckreißer. Bot. Ztg. 1853. S. 617.

ist, weil dieses von den Wänden der durchströmten Zellen aufgenommen wird. Man kann daher aus dem Fortschreiten des Pigmentes nicht auf die Geschwindigkeit der Strömung schließen. Gerade dadurch aber ist zu den früheren Argumenten gegen die Bedeutung der Imbibition ein neues hinzugefügt. Was für die Farbethelchen in Lösung gilt, muß selbstredend mehr oder weniger auch für jede Salzlösung gelten, deren Vordringen in dem Stromsystem man spectrokopisch verfolgen könnte (vergl. PFITZER a. a. O. S. 571).

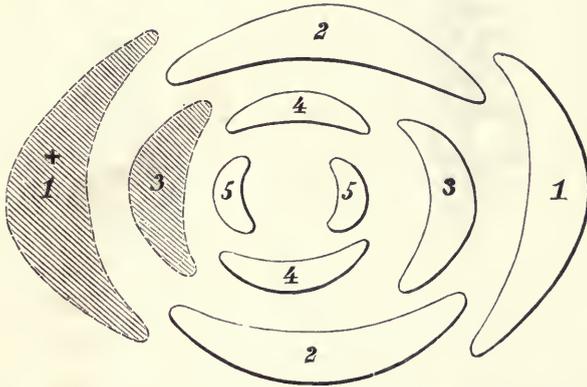


FIG. 424. Diagramm eines Ahornzweiges (schematisch), welcher in Anilinlösung gestellt verdunstete. Die schraffirten Blätter wurden abgeschnitten.

Die Tinction schreitet also jedenfalls langsamer vor wie die Wasserleitung. Sie erstreckt sich im Holzkörper des Stammes über die jüngeren Jahreslagen und im Blattnerven über die Gefäße und Tracheiden, sowie über die gegenüberliegenden Bastzellen, während das Cambium und die jüngsten Zuwachselemente mit geschlossenen Membranen ungefärbt bleiben. Nach mehreren Tagen rückt die Färbung in den Blättern unserer Waldbäume bis zu den Nerven des dritten und vierten Grades vor.

Die Resultate solcher Tinctionsversuche sind:¹⁾

1^o bei Zweigen, welche soeben in der Entwicklung begriffen sind, färben sich die älteren Blätter und Blattgefäßstränge, die jüngeren stärker verdunstenden nicht;

2^o nur die offenen, nicht die noch geschlossenen Spüren tingieren sich, die geschlossenen Cambiumzellen nehmen ebensowenig das Pigment auf (man vergl. Fig. 423);

3^o zuletzt breitet sich das Pigment von den letzten Nervenenden des Blattes über die Parenchymzellen des Mesophylles;

¹⁾ Bei der Herstellung solcher Anilintinctionen nimmt man verdünnte wässrige Lösung, stellt die Zweige so hinein, daß die Blätter rasch verdunsten. Es tingieren sich alle Röhrenelemente zuerst; man hat es in der Gewalt, beliebig starke Färbung und gradweise Abstufung für die histologisch verschiedenwerthigen Zellen zu erzielen. Niemand, der histologische Studien macht, sollte verkümmern, seine Präparate so herzustellen; sie erreichen dadurch den Unterrichtszweck vollständiger.

4^o unterbricht man den Strom, indem man die Gefäßspur eines Blattes durchschneidet oder ein Blatt wegnimmt, so unterbleibt die Tinction.

In der Fig. 424 ist das Diagramm eines Zweiges dargestellt, in welchem die schraffirten Blätter entfernt wurden, ehe der Zweig, in verdünnte Anilinlösung gestellt, verdunstete. Die Folge davon war, daß alle Spuren, welche nach den Blattstielen abgefehnittener Blätter hinführten, im Stamm nicht tingirt wurden. So kann man es erreichen, daß das Pigment nur an einer Seite des Zweiges in die Gefäßbündel eingelagert wird (Fig. 425).

Die bewegenden Kräfte bei der Fortleitung sind so vertheilt, daß die Hauptspuren stets den stärkeren Strom, die Seitenspuren den schwächeren unterhalten. Dieß gilt auch für die einzelnen Gefäßspuren in dem Blattstiel und der Blattfläche:

an einem Zweigabschnitt des Ahorn wurden vier Blattwirtel unterfucht, nachdem der Zweig 4 Stunden bei 24,5^o C. in einer Anilinlösung stehend verdunstete.

Der Blattstiel besitzt 5 Hauptspuren, Fig. 426 III, und zwischen diesen zahlreiche Nebenspuren, Fig. 426 I, II. Man erkennt aus der Figur, daß in dem Maße, wie man sich von dem ersten nach dem zweiten u. f. f. Wirtel bewegt, die in der Figur schwarz verzeichnete Tinction der Spuren verschwindet. Im zweiten Wirtel sind die kleinsten Spuren 1 nicht tingirt, sodann verschwinden die mit 3 bezeichneten. Im dritten Wirtel sind nur die 5 Hauptspuren, — im vierten nur die 3 in der Mediane liegenden Hauptspuren gefärbt.

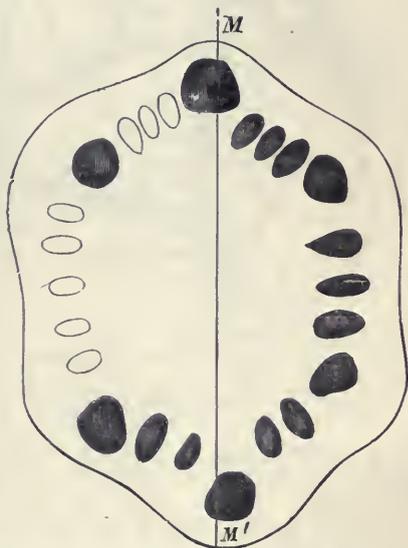


FIG. 425. Diagramm eines Ahornzweiges, welcher in Anilinlösung stehend verdunstete. Die schraffirten Orte sind die Gefäßbündel, welche sich tingirten.

Verfuch.

In ganz ähnlichem Sinne verlief ein Versuch mit einem saftigen Zweig von *Salix Caprea*, welcher 8 bis 10 Blätter besaß. Von unten nach oben wurde je das dritte Blatt abgefehnitten, der Querschnitt des Stengels stund in verdünnter Anilinlösung, nach 3 Tagen bei einer mittleren Temperatur von 20^o C. waren tingirt:

in dem untersten Blatte alle 3 Spuren. In dem zweiten Blatte die rechte Spur tingirt, die beiden linken nicht. In dem dritten Blatte die

zwei linken Spuren, die rechte nicht. In dem vierten Blatte keine Spur tingirt. In dem fünften Blatte die beiden rechten tingirt. In dem sechsten bis achten Blatte keine Tinction.

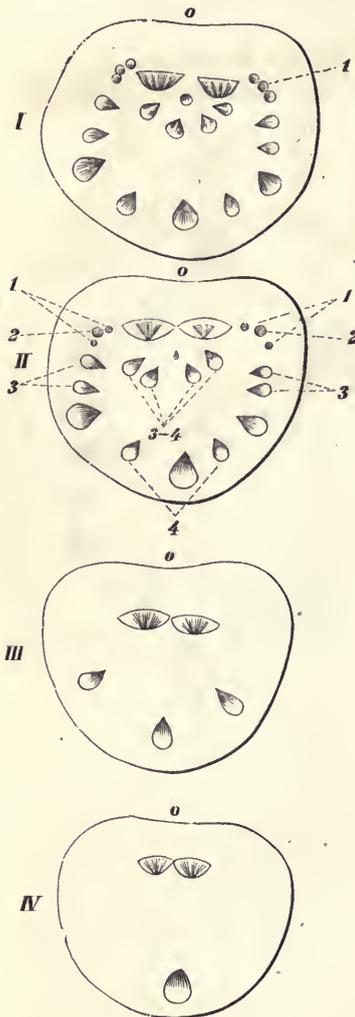


FIG. 426.

Genau so wie das Abschneiden einiger Blätter, so wirken diejenigen Blätter an einem in der Entwicklung begriffenen Zweige, welche die Pigmentlösung nicht direct in ihren Nerven leiten. An dem Zweig der Castanea befinden sich auf 30 cm von der Spitze drei in der Entwicklung befindliche verdunstende Blätter, in deren Fläche die Leitung nur auf dem Wege der Osmose vor sich geht. Die Folge davon ist, daß bis zu dieser Länge, von der Spitze gerechnet, die Tinction in den direct in die befagten Blätter einmündenden Gefäßbündel des Stammes unterbleibt.

7. Bewegung in den Nervenenden des Blattes.

Das parenchymatöse Leitgewebe der Blattnerven der dritten bis vierten Ordnung, welches dem Baftparenchym der Rinde entspricht, ist reich an Niederschlägen colloidaler wie krySTALLINISCHER Körper. In einigen Zellenketten findet man auf millimeterweite Strecken jede Zelle von einem KrySTALL von oxalsaurem Kalk ausgefüllt. Das Netzwerk von Nerven in dem Blatte der Eiche, Buche und Pappel endet mit wenigen Tracheiden in dem Nerv der letzten Ordnung zwischen den Parenchymzellen des Mefophylles. Bei der Pappel enden die Nerven letzter Ordnung blind.

Nach den Tinctionsvorversuchen und mit Berücksichtigung der histologischen Verhältnisse liegen hier die äußersten Enden des Stromes, welchen wir in den vorhergehenden Schilderungen (S. 449) verfolgt haben. Nach den letzten Versuchen ergibt sich, daß aus den Enden der Nerven, Fig. 427, tropfbares Wasser nach den Inseln zwischen den Nerven diffundirt oder ausfließt. Die allmähliche Tinction

der Wände der Parenchymzelle weist darauf hin, daß eine ganz dünne Wasserschicht von den Nerven aus sich über die Grenzzellen der Inter-cellularräume ausbreitet.

Da das Maschenwerk der Fig. 427 nach allen Seiten Wasser in die angrenzenden Parenchymzellen transpiriren läßt, oder da an jeder Seite eines Nervenstranges osmotische Proceffe sich abspielen müssen, so ist von Interesse zu wissen, wie groß die Länge der Ufer ist auf eine gegebene Fläche. Die Fläche *abcd* beträgt 0,246 qmm, in ihr ist die Gesamtuferlänge

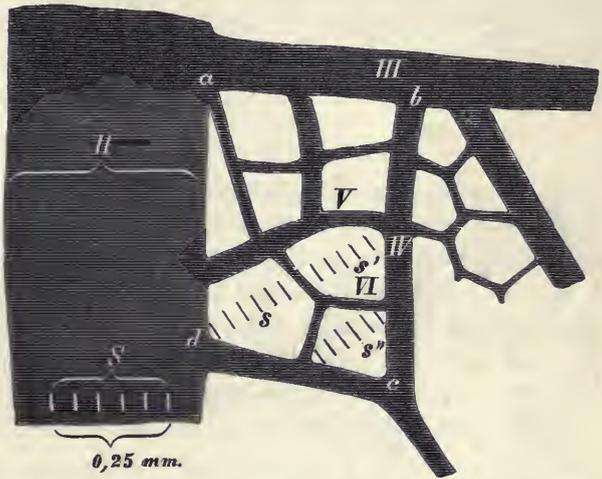


FIG. 427. Kleine Parthie aus dem Blatte der *Castanea vesca*, enthält die Nerven bis zu denjenigen der sechsten Ordnung, von der zweiten Ordnung ab bei 60-facher Vergrößerung. Die Scale *S* umfaßt 0,25 mm. Die Scale *s* *s'* aber giebt den Durchmesser derjenigen Parenchymzellen an, welche in den Maschen des Nervensystems *II*, *III* bis *VI* enthalten sind. Vergr. 60/1.

des Netzwerkes der Nerven gleich 4,7 mm. Auf einen Quadratmillimeter kommt somit eine Uferlänge von 19,1 mm. Auf einen Millimeter der Ufer kommen im Mittel 28 parenchymatöse Grenzzellen. In dem Durchmesser der kleinsten Infel von Parenchym liegen mindestens 5 und höchstens 13 Zellen.

In letzter Linie sind also in unserem Systeme, von einem gegebenen Punkte des Ufers gerechnet, 6 bis 8 Zellen durch Transpiration zu bewässern, wenn man von allen Punkten der Ufer geradlinige Ströme nach dem Mittelpunkt der Infeln gelegt denkt.

8. Einfluss der Verdunstung.

Wenn Jemand nach den vorstehenden Erörterungen phänologischer und physikalischer Natur zu dem Schlusse kommt, draußen im Freien im Culturland, Wald und Wiesen wachsen die Pflanzen, verdunsten und heben durch die Verdunstung ungeheure Wassermengen, welche der Pflanze feste Bestandtheile aus dem Boden zuführen und dort nach und mit der Verdunstung zurückbleiben, und hieraus auf die allgemeine Bedeutung der Verdunstung eine Theorie der Ernährung gründet, so hat er Recht und Unrecht. Recht, insofern seine Theorie für alle Landpflanzen gilt, während

sie für alle untergetauchten Wasserpflanzen keine Anwendung findet. Unbedingt aber hat derselbe Unrecht, wenn er glaubt, die Verdunstung vermöge uns den stetigen Vorgang der Wasserleitung in einem Baume zu erklären.

Die Verdunstungsgrößen der Membran und der Blattflächen wurden schon oben S. 220 (§ 25 C) abgehandelt, in dem Nachfolgenden möge eine Zusammenstellung der Versuche und Betrachtungen folgen, welche uns die Bedeutung der Verdunstung für die Ernährung des Baumkörpers darlegt.

Versuch.

Ein 5 m hoher Birkenstamm wurde im Juli wenige Decimeter über dem Boden abgefägt, sofort in Wasser gestellt in einem geschlossenen Treppenhaus, in welchem er einseitig mit directem Sonnenlicht während 2 bis 3 Stunden, sonst mit diffusem Licht bestrahlt ist. Der Stamm ist bis 3,5 m astrein und steht in voller Belaubung. Er nahm in den ersten 12 Stunden 1,85 l Wasser auf. In den nächsten 12 Stunden aber nur 0,35 l, am zweiten Tage 0,13 l, nach wenigen Tagen war die Aufnahme von Wasser verschwindend klein. Die Symptome des Absterbens traten schon am dritten Tage ein. Sie sind genau dieselben, welche der Baum im normalen Leben draußen im Freien, dort aber im Zeitraum von vielen Jahrzehnten zeigt. — Zuerst vergilbten alle Blätter an der Schattenseite. Das Vergilben trat nach dem Licht zuerst an den Innenseiten, zuletzt an der Außenseite der Zweige auf. An jedem Aste vergilbten zuerst die unteren beschatteten, zuletzt die oberen, belichteten Blätter. Nach fünf Tagen wurde der Baum geschüttelt, die welken Blätter fielen, er hatte sich gereinigt an allen Innenseiten der Aeste, und nur hie und da an der Außen-(Licht-)seite, sowie an den Zweigspitzen stunden grüne Blätter.

Zu gleicher Zeit mit dem Beginn dieses Versuches wurde ein herrschender Ast mit vier Ordnungen abgeschnitten, in Wasser an ein Südfenster gestellt und erhielt sich dort während der ganzen Versuchszeit vollständig normal.

Ein 6 m hoher außerordentlich reich verzweigter, belaubter Ahorn (*Acer Negundo*) wurde im August 1876 in eine verdünnte Anilinlösung gestellt, in gleicher Weise einseitig beleuchtet. Nach 24 Stunden schon war das Vergilben an allen denjenigen Zweigen eingetreten, welche ihrer Lage gemäß schon draußen im Freien tiefer im Schatten standen. Ueber Nacht also zeigte sich hier, daß die Blätter durchaus verschiedene Widerstandskräfte gegen den schädlichen, durch das Experiment veranlaßten Wechsel in den äußeren Lebensbedingungen mitbrachten. Nach 8 bis 10 Tagen zeigte der Baum, nachdem er geschüttelt war, die wenigen grünen Blätter genau so vertheilt wie die nach der natürlichen Reinigung übrig bleibenden Aeste. Nach 14 Tagen wurde der Stamm von der unteren Wundfläche

her gespalten, um die Länge der Anilinbahn zu messen. Er besaß 6 Jahrringe. In einer Entfernung von 2,3 mm von der Wundfläche war das Pigment gleichmäßig in die Membranen imbibirt. In der Längsrichtung waren 70 rothe Streifen, entsprechend den weiteren Gefäßröhren, auf einer Entfernung von 6 cm kenntlich, 14 cm von der Wundfläche waren nur die 4 äußersten Jahreslagen, 22 cm von der Wundfläche war nur die laufendjährige Zuwachsficht tingirt.

9. Die Verdunstungsgröße verschiedener Bäume.

Die Verdunstungsgröße verschiedener Waldbäume wird bestimmt, indem man in gleichgroßen Gefäßen oder an U-förmigen Röhren bei gleicher Temperatur kleine beblätterte Zweige verdunsten läßt. Die Wassermenge wird durch Wägung bestimmt, die Blattflächen werden auf Papier von gleichem Gewicht übertragen, die Relation der Flächen wird durch Wägung der Papierabdrücke bestimmt.

	Verdunstung.	Verdunstung auf die Flächeneinheit. 100 qcm.
Hainbuche	2,55 ccm.	4,357 ccm.
Birke	2,65 »	3,651 »
Eiche	3,15 »	2,891 »
Buche	4,15 »	3,495 »
Pappel	2,45 »	2,422 »
Erle	3,55 »	7,956 »
Weide	3,00 »	4,222 »

So zeigt die Erle von nassem Standorte die Verdunstungsgröße 7,956 gegenüber der Eiche mit nur 2,891.

Es wurde schon oben bei der allgemeinen Betrachtung der im Baumkörper herrschenden Ströme darauf hingewiesen, daß der durch Jahre und Jahrzehnte anhaltende Verkehr zwischen dem Wasser aufnehmenden Wurzelsystem und den beblätterten Zweigen nur denkbar und erklärlich wird dadurch, daß in den Blättern die Körper entstehen, welche von hohem osmotischem Aequivalent rückwärts über das System vertheilt werden und dadurch mindestens in einer Schicht (der Zuwachsficht) ununterbrochene Wasserbahnen unterhalten. Wir sehen somit diesen osmotischen Ausgleich als die letzte Betriebskraft an. Directe und letzte Urfachen der Bewegung können nicht sein:

1° die Diffusion des Wassers und der Lösungen, welche durch den Sättigungsunterschied in verschiedenen Theilen der festen Cellulosemembranen entsteht;

2° ein hydrostatischer Druck, welcher Wasserfäden auf weite (Meter lange) Strecken in den Röhren des Holzes fortbewegt.

Von dem Satze unter 2° machen nun aber selbstredend alle diejenigen Zellen und Gewebearten eine Ausnahme, welche mit Flüssigkeiten gefüllt sind, welche ein hohes osmotisches Aequivalent besitzen, dahin gehören:

- 1° die Leitzellen in den jüngeren Zuwachschalen der Rinde, ehe sie durch den Druck, unter welchen die Rinde durch den Holzzuwachs geräth, collabiren;
- 2° die Zellen der Rinde, welche transitorische Stärke, Zucker und Salz führen;
- 3° die Zuwachschale des Holzkörpers, dessen Zellen im Beginne geschlossen, mit Protoplasma und Kohlehydraten gefüllt sind.

Von allen diesen Geweben aus muß in der Längs- wie in der transversalen Richtung, gerade durch die Verdunstung verstärkt, ein osmotischer Strom herrschen, welcher den Unterschied in der Dichte der Lösungen, der in kleinen Entfernungen von Zelle zu Zelle entstanden ist, ausgleicht. Wir können nun die Gesamtheit der Proceffe, welche sich während der Evolution der beblätterten Zweige für eine Periode abspielen, nur übersehen, wenn wir die einzelnen Vorgänge im Innern des Baumes zusammenstellen mit den äußerlich sichtbaren. Ehe ich in diese Discussion eintrete, muß ich aber dringend auf die folgenden Verhältnisse aufmerksam machen:

1° die Entstehung des jungen Blattes ist selbst ein Vorgang, in welchem colloidale Massen zuerst aufquellen, um später zu erhärten; während das Blatt wächst und eine Reihe von Figuren durchläuft, wie sie mit den zugehörigen Verdunstungsgrößen in Fig. 208. (f. oben) dargestellt sind, müssen alle Gewebe des Blattes und des wachsenden Zweigstückes wassergefüllt sein;

2° in der Mitte der Verdunstungsperiode am 3. August selbst enthalten die zwei- bis dreijährigen Zweige in der Reihe der wichtigsten Waldbäume nicht unter 38% und nicht über 58% Wasser;

3° bei den periodisch beblätterten Laubbäumen besitzt der wassergefüllte Zuwachs an leitendem Gewebe, das ist der erste während der Entwicklung der Blätter entstehende Jahrring, die größte Masse in dem einjährigen Zweige. Somit ist gerade während des Maximums der Verdunstung die letzte Strecke der Strombahn, der einjährige Zweig bis vor den Blattstiel ein wassergefülltes Zuwachsgewebe, welches mit der entsprechenden wassergefüllten Zuwachschicht der Zweige niederer Ordnung, des dominirenden Astes, des Stammes und so fort, und in umgekehrter Reihenfolge durch das Zweigsystem der Wurzel bis zum einjährigen Zweig dieser letzteren in Verbindung steht;

4° die Gefäßbündel nun, welche endlich aus dem dießjährigen Zweige in das Blatt ausbiegen, entspringen von der inneren Fläche des Holzcyinders dieser Zuwachschale;

5° verfolgen wir nun über das gesammte Wurzel- und Stammsystem die Wassertheilchen, welche am Wurzelhaar oder in der Nähe der Spitze einer äußersten Wurzel- auszweigung eintreten, bis zu dem Orte, wo sie als Dampf aus der Epidermis des Blattes in die Atmosphäre eilen, so erhalten wir die folgenden Proceffe.

Wir können in dem Nachfolgenden die wesentlichen Züge der Entwicklung und der groben Anatomie in der schematischen Fig. 408 zusammenfassen: Ueber dem Niveau des Bodens *N* befindet sich der Durchschnitt des Zweigsystems für fünf Jahre. Die consecutiven Jahreslagen sind wechselnd schraffirt und weiß gehalten. Die römischen Zahlen geben das Ende der Hohlkegel an, über welche die Jahreslagen des Holzzuwachses sich erstrecken. In jedem Jahre soll ein Haupttrieb und ein dazu gehöriger Seitenproß gebildet sein. Der letzte Trieb 4 bis 5 ist eben im Begriff, den ersten Jahrring zu bilden. Unter dem Niveau *N* ist das System der Wurzel mit denselben consecutiven Jahreslagen dargestellt.

Im großen Ganzen dürfen wir annehmen, daß die consecutiven Jahresholzlagen ineinander geschachtelte Kegel sind, von welchen je ein jüngerer (später entstandener) das Convolut der vorhergehenden um die Länge eines Jahrestriebes überragt. Treten nun Wassertheilchen mit den Pfeilen *a*, *a'* an den äußersten Auszweigungen in

das System ein, so ist dieß ein osmotischer Vorgang. In dem osmotisch gespannten Gewebe der jüngsten Zuwachschicht des Wurzelsystemes werden die eingetretenen Wassertheilchen nach zwei Richtungen fortgeleitet:

1° in longitudinaler mit dem Pfeil *A* und

2° in transversaler mit den Pfeilen *b*, *b'*, *b''* u. f. f.

Die erstere Leitung ist ebenfalls ein osmotischer Vorgang, die letztere stellt man sich als eine Filtration vor, welche durch den in den osmotisch gespannten Zellen herrschenden hydrostatischen Druck bewirkt wird. Die Filtration in transversaler Richtung führt die Wassertheilchen in ältere Jahreslagen des Holzkörpers, zunächst der Wurzel und des Stammes, wo sie zum Theil imbibirt, jene Schwankung des sogenannten Trockencylinders bewirken, auf welche zuerst NÖRDLINGER und LAUPRECHT aufmerksam gemacht haben, sodann in longitudinaler, wo sie durch Adhäsion an den Wänden fortgeleitet werden. Nach PFITZER's Auffassung bewegt sich das Wasser in dem continuirlichen Röhrensystem der jüngeren Holzlagen als eine dünne Schicht auf der Innenseite der Gefäße und Tracheiden, welche der Innenseite dieser Röhren anhaftet und alle Hohlräume auskleidet, mit außerordentlicher Geschwindigkeit.

Die Richtigkeit dieser Anschauung zugegeben, muß immerhin darauf aufmerksam gemacht werden, daß diese Bewegungsart allein die hierher gehörigen Phänomene nicht vollkommen und nicht alle beherrscht; mehr noch, sie wird über das ganze System ohne die in jedem Punkte einer bestimmten Schicht herrschende osmotische Spannung selbst unmöglich.

Wenn die Wassertheilchen unter dem Einfluß der Osmose und des Filtrationsdruckes in tiefere Lagen des Holzconvolutes der Hauptwurzel eingedrungen, nun unter dem Einfluß der Flächenwirkung in der Längsrichtung fortströmen, so herrscht für dieselben offenbar der geringste Widerstand in der Richtung der Jahreslage des Holzes, in welcher sie sich befinden. Die Länge dieses Hohlkegels aber reicht nicht bis zur Verbrauchsstätte in den Blättern.

Nehmen wir an, es wären unter dem vorgedachten Filtrationsdruck eine Anzahl Wassertheilchen mit dem Pfeil *b* bis in das innerste Convolut gedrungen, eine andere Anzahl mit *b'* bis in die nächstfolgende Jahreslage des Holzes u. f. f., so werden die in *b* offenbar unter dem Einfluß der Längsbahnen nur bis zum Niveau *I*, die in *b'* bis zum Niveau *II* im Stamme fortgeführt, und nur diejenigen Theilchen, welche in der äußersten Schale, Pfeil *b''*, befindlich sind, besitzen eine bis zum einjährigen, beblätterten Zweige continuirliche Schicht der Leitung. Diese letztere Schicht aber ist nichts anderes, wie die während der Verdunstungsperiode entstehende wassergefüllte Zuwachschicht, die einzige, welche das ganze System bis zu den Blattstielen gleichmäßig überzieht. Wir sehen somit leicht ein, daß je tiefer jene durch Flächenwirkung der Membranen fortgeführten Wassertheilchen in einem gegebenen Querschnitt der Hauptwurzel oder des Stammes befindlich sind, um so weiter ist das Ende der Bahn in der Längsrichtung von derjenigen wasserführenden Schicht entfernt, welche mit dem Orte der Verdunstung in unmittelbarer Verbindung steht. Es läßt sich nun freilich annehmen, daß dieß kein absolutes Hinderniß für jene Translocation sei, da ja die älteren Jahreslagen seitlich durch Poren und Tüpfelporen communiciren, so daß, wenn jener Strom in dem ältesten Jahrring angekommen ist, er seitlich in den nächstjüngeren eintreten muß, um in ein nächsthöheres Niveau zu gelangen.

Nichtsdestoweniger verdient diese auf die QUINCKE'schen Versuche sich stützende Theorie die ernsteste Beachtung, weil aus dem Versuche hervorgeht, daß die supponirten Wasserhohlröhren sich mit großer Geschwindigkeit fortbewegen. Für die einjährige Pflanze,

in welcher die Geschwindigkeit der Strömung eine größere Rolle spielt, wird die Theorie jedenfalls eine größere Anwendung finden als für den Baum.

Die Filtration des Waffers (oder der Lösung plastischer Körper) aus der peripheren, während der ganzen Vegetationsperiode waffergefüllten und osmotisch gefpannten Zuwachsschicht in das Röhrensystem der älteren Holzlagen zugegeben, wird man vor Allem beachten müssen, daß die Bedingungen für dieselbe über das ganze System von der Wurzel bis zum einjährigen beblätterten Zweig vorhanden sind, und daß der Filtrationsstrom dort am stärksten ist, wo die osmotisch wirksamen Körper entstehen. Dieser Ort ist aber gerade das periphere Zweigsystem. Es bleibt somit die Osmose die letzte Betriebskraft, selbst dann, wenn man den mehr- und vieljährigen Betrieb ganz außer Betracht läßt, und das System nur für einen kleinen Zeitraum, aber einige Tage lang während der Zeit der Verdunstung in's Auge faßt. Wenn Jemand behauptet, die Osmose sei ein so langsam verlaufender Proceß, daß er nicht die Wassermasse zu decken vermöge, welche in wenig Tagen in der Krone des Waldbaumes abdunstet, so ist darauf zu erwidern, daß es sich gar nicht um das Phänomen handelt, welches sich an einer künstlichen Membran abspielt, sondern daß hier in jeder Zelle Druckkräfte in's Spiel kommen müssen.

Wir behalten im Auge, daß während der unter 5° geschilderten Vorgänge über das ganze System (und während der ganzen Periode der Verdunstung) sich abspielen:

1° das Wachsthum der Zweige und Blätter, welches gleichzusetzen ist einer Translocation gelöster Kohlehydrate durch unzählige bereits vorhandene Cellulosemembranen (April, Mai, Juni);

2° die Translocation der Stärke in der Rinde. Dieß ist ein Vorgang, bei welchem an dem erwachsenen Baum viele Pfunde fester Masse so in Bewegung gesetzt werden, daß das vielfache Gewicht Wasser über das ganze System der Strombahnen ausgetauscht wird;

3° die Translocation der Stärke in die älteren Holzlagen (s. weiter unten);

4° die Anhäufung fester Masse in den Knospen der im laufenden Jahr entfaltenen Blätter als Blatt- und Knospenanlagen für das nächste Jahr;

5° der Verbrauch des vorjährigen Stärkevorrathes und eines Theiles des diesjährigen durch die Bildung fester Membranen, ein Proceß, in dem für das ganze System wiederum viele Pfunde fester Substanz in Austausch gerathen gegen eine viel größere Wassermenge. Durch diesen Vorgang wird das ganze System mit allen Auszweigungen von Stamm und Wurzel gleichmäßig in eine neue feste Schale eingehüllt. In jedem Punkte des Stromsystems muß ein osmotischer Austausch von Wasser gegen feste gelöste Substanz erfolgen.

Werfen wir endlich einen Blick auf die anatomische Struktur des Laubzweiges während seiner Entwicklung. Fig. 293, S. 303, zeigt eine Reihe von Querschnitten durch den in der Entwicklung begriffenen, schon beblätterten Zweig von *Populus laurifolia*. Die Prismenstücke zwischen den Querschnitten *A, B, C* tragen die Blätter, in allen Phasen der Entfaltung. Vergrößern wir eines der Gefäßbündel in dieser Reihe, so erhalten wir die Figurenreihe Fig. 294, 295. Während die Gefäßbündel, welche in die Blätter eintreten, die Entwicklungsreihe Figur 294 *v v'*, Figur 295 *v* bis *v''''* durchlaufen, sind die Blätter noch in der Entwicklung begriffen und verdunsten. Alle tiefer wie der Querschnitt (Fig. 293 *C*) im zweijährigen Theile belegenen Stammstücke sind blattlos und verdunsten schwach.

Indem wir die anatomische Entwicklungsgeschichte in dem Zweig der letzten Ordnung studiren, gewinnen wir einen Einblick in die Wirkung der Osmose in derjenigen äußersten Schale der Krone und jedes dominirenden Astes, welche hauptsächlich für das

laufende Jahr durch ihre Verdunstung in Betracht kommt. Alle Zellen in den ersten beiden Abbildungen müssen wassergefüllt und osmotisch gespannt sein. In der Gruppe *a b* Fig. 294 *B* differenzieren sich die Tracheiden *v*, die Zellen des primären Cambialstreifens sind in der Theilung begriffen. Nach diesem Uebergang sind zwei Gruppen von Bastbündeln gebildet, eine an der Markgrenze, die andere in der Rinde *p* und *p'*; *v'* die letzten Tracheiden in dem Strahl *v v'*, Fig. 294 *A*. Der Cambialstreifen *c c'* hat den primären Marktstrahl noch nicht überbrückt. Die fünf Kanten an der Oberfläche des prismatischen Zweiges *K K'*, Fig. 293, entsprechen den fünf Hauptbündeln, welche als mediane Spuren in die Blätter traten. In den Kanten werden später vorspringende Korkkleisten gebildet. Das System dieser Korkkleisten ist jenes Maschensystem in dem aufgewickelten Cylinder Fig. 298. Bei der hier abgehandelten Pappel bleibt daselbe mit den Blatt- und Zweignarben mehrere Jahre an der Rinde erhalten.

In dem Uebergang *B* nach *C* Fig. 293 vollzieht sich die Ueberbrückung der sehr schmalen Marktstrahlen. Der Cambiumring schließt sich. Auf die primären Strahlen *v v' v''*, Fig. 295, hat sich der Holzzuwachs gelagert. Die cambiale Zuwachsfchicht ist weiter hinausgeschoben (*c* in derselben Figur). Ich habe in dieser Figur eine solche Partie gewählt, welche ein primäres Kantenbündel (Medianbündel für das Blatt) und mehrere Zwischenkantenbündel enthält. Die Lage dieser letzteren ist durch zwei von *e''* ausgehende punktirte Linien bezeichnet. Beachtenswerth ist nun, daß der secundäre Zuwachs im ersten Jahre sich nicht gleichzeitig in demselben Niveau über die Kanten- und Zwischenkantenbündel ausbreitet. Die Schale *x* breitet sich über die vier Strahlen (*v v''*) aus, springt dann nach innen bis zur inneren Grenze der Zwischenkantenbündel (zwischen den punktirten Linien *e e'*), welche zur Zeit dieser Beobachtung außen noch an cambiale Zuwachselemente grenzen.

Wenig tiefer wie das Niveau, in welchem diese Configuration herrscht, sind wir in dem sehr kurzen Cylinderstückchen der Niederblattregion, deren Blätter an unserm wachsenden Sproß wenige Tage vor dem Beginn dieser Entwicklungsgeschichte hinfällig wurden. Aus dieser Region stammen die Bündel *p'*, Fig. 294, und noch tiefer ist die der vorliegenden Entwicklungsgeschichte entsprechende Laubblattzone des zweijährigen Zweigstückes. Da die Interfolien im Zweigstücke der Niederblattregion kürzer sind, die primären Gefäßbündel dem entsprechend in stärkeren Krümmungen verlaufen, so muß sie für einen Strom aus dem zweijährigen nach dem einjährigen Stammstück wie ein plötzlicher Widerstand verzögernd auf die Stromgeschwindigkeit wirken.

Bei jeder solchen Entwicklungsgeschichte von wachsenden Sprossen, wie die vorstehende, deren es in der botanischen Literatur, zu einem anderen Zwecke freilich ausgeführt, wie der hier angestrebte, viele giebt, mußte sich der betreffende Forscher fragen, wenn er überhaupt eine physikalische Betrachtung in die Entwicklungsgeschichte einführte:

1° damit eine der Zellen in der Gruppe *a b*, Fig. 294 *B*, sich ausdehne zu dem Volum *v v'* u. f. f., mußte ein hydrostatifcher Druck auf die Membran wirksam sein, welcher zwar experimentell nicht bestimmt werden kann. Denkt man sich aber die Festigkeit und Dehnbarkeit in einer der genannten Zellen von denjenigen in gleich großen Kautschukröhrchen, so wird einem dieß Verhältniß hinlänglich vorstellig, um für die hier aufgestellte Erklärung zugänglich zu werden. Dieser Druck muß in der Entwicklungsreihe *A B C* wachsen, weil die Widerstände mit der Wandstärke wachsen. Seine Entstehung aber ist ohne einen osmotischen Strom gar nicht denkbar;

2° damit die feste Masse in demselben Uebergang auch nur in die Orte gefördert werde, welche wir mit *v v'* u. f. f. bezeichnet, müssen Druckkräfte auf die Zellenräume vorausgesetzt werden, gegen welche jene unter 1° genannten verschwindend klein sind.

Das Endvolum einer Tracheide zeigt eine 56fache Vergrößerung des cubischen Inhaltes des Anfangsvolumes.

Diese Umgestaltung in der Vertheilung der festen Masse würde noch auffälliger hervortreten, wollte man die Wandstärke der einzelnen Zellen mit berücksichtigen. Sie vollzieht sich in der äußeren Schale der Baumkrone da, wo soeben die Knospen in die Streckung gerathen, sie ist ganz unabhängig von der Höhe, indem ein Niveauunterschied auf sie keinen merklichen Unterschied in der Anlagerung der Masse in die Hohlräume zur Folge hat. Bei dieser ganzen Gliederung handelt es sich aber lediglich um osmotischen Austausch. Es ist somit mindestens der Nachweis geführt dafür, daß jeder Wasserstrom, wenn er nach dem Orte der Verdunstung gelangen soll, in dem letzten Theile seiner Bahn ein osmotischer sein muß. Mindestens bis zum Blattstiele haben wir den Strom verfolgt, denn wir können in dem Schema, Fig. 408 einen der Endzweige (4 nach 5 etwa) als Blatt, den anderen als Zweig gelten lassen. Endlich aber soll die größtmögliche Einschränkung für die vorstehende Theorie gemacht werden; wir haben nämlich in dem Vorstehenden schon deswegen eine Beschränkung ihrer Zulässigkeit eingeführt, weil wir den laufenden Zuwachs im verdunstenden einjährigen Zweige gar nicht in die Betrachtung hereinzogen und uns lediglich auf die Evolution der primären Gefäßbündel beschränkten. Es möge nämlich der Zeitraum in Betracht gezogen sein, wo in dem einjährigen Zweige der laufendjährige Zuwachs beendet ist. Die primären Bündel v , v'' , v''' , Fig. 295, welche nach den Blättern führen, liegen jetzt von dem wasserreichsten Gewebe, der cambialen Zuwachsschicht c c' (dieselbe Figur) am weitesten entfernt. Alle Hohlräume haben ihre größte Ausdehnung erreicht, auch das Blatt ist vollständig ausgewachsen. Die Differenzierung in Fig. 293 A beginnt jetzt in der geschlossenen Knospe, welche sich im nächsten Jahre entfalten wird. Von jetzt ab (Juli, August, September, October) wird die Osmose in der Strecke von der Blattbasis bis zur Blattfläche nicht direct wirksam sein können. Die Leitbündel v bis v''' im Zweige und im Blattstiele, sowie die Hauptnerven erster bis zweiter, bis dritter Ordnung werden zum Theil nur mit Wasser, zum anderen Theil mit Luft gefüllt sein können, so viel aber ist klar, daß wenn in v , v'' , v''' , Fig. 295, überhaupt tropfbares Wasser ist, dieß nur von der äußeren Zuwachsschale durch Transpiration dorthin gelangt sein kann.

§ 37. Assimilation¹⁾.

Das Wesen der Assimilation besteht darin, daß die Körper der Medien, welche die Pflanze umgeben: Wasser, Kohlensäure, Ammonsalze, Salpetersäuresalze und die gelösten Verbindungen, welche aus der festen Erdmasse stammen, die Phosphorsäure, Schwefelsäure, kiesel-saure Salze des Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium u. s. f., an bestimmten Orten in der Pflanze vereinigt, so im chemischen Sinne zusammengelagert werden, daß die Endproducte der Zersetzung zu Körpern werden, welche dem Pflanzenkörper ähnlich sind.

¹⁾ Dr. REINKE, Ueber einige biolog. Verh. der Corallorrhiza innata. Niederrhein. Gesellsch. für Natur- und Heilkunde. 17. Febr. 1873.

Wenden wir uns zunächst zur Betrachtung der Vorgänge, welche an der Pflanze mit der Affimilation in der Zeit parallel laufen, so ist zu beachten, daß die Aufnahme der oben genannten Rohnährkörper, die Verdunstung und die Translocation oder Fortleitung der Affimilationsproducte Vorgänge sind, welche mit unserem Proceß in denselben Zeitgrenzen sich abspielen, daß sie somit auf diesen zurückwirken, ebenso wie die Affimilation und die Translocation letzte Ursachen für die Verdunstung sind, insofern ohne diese Vorgänge ein nach dem Boden gerichteter Strom nicht unterhalten wird.

Es sind somit die Leitung von dem Boden aus nach den verdunstenden Blättern und die Absorption der aus dem Luftcean in das Blatt tretenden Gase (CO_2 und O), die Rückleitung der im Blatt gebildeten Affimilationsproducte (Zucker, Stärkemehl, Eiweiß) und der Zuwachs von Cellulosewänden an der Pflanze drei innig verbundene Bewegungsvorgänge, von welchen keiner für sich allein so vor sich gehen kann, wie in der complexen Zusammenwirkung ¹⁾.

Sehen wir davon ab, daß die Vertheilung der Affimilationsproducte

1) Den Baum kann man sich zerlegt denken in Kettenysteme von Zellen, welche, zum Theil ununterbrochen mit Wasser gefüllt, von der äußersten Wurzel nach der äußersten Blattspitze osmotisch wirksam sind. In einem solchen Kettenystem von Zellen, welches wir uns unter das Niveau des Bodens verlängert und ähnlich gestaltet denken dürfen, kann auf die Dauer nur Bewegung entstehen auf zweierlei Weise:

1° durch einen Temperaturwechsel, der sich nur langsam von dem oberen nach dem unteren Pol der Kette ausgleicht;

2° durch einen steten Zuwachs an osmotischer Differenz, welche gewissermaßen durch das Blatt aus der Atmosphäre von außen aufgenommen wird.

Wenn wir die oberirdischen Theile eines Baumes für sich in einen Kegel oder Cylinder zusammengezogen denken, ebenso alle Wurzeln in einen zweiten Rotationskörper, welcher die Fortsetzung des ersten ist, so können wir diese in einem Sinne scharf unterscheiden:

1° der erste Kegel giebt Wasser ab, seine Spitze (allgemein seine oberen Theile) ist der verdunstende, der zweite ist der wasseraufnehmende Pol der Kette;

2° das plastische Material, welches in dem Kettenystem zeitweilig in Lösung oder in Niederschlagskörpern von Kohlehydraten, zuletzt in Gestalt fester Zuwachsringe entsteht, tritt an dem oberen Pol ein, und nicht an dem unteren. Messen wir die durch die Lösung dieses Materials entstehende osmotische Spannung durch die Anzahl der in der Volumeinheit befindlichen gelösten festen Theilchen, so finden wir den oberen Pol in steter oder periodischer Steigerung, den unteren in steter oder periodischer Minderung seiner osmotischen Spannung begriffen.

Wir nehmen nun, wie schon angedeutet, an, daß die letzte Ursache der Bewegung außer der Temperatur der Zuwachs an plastischem Material ist, daß ohne diesen Zuwachs im Blatte ein Zuwachs der festen Hülle ebenfowenig wie eine Strömung in ihr denkbar ist, und erhalten: Der wirkliche endliche Zuwachs an osmotischer Spannung in der Kette ist von der Wurzel ganz unabhängig, deßwegen kann von der Wurzel niemals ein Zuwachs an stromerhaltender Kraft ausgehen.

in der verschiedensten Weise vor sich gehen kann, von dem Kürbis, welcher die größte Masse des in der Lichtperiode gewonnenen Stoffes an wenige riesenhafte Früchte, gegenüber dem Getreide, welches die Masse in kleine, aber zahlreiche Körner u. f. f. vertheilt, und sehen den Baum als einfachste Maschine deswegen an, weil er in mehreren Jahren, Jahrzehnten die gewonnenen Assimilationsproducte hauptsächlich zu seiner eigenen Befestigung, zum Zuwachs an solcher Masse verbraucht, welche in ihm abgelagert capitalisirt wird, so kann gezeigt werden, wie viel von dem Volum der Zuwachschale n aus dem Jahre n , und wie viel aus dem Jahre $n-1$ stammt (f. Fig. 317) ¹⁾.

Nennen wir zunächst a den mittleren Afchengehalt aller Theile, welche im Zeitraum T entstanden sind, a' den mittleren Afchengehalt des Waffers und m die im Zeitraum T entstandene Masse, so ist

$$Q = m \frac{a}{a'}$$

die Wassermenge, welche den Baum vom Boden aus durchströmte, nach der Atmosphäre verdunstete und die festen Theile zurückließ.

Ist ferner c' der mittlere Kohlenfäuregehalt des Luftceans, welcher mit dem Baum in Berührung trat und seine Kohlenfäure an denselben abgab, c aber die Kohlenfäure, welche aus der capitalisirten Masse entsteht, wenn sie vollständig verbrennt, so ist

$$Q' = m \frac{c}{c'}$$

1) Literatur über die Wirkung des Lichtes auf die Pflanze.

Dr. WILH. KNOP, Ueber das Verhalten einiger Wasserpflanzen zu Gasen. Leipzig. Leopold Voß. 1853. — JOS. ANTON BÖHM, Beitr. zur näheren Kenntniß des Chlorophylls. Wien. Hof- u. Staatsbuchdruckerei. 1857. Beitr. zur näheren Kenntniß des Pflanzengrüns. Separatabdr. aus d. Sitzungsber. d. k. Ac. d. Wiss. Wien. 1863. — J. SACHS, Ueber den Einfluß des Lichtes auf die Bildung des Amylums in den Chlorophyllkörnern. 365. Bot. Ztg. 62. Ueber den Einfluß des Tageslichtes auf Neubildung und Entfaltung verschiedener Pflanzenorgane. 1—30. z. Mo. 31—33. Bot. Ztg. 1863. Ueber die Auflösung und Wiederbildung des Amylums von Chlorophyllkörnern bei wechselnder Beleuchtung. 289. Bot. Ztg. 64. Wirkungen farbigen Lichts auf Pflanzen. 353. 61. 69. Bot. Ztg. 64. — ALEX. v. WOLKOFF, Einige Untersuch. über die Wirkung des Lichtes von verschiedener Intensität auf die Ausscheidung der Gase durch Wasserpflanzen. S. 1. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — Dr. E. ASKENASY, Beiträge z. Kenntniß des Chlorophylls und einiger daselbe begleitender Farbstoffe. 225. 33. Bot. Ztg. 67. — MARC MICHÉLI, *Quelques observations sur la matière colorante de la chlorophylle*. 1867. — Dr. AD. MAYER, Production von organischen Pflanzenstoffen bei Ausschluß der chemischen Lichtstrahlen. Abh. a. d. «Landw. Versuchsstationen». 1867. — Prof. A. FAMINTZIN, Die Wirkung des Lichtes auf die Zelltheilung der Spirogyra. (*Mélanges physiques et chimiques tirés du bulletin de l'ac. impériale des sciences de St.-Petersbourg*. 1868.) — C. TIMIRJASEFF, Ueber die relative Bedeutung von Lichtstrahlen verschiedener Brech-

die Luftmasse, und wenn wir mit der Dichte dividiren, das Luftvolum, welches von dem Baum im Zeitraum T umspült war, oder bestimmter ausgedrückt, das Luftvolum, welches einerseits von den Blättern, andererseits von dem Wasser des Bodens seiner Kohlenäure beraubt wurde. Führt man die numerische Rechnung aus, indem man einführt für m 1 g für

- a 0,002 für die Gefammtasche der Fichte etwa,
- a' 0,0015 für den mittleren Gehalt im Drainwasser,
- c 1,83 g für 1 g Cellulose,
- c' 0,05 Volumprocente Kohlenäure in der atmosphärischen Luft,
- m 1 g,

so erhalten wir näherungsweise 1—2 cbm Wasser und 2—3 cbm Luft, welche nöthig waren, um 1 g Holzsubstanz zu bilden.

barkeit bei der Kohlenäurezeretzung in Pflanzen. 169. (Vorl. Mittheilung.) Bot. Ztg. 69. — Dr. W. PFEFFER, Die Wirkung farbigen Lichtes auf die Zeretzung der Kohlenäure in Pflanzen. — SACHS, Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg. Heft 1. Leipzig. 1871. Engelmann. — W. PFEFFER, Zur Frage über die Wirkung farbigen Lichtes auf die Kohlenäurezeretzung. 319. Bot. Ztg. 71. — B. FRANK, Ueber lichtwärts sich bewegende Chlorophyllkörner. 209. 225. Bot. Ztg. 71. — J. REINKE, Ueber den Einfluß farbigen Lichtes auf lebende Pflanzenzellen. 790. 797. Bot. Ztg. 71. — J. BARANETZKY, Bemerkungen über die Wirkung des Lichtes auf Vegetationsproceß und Chlorophyllzeretzung. 193. Bot. Ztg. 71. — J. WIESNER, Vorläufige Mittheilung über das Auftreten von Chlorophyll in einigen für chlorophyllfrei gehaltenen Pflanzen. 619. Bot. Ztg. 71. — Prof. Dr. Jos. BEHM, Ueber die Bildung von Sauerstoff durch grüne in kohlenäurehaltiges Wasser getauchte Landpflanzen. (Abdr. aus dem Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch.) 1872. — Dr. GREGOR KRAUS, Zur Kenntniß der Chlorophyllfarbstoffe und ihrer Verwandten. Stuttgart. E. Schweizerbart. 1872. — W. PFEFFER, Die Wirkung der Spectralfarben auf die Kohlenäurezeretzung in Pflanzen. 425. 449. 465. Bot. Ztg. 72. — Dr. Jos. BEHM, Ueber den Einfluß der Kohlenäure auf das Ergrünen und Wachstum der Pflanzen. Abdruck a. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. 1873. — N. PRINGSHEIM, Untersuchungen über das Chlorophyll. Kgl. Akad. d. Wissensch. October 1874. — JUL. WIESNER, Vorläufige Mittheilung über den Einfluß des Lichtes auf Entstehung und Zerstörung des Chlorophylls. 116. 559. Bot. Ztg. 74. — A. BATALIN, Ueber die Zerstörung des Chlorophylls in den lebenden Organen. 433. Bot. Ztg. 74. — A. MAYER, Ueber Sauerstoffabscheidung aus Pflanzentheilen bei Abwesenheit von Kohlenäure. Sep.-Abdr. a. d. Verh. d. Heidelberger naturhist.-med. Vereins. 4. August 1875. — FR. K. KNAUER, Unsere Kenntnisse von der Entstehung und dem Baue des Chlorophylls. Wien 1875. Alfred Hölder's Universitäts-Buchhandlung. — H. HOFFMANN, Culturversuche. 601. 617. Bot. Ztg. 75. Ein Beitrag zur Lehre von der Vitalität des Samens. 681. 697. Bot. Ztg. 75. — E. ASKENASY, Ueber die Zerstörung des Chlorophylls lebender Pflanzen durch das Licht. 457. 473. 496. Bot. Ztg. 75. H. HOFFMANN, Culturversuche. 545. 561. Bot. Ztg. 76. — E. ASKENASY, Ueber den Einfluß des Lichtes auf die Farbe der Blüten. 1. 27. Bot. Ztg. 76. — B. FRANK, Ueber die Veränderung der Lage der Chlorophyllkörner und des Protoplasmas in der Zelle und deren innere und äußere Ursachen. PRINGSH. Jahrb. VIII. S. 216. — J. WIESNER, Untersuchungen über die Farbstoffe einiger für chlorophyllfrei gehaltenen Phanerogamen. PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 575. — E. LOMMEL, Ueber Fluorescenz.

A. Uebersicht der Erscheinungen an der Erde¹⁾.

Die grüne Pflanze zieht in den Kreislauf der organischen Bewegung vorzugsweise herein: die verschwindend kleinen Mengen von Ammon- und Salpeterfäurefalzen und die Kohlenfäure, welche ebenfalls einen sehr kleinen Volumtheil der Atmosphäre ausmacht. Nach den Beobachtungen von BOUSSINGAULT, dem wir die exacte Bearbeitung eines Theiles der hier einschlägigen Fragen verdanken (s. oben S. 403), häuft die Pflanze zunächst die assimilablen Formen der Stickstoffverbindungen. Bei diesem Proceß wird freier Sauerstoff in die Atmosphäre abgeschieden und verbrennliche Substanz in dem assimilirenden Pflanzentheile angehäuft. Die grüne Pflanze erhält

¹⁾ Zwei Proceffe spielen sich an der Erdoberfläche ab und erhalten die organische Bewegung durch Jahrtausende continuirlich. Der eine ist eine Verbrennungsercheinung und erzeugt Wärme und durch deren Verbrauch äußere Arbeit, der andere ist ein Abforptionsphänomen; dieser verbraucht Wärme und Licht, erzeugt chemische Spannkraft, welche zum Theil an der Oberfläche der Erde in Form von Wäldern und Kohle-fedimenten capitalisirt, zum Theil in der äußeren Arbeit von Lebewesen langsamer oder schneller ausgelöst wird. Die Erde erscheint uns unter diesem Gesichtspunkt als eine Zelle, mit einem außerordentlich dünnen Ueberzug zum großen Theile grüner Gewächse, an welchen sich das Abforptionsphänomen für Licht und strahlende Wärme vollzieht, die grüne Pflanze somit als die Maschine, in welcher chemische Spannung gebildet wird. Der Sonnenstrahl ist die einzige letzte Betriebskraft für diese Maschine. Leicht ist einzusehen, daß dieselbe für unsere Maschine eine constante Strömungsbewegung ist, welche mit gleich bleibendem Gefälle von der Sonne ausgeht. In ungeheuren Zeiträumen erst wird sie mit der Abkühlung des Sonnenkörpers ein Ebben, ein Nachlassen in der Intensität, eine Verringerung des Gefalles zeigen können. Für eine gegebene Pflanze wird somit die Größe des Umsatzes, des Betriebes, außer von ihren spezifischen Eigenschaften, lediglich von ihrer Fläche und der Zeit abhängig sein. Diese Betrachtung führt uns zu dem Capital an chemischer Spannkraft in den Wäldern, in den Kohlenflötzen und Torfmooren und auf diesem Wege zu früheren geologischen Epochen.

Die Rente der Betriebskraft läßt sich messen durch das Gewicht fester verbrennlicher Substanz, welches in einem gegebenen Zeitraum auf einer gegebenen Lichtfläche zurückgelegt wurde.

Von solcher Betrachtung ausgehend, lernt man die Pflanze als eine Maschine ansehen, welche das endliche Reservoir organisirter Masse an der Erdoberfläche dauernd in Bewegung erhält, indem sie von jener von der Sonne ausgehenden Betriebskraft eine verschwindend kleine Menge in sich aufnimmt. Was sich an der Erdoberfläche in ungeheuren Proportionen und in ungeheuren Zeiträumen vollzieht, könnte man in einem Experiment, bezogen auf einen winzigen Raum, ausführen. Man könnte das Wesen des Betriebes an der ganzen Erdoberfläche durch ein Differenzexperiment einfacher Art zur Anschauung bringen: ich denke mir einen geschlossenen Raum von Glas, welcher so beschaffen sein möge, daß die gewogene Menge atmosphärischer Gase aus dem Recipienten *M* nach dem Recipienten *M'* diffundiren oder strömen kann. In *M* möge eine Maschine oder ein niederer thierischer Organismus arbeiten oder leben. In *M'* möge eine niedere grüne Pflanze vegetiren. Der Behälter wird mit der nöthigen Menge anorganischer Nährsalze besetzt

somit stetig den umgekehrten Proceß, welchen zu gleicher Zeit die Thiere und alle Wärmemaschinen ausführen. Letztere consumiren verbrennliche Substanz stets auf Unkosten der von Pflanzen capitalisirten Assimilationsproducte. Der Vorrath von verbrennlichen Körpern dieser Art, welcher im gegebenen Zeitpunkt an der Erdoberfläche befindlich ist, könnte gewogen gedacht werden. Er stellt in sicherem Sinne die potentielle Energie der organischen Welt dar. Im Umtrieb von der verbrennlichen Form (potentielle Energie der Molecularcomplexe) nach dem Zustand des Verbrennens in lebenden Pflanzen, Thieren und in Maschinen (actuelle Energie) befinden sich somit *C, H, O, N*, und sie befanden sich, ehe sie in ersteren Zustand eintreten, mit Ausnahme des atmosphärischen Sauerstoffs im Zustande höchster Oxydation als Salze oder für *C* als CO_2 .

B. Die Endproducte der Assimilation und deren Verbrennungswärme.

Wir setzen hier, was später (S. 474 Note) zu erweisen ist, voraus, daß

und kann offenbar so zugeschmolzen werden, daß nach außen ein Verkehr absolut unmöglich ist. Er kann so beschickt werden, daß die Proceße in der Verbrennung in *M* genau æquilibriert werden durch die Reduction in *M'*. Der Apparat ist eine Welt für sich, in welcher, wenschon in verschwindendem Maße gegenüber denselben Vorgängen an der Erdoberfläche, für lange Zeit, wenn nicht für immer, organische Bewegung herrscht. Der Apparat kann in allen Punkten gleiche Temperatur besitzen, mit Ausnahme selbstredend der Lebewesen selbst in ihm, er kann in *M* beschattet, ja selbst in absoletter Dunkelheit sein. In *M'* aber muß, wenschon mindestens diffuses Licht eindringen. In einem gleichen Apparat, welcher als Parallelversuch hergestellt und in gleichem Sinne beschickt und in absoletter Dunkelheit aufbewahrt ist, wird Tod eintreten, während in dem ersten für lange Zeit Bewegung erhalten bleibt. Wir haben somit eine gewogene Menge anorganischer Salze und die atmosphärischen Gase in dem ersten Apparat in Umtrieb gesetzt, so daß ein umkehrbarer Kreisproceß stetig unterhalten blieb durch einen verschwindend kleinen Aufwand von strahlender (leuchtender) Wärme.

In unserem Apparat ist eine gewogene Menge Kohlenstoff in Form von zwei Maschinen (ein Thier und eine Pflanze) und der Form von Kohlensäure im Betriebe. Offenbar wird die Größe des Betriebes außer von der von außen einfallenden Betriebskraft noch von der Beschaffenheit der beiden Maschinen abhängen, d. h. von der Anzahl der Uebergänge eines Kohlenstoffatoms nach dem Oxydationszustand Kohlensäure und umgekehrt von diesem nach dem Zustande der Reduction. Mit Hilfe des Apparates kann somit gezeigt werden, daß Licht die einzige Betriebskraft für einen stetig anhaltenden Umtrieb ist. Der Apparat reicht aber nicht aus, um das absolute Maß im mechanischen Sinn für den Betrieb zu messen. Die grüne Pflanze selbst ist eine Maschine, welche außer der Reduction auch den Proceß der Athmung ausführt. Draußen im Freien spielen sich somit beide Vorgänge in jedem Blattflächenelement ab. Werfen wir einen Blick auf die Vorgänge im Waldbaum. Wir nennen die Gesamteinnahme in einem Lichtumtrieb das Gewicht an verbrennlicher Substanz.

die Verbrennungswärme der Assimilationsproducte gespeicherte Sonnenwärme ist¹⁾).

Ehe diese Körper irgend wo und wie, sei es in der Pflanze oder im Thierkörper, zu der Verbrennung kommen, führen sie gewisse Bewegungen in der Pflanze selbst aus, welche im chemischen Sinne bis jetzt nicht aufgeklärt sind. Zuletzt werden sie als feste Niederschläge, Cellulose, Stärkemehl oder als Zellinhalte, Protoplasma, Eiweiß in bestimmten Zellen dauernd angehäuft oder sie fließen als Baustoffe in den Thierkörper. Vergleicht man

¹⁾ Das Gewicht verbrennlicher Substanz in einem Baum, dessen Wärmemenge dem aufgenommenen Maße Sonnenwärme entspricht, setzt sich zusammen aus:

1° einem Theil, welcher verbraucht wurde, um Eigenwärme, sowie äußere positive Arbeit zu produciren (s. unten Arbeit der Pflanze);

2° einem Gewichtstheil von Secreten (Körper, welche für weitere Verwendung bedeutungslos sind); dahin gehören:

a) alle im Innern des Baumes zum Theil strömenden, zum Theil ein- für allemal abgetriebenen Körper, welche nicht in die feste Hülle eingehen;

b) alle Theile, welche abtropfen oder abfallen, Blätter, Früchte, Zweige;

3° dem Gewicht an fester Substanz im Zuwachse;

4° dem Gewicht derjenigen gelösten und zeitweilig im Zustande eines Niederschlages befindlichen Körper, welche früher oder später einmal den Zuwachs der festen Hülle vermehren (z. B. der Stärkevorrath).

Der unter 4° genannte Theil aber setzt sich wieder aus zwei Theilen zusammen. Der eine Theil geht in der nächsten Vegetationsperiode (allgemein einer späteren Zeit, bezogen auf den Zeitpunkt unserer Bilanz) in die unter 1° bis 3° genannten Theile über, oder er wird zum Athmungsanwand verbraucht. Der Rest stellt eine jedenfalls verschwindend kleine Masse, das Lebewesen des Baumes dar.

Denken wir uns nun mit Hilfe der schärfsten analytischen Methoden das Gewicht aller dieser Theile am Ende eines Lichtumtriebes festgestellt, so würde uns dennoch ein Theil der in dem Gewicht fester Substanz aufzufuchenden Wärmemenge entgangen sein. Dieser Rest läßt sich experimentell nicht bestimmen, wie ich in dem Nachfolgenden zu zeigen habe. Ich betrachte, um dieß zu erweisen, zuerst den einjährigen Umtrieb (Ausfaat-Ernte) bei einem Getreidekorn; sodann den vieljährigen Umtrieb bei einem Waldbaume, und untersuche zuletzt die Einnahme auf gleicher Fläche für beide.

In einem gegebenen Cultur-Areal ist bei constantem Zustuffe aus dem Boden nach der Pflanze, wie bekannt und wie früher schon betont wurde, das Licht die einzige Betriebskraft, die Culturpflanze wird zum Wirthschafter und die Gesammteinnahme ist die Wärmemenge, welche durch die Pflanze producirt wird, plus der in Form fester, verbrennlicher Substanz capitalisirten Masse.

Wir sehen aus dem Verlauf dieses Processes somit, daß die Capitalisation von Kohlenstoff, wie sie etwa in der Steinkohlenperiode an der Erdoberfläche stattgefunden hat, bei einjährigen Pflanzen unmöglich wird; selbst wenn wir uns in der geschilderten Bewegung ein Moment denken, welches die Lichtfläche vom ersten nach dem zweiten, nach dem dritten jährlichen Umtrieb um das *n*-fache vergrößert.

Ließen wir gar andererseits die Lichtfläche constant durch alle Umtriebe, so ist klar, daß der Verlust an verbrennlicher Substanz noch größer sein würde. In jener Reihe würden

die Verbrennungswärme folcher mit derjenigen des reinen Kohlenstoffes¹⁾, so ist dieselbe am größten bei vollständiger Verbrennung in reinem Sauerstoff, für 1 g verbrannten C werden 7678 g Wasser um 1° C. erwärmt. Bei der Verbrennung in atmosphärischer Luft aber werden nur gegen 4–5000 g Wasser um 1° C. erwärmt. Die Cellulose in der atmosphärischen Luft verbrannt, ergibt nahezu 4000 Wärmeeinheiten. Für verschiedene der wichtigeren Affimilationsproducte erhalten wir:

für 81 g Eiweiß	374	Calorien,
« 116 « Fett	1044	«
« 263 « Stärke	1052	«

(nach FICK, Die Naturkräfte in ihrer Wechselwirkung. Würzburg. Stahel. 1869).

zunächst in den ersten Umtrieben die Gewichte (p) der Erntekörner kleiner werden, weil in dem Areal die Anzahl der in ihm möglichen Keimpunkte überschritten ist; sodann aber würde von Umtrieb zu Umtrieb stets mehr Kohlenstoff durch Athmung verloren gehen, als für das Maximum des Betriebes nöthig ist. Nach derselben Anzahl von Jahren, wie in dem ersten Fall, wo wir die Licht(Cultur)fläche wachsen ließen, wird fomit die letzte Körnerernte, alle übrigen Bedingungen gleich gedacht, kleiner sein.

Der Nachtheil, in welchem sich einjährige Pflanzen befinden, gegenüber dem dauernden Baume, liegt fomit darin begründet:

1° daß sie in einer unbegrenzten Kette von Umtrieben einen zu großen Aufwand in der Athmung treiben;

2° daß sie mit jedem neuen Umtrieb das den Racenstamm erhaltende Lebewesen in solche Keimlinge vertheilen, welche ihre Wirthschaft mit dem größten Aufwand beginnen;

3° daß mit jeder solchen Vertheilung der Verlust der vorher besetzten Lichtfläche verbunden ist;

4° daß sie in der Richtung des Sonnenstrahles die geringste Ausdehnung erreichen, fomit die Betriebskraft am schlechtesten ausnutzen.

1) Verbrennungswärme 1 g in O-gas, d. h. wenn 1 g der verzeichneten Elemente in O vollständig verbrennt, werden

g Wasser um 1° C. erwärmt.

H	33808
C	7678
S	2307
Fe	4134
Zn	5366

Verbindungswärme mit Säuren.

1 g mit	SO ₃	NO ₃	ClH
KaO	342	330	333
NaO	520	493	493
FeO	303	268	273
ZnO	255	203	203

Verbindung mit Cl,

1 g der Substanz.

K	2655
Zn	1529
Fe	1745

In einem von Pflanzen besetzten Areal der Erdoberfläche stellt die Pflanze eine wärmefammelnde Maschine dar, welche in, für sie selbst unvortheilhafter Weise verbrennliche Substanz häuft, wenn sie das von ihr beherrschte Areal nach einer Sommerperiode wieder preisgibt, so die einjährigen Culturpflanzen. Dieß beruht einfach darin, daß die von einer gegebenen Pflanze mögliche Ansammlung von Wärme aus den Sonnenstrahlen direct proportional der Zeit und direct proportional der Fläche ist, welche von der Pflanze besiedelt ist.

In den ärmsten Regionen, in der arctischen und hochalpinen, herrschen fast nur Flechten, welche dennoch stete und merkliche Verbrennungswärme häufen, weil sie selbst keinen Aufwand machen und weil sie ausdauern¹⁾.

¹⁾ Wir haben es am einfachsten, wenn wir absehen von jenen perennirenden Pflanzen, welche zwar periodisch, wie die einjährige Pflanze, dem Lichte einen, im ersten Umtrieb hinfalligen Sproß entgegenenden, sonst aber mit einem unterirdischen Stocke ausdauern, mit dem Baume, als einem Lebewesen zu thun, welches zu der vorjährigen Einnahme die diesjährige hinzufügt, ohne daß das zurückgelegte Capital außer Continuität geräth mit dem Zuwachs. Die Gesamtbewegung als Folge der in dem bewohnten Areal eingeströmten und verbrauchten lebendigen Kraft des Lichtes verläuft aber, wie sich leicht ergibt, ganz anders wie bei der einjährigen Pflanze. Dort war die für das Lebewesen verfügbare Lichtmenge eine so begrenzte, daß ein Zuwachs an verbrennlicher Substanz für den Stamm der Race nur zu ermöglichen war dadurch, daß wir die Lichtfläche von Umtrieb zu Umtrieb vergrößerten und zwar so, daß sie im directen Verhältnisse zu der Anzahl der Ausfaatobjecte wächst. Jetzt wächst der Zuwachs mit der Zeit, weil in Folge jener Continuität der aus den aufeinanderfolgenden Umtrieben erhaltenen Zuwachsmassen die Lichtmenge, welche dem Stamme zufließt, eine größere wird. Bis zu einer gewissen Grenze wächst die Lichtfläche und damit die Betriebskraft, ohne daß das bewohnte Areal vergrößert zu werden braucht.

Die Betriebsfläche des Baumes wird auf einen stetig zunehmenden Rotationskörper (die Krone) hinausgeschoben, die Anzahl der Licht aufnehmenden Blattschichten wächst in Richtung des Sonnenstrahles. Zwar wird, wie bei dem einjährigen Umtriebe und vorzugsweise in der gemäßigten Zone, alljährlich ein ähnlicher Aufwand getrieben, welcher in geometrischer Progression mit dem Stamme wächst, dadurch, daß die sich entfaltenden Knospen athmen, dadurch, daß alljährlich ein Theil oder alle Blätter hinfallig werden; nichtsdestoweniger ist diese Maschine vortheilhafter eingerichtet:

1° weil alle Knospen (Keimpunkte) mit einem gemeinschaftlichen größten Reservoir in Verbindung stehen, aus welchem sie ihren Aufwand (derselbe setzt sich wie bei dem Getreidekorn aus drei Theilen zusammen, von welchen wie dort jeder für den Stamm eine geometrische Reihe bildet; jetzt aber fällt der Verlust und die äußere Arbeit für Zweige und Wurzeln fort, oder er ist auf ein Minimum beschränkt) decken; während bei der einjährigen Pflanze jedem Keimobject eine gewisse Menge verbrennlicher Substanz mitgegeben wird, von welcher der Ueberschuß verloren geht, fließt der Ueberschuß bei dem Betrieb der Knospenentfaltung zurück in das gemeinsame Reservoir; der letztere Betrieb ist aus diesem Grunde schon rationeller;

2° weil ein Theil der äußeren Arbeit nicht mit jedem Umtrieb verloren geht, sondern in dem Zweigsystem erhalten bleibt;

Daselbe gilt für fast alle Moose, für alle perennirenden Phanerogamen und höhere Cryptogamen an solchen Grenzen der Vegetation, wo die übrigen Lebensbedingungen außerordentlich ungünstig sind. Alle den Waldschatten bewohnenden Moose sind z. B. im Allgemeinen im Walde perennirend, viele Acker bewohnende aber sind einjährig. Das vornehmste Studienobject aber ist der Wald, wo von Jahr zu Jahr, immerhin jedesmal mit dem Aufwand sämmtlicher oder eines Theiles der Blätter, während des Zeitraums von Jahrhunderten verbrennliche Masse in den Jahreslagen des Holzkörpers gespeichert wird.

3^o der Aufwand in der Auflockerung der Gewebe ist in der Baumknospe kleiner wie in dem Saatkorn, weil die Disgregationsgröße eine kleinere ist; wir verstehen unter derselben den Unterschied im Volumen einer und derselben Zelle von dem jüngsten kleinsten nach dem ältesten größten Zustande; dieser Unterschied ist an der vegetativen Knospe kleiner wie an der embryonalen, er ist an dem Haupttrieb kleiner wie am Seitentrieb — er ist an einer Hauptknospe, welche 100 Jahresperioden glücklich bestanden, kleiner wie an einer solchen, welche erst wenige Jahre sich geöffnet und geschlossen hat.

Wir dachten uns für eine und dieselbe Lichtfläche alle Massen gewogen für eine und dieselbe Pflanze und erhielten in dem Gewichte der von der Pflanze in der Zeiteinheit producirten verbrennlichen Substanz das Aequivalent der mechanischen Arbeit für das in die Lichtfläche, resp. das Pflanzenblatt, in dem gegebenen Zeitintervall eingeströmte Licht. Nennen wir nun L denjenigen Theil der lebendigen Kraft des Sonnenstrahls, welcher für die gegebene Zeit von der Blattfläche abforbirt, als Licht und Wärme in dem durchgegangenen Theil des Strahles fehlt, und denken uns diesen Theil in Calorien (Wärmeeinheiten) oder in Kilogrammetern (äußere Arbeit) ausgewerthet; nennen wir l die Wärme in Wärmeeinheiten, welche die bestrahlte Pflanze als chemische Arbeit behält; l' den Theil, welchen sie ausstrahlt, a die in der gegebenen Zeit geleistete äußere Arbeit in Wärmeeinheiten ausgemessen und a' die Anzahl der Wärmeeinheiten, welche durch Verbrennung der in dem gegebenen Zeitintervall capitalisirten Masse erhalten wird, so würde die Gleichung bestehen:

$$L = l + l' + l'' + a + a'.$$

Offenbar würden wir in der Summe, wenn wir a und l, l' genau experimentell bestimmen könnten, in der rechten Seite genau dieselbe Anzahl von Wärmeeinheiten finden, und wir könnten mit einer gegebenen Pflanze für jeden Lichtgrad die mechanische Leistung bestimmen.

Diese Bestimmung aber ist unmöglich. Wie ich zu zeigen habe, ist es nicht möglich, a' experimentell zu bestimmen. Man kann wohl mit Hilfe der Photographie, mit Hilfe des POUILLET'schen Pyrheliometers und des Thermomultiplicators bestimmte Wirkungen des Sonnenstrahles vergleichen, in Bezug auf die Wirkung des Strahles in der Pflanze aber haben solche Messungen keine Bedeutung, denn wir erhalten lediglich in dem Zuwachs an verbrennlicher Substanz ein Maß für die Leistung des Sonnenlichtes in der Pflanze, welche nicht verglichen werden kann mit der Wirkung des Strahles auf einen Photometer.

Stellen wir in die Sonne zur gleichen Zeit ein directes Pyrheliometer nach der Angabe POUILLET's, ferner einen Photometer, wie ihn ROSCOE vor schlägt, und eine abgemessene grüne Blattfläche, so haben wir in jedem dieser einen Apparat, welcher mechanische Leistung des Sonnenlichtes angiebt. Nach einer gewissen Zeit giebt uns der Pyr-

In pflanzengeographischer Hinsicht sind über die ganze Welt die immergrünen Nadelhölzer die Pioniere. An der polaren Grenze sowohl wie in der alpinen Region beherrschen sie die letzte Baumgrenze, weil sie selbst den Aufwand im Verlust der Blätter nicht mehr machen, welcher den Laubwald gefährdet durch Spätfrost und Consum von plastischen Körpern.

C. Die Arbeit der Pflanze gegenüber den äusseren Agentien.

Es soll hier nicht die Aufgabe gelöst werden, alle Beziehungen der Pflanze zu äusseren Agentien zu studiren, sondern es handelt sich lediglich darum, an einem schlagenden Beispiele zu zeigen, wie zwei Organismen als Antagonisten in dem Haushalte der Natur erscheinen, von welchen einer

heliometer nach POUILLET in einer gewissen Anzahl von Wärmeeinheiten die mechanische Leistung der Sonnenwärme, der Photometer von ROSCOE oder besser ein Photometer, in welchem durch die Verbindung von Chlor und Wasserstoff die Intensität des Lichtes gemessen wird, giebt uns die chemische Wirkung, und die Pflanze giebt uns in dem reducirten Kohlenstoff ein Maß für die Leistung des Lichtes. In den ersten beiden Apparaten verlaufen während der Bestrahlung die Prozesse in einem Sinne; von dem Photometer, den wir Pflanze nennen, wissen wir aber, daß er zwei Prozesse in derselben Zeit ausführen kann, welche sich ihrer mechanischen Bedeutung nach gegenseitig vernichten. Es ist die Athmung und die Reduction, erstere vermindert, letztere mehrt jenes Gewicht an reducirter Substanz, durch welches wir die mechanische Leistung der Strahlung bestimmen. Die Methode der Untersuchung erlaubt nun, wie leicht zu übersehen ist, nicht, beide Prozesse getrennt zu messen.

Aus unserer Discussion geht hervor: daß es in hohem Grade wahrscheinlich ist, daß die Häufung verbrennlichen Kohlenstoffcapitals durch grüne Pflanzen an der Erdoberfläche um so schwieriger war, je weniger perennirende Gewächse dieselbe bedeckten, daß es somit höchst wahrscheinlich ist, daß im Beginn der Wirthschaft niedere und sodann höhere Dauergewächse mit vieljährigem Lichtumtriebe jene Kohlenanhäufung ausführten, von welcher wir in dicht bevölkerten Erdtheilen noch jetzt in gewissem Sinne unsere Existenz fristen. Auch eine Betrachtung aus dem gewöhnlichen Leben zeigt uns, daß in dem großen Verkehr zwischen thierischen Lebewesen und der Pflanze alle organischen Massen, welche den Weg nach dem thierischen Körper einschlagen, wohl eine plötzliche Steigerung der organischen Bewegung bewirken, insofern sie bei höherer Temperatur (Blutwärme) verbrennen und in vollkommensten Maschinen Arbeit leisten. Das Endresultat dieser Bewegung ist aber doch ein Consum und zwar ein rascherer Consum chemischer Spannkraft, wie wenn dieselbe verbrennliche Masse in einem Baume capitalisirt würde. Die Größe des Betriebes in dem, bezogen auf jenes von der Sonne ausgehende Gefälle (Licht und strahlende Wärme) besten Wirthschafter, in dem Baume etwa, welcher am raschesten verbrennliche Substanz anhäuft, hängt noch von dem Kohlen säuregehalt der Atmosphäre ab. Für die Phase, in welcher unsere Erdoberfläche sich jetzt befindet, ist es von Interesse, das Maximum der Ausnutzung des Sonnenlichtes durch Wald zu berechnen, bezogen auf die mechanische Kraft, welche als Licht und Wärme einströmt. Freilich wird eine solche Rechnung nur äußerst näherungsweise sein können, weil in so extensivem Wirthschaftsverfahren, wie das forstliche, wohl niemals eine genaue Bestimmung der Production in unserem Sinne möglich sein wird.

außerordentlich große lebendige Kraft der sichtbaren Bewegung zeigt bei intensiver Verbrennung, während der andere eine minimale Verbrennung, aber auch eine verschwindend kleine äußere Arbeit in der lebendigen Kraft der Bewegung zeigt¹⁾.

Die Arbeit eines Pferdes kann geschätzt werden zu 4500 kgmeter in der Minute. Für acht Stunden macht dieß die Gesamtleistung von 2 160 000 kgmeter, und es wird aufgewandt nach dem mechanischen Aequivalent der Wärme die Verbrennungswärme von 670 g Kohle, d. h. aus den Nahrungsmitteln, deren Verbrennung in der thierischen Wärme zum Vorschein kommen würde, geht jenes Maß der Verbrennungswärme verloren und kommt in der äußeren Arbeit wieder zum Vorschein.

¹⁾ Ich nehme einen Hectar Lichtfläche, welche mit 100jährigem Buchenbestande unter den günstigsten Bedingungen der Bodenverhältnisse und der Wirthschaft Kohlenstoff capitalisirt. Die Gesamteinahme eines solchen Areal's berechnet sich nach einer sehr genauen Zusammenstellung von TH. HARTIG zu 1276 cbm fester Holz- und 1 049 166 kg Laubmasse. Das erstere Maß in Gewicht umgerechnet, indem wir die mittlere Dichte gleich 0,05 setzen, erhalten wir 638 000 kg, das Trockengewicht der Laubmasse zu 0,66 des Frischgewichtes gesetzt, erhalten wir 703 449,5 kg. Im Gesammt 1 441 449 kg verbrennlicher Substanz. Als Verbrennungswärme von 1 g Cellulose nehmen wir die experimentell bestimmte zu 4314 Wärmeeinheiten, und erhalten so in 100 Jahren in 1 h 596 759 886 000 Wärmeeinheiten angehäuft.

Nach den Messungen POUILLET's erhält 1 qcm Erdoberfläche im Durchschnitt 231 684 Wärmeeinheiten in einem Jahre. Für unser Areal und für die Umtriebszeit ist die Strahlung somit das Product aus dieser Anzahl von Wärmeeinheiten in zehn Millionen mal die Anzahl der Jahre eines wirthschaftlichen Umtriebes (100 Jahre). Diese mechanische Leistung entspricht 231 684 000 000 000 Wärmeeinheiten. So viel ist dem Areal zugefrömt unter der Voraussetzung, daß die Atmosphäre ohne störenden Einfluß gewesen sei. Nennen wir, bezogen auf die Sonnenwärme, diese Zahl den theoretischen Arbeitswerth des Areal's, so erhalten wir den wirklich bestimmten Arbeitswerth unseres 100jährigen Buchenwaldes, indem wir mit dem doppelten Werthe (wir denken uns ein ebenso großes Areal, welches genau reciproke Zeiten in Umtrieb ist zu den Zeiten, in welchen unser Wald thatächlich bestrahlt wird, so daß die Nacht und der Winter, welche den Proceß in einem Hectar verlangsamten, in dem andern beschleunigten) der in ihm angehäuften Wärmesumme in die erstere dividiren. Wir erhalten 194, d. h. von dem besten Wirthschafter in unserer Zone wird der 194. Theil des theoretischen Arbeitswerthes ausgebeutet. Freilich ist jener theoretische Werth viel zu groß angenommen, da bei uns wohl der größte Theil der Bewegung in den Wolken hängen bleibt und von dort in das Weltall gestrahlt wird.

Bezogen auf den Gesammtvorrath und die Function seines Wachstums in der Zeit wird man annehmen müssen, daß die Schwankungen im Zuwachs an chemischer Spannung nicht unmittelbare Folgen von Schwankungen in der Zufrahlung sein können, sondern darin begründet sind, daß die Anzahl der Kohlenstofftheilchen, welche in dem Wechselbetrieb, Verbrennung und Reduction, hin und her schwanken, eine begrenzte ist, gegenüber dem constanten Gefälle eines ungeheuren von der Sonne abfließenden Stromes. Der Wechsel in jenem Zuwachs an potentieller Energie, wie er von dem Vorrath der Steinkohlenperiode bis auf die Productionsgröße der heutigen Zeit uns wahrnehmbar wird, ist dieser Anschauung nach eben darin begründet, daß der Vorrath an Kohle in irgend einer

In dem gleichen Sinne geht in der Arbeit eines erwachsenen Mannes die Verbrennungswärme von 12 g Kohle und für den Herzschlag, welcher 150 ccm Blut gegen einen Druck von 16 cm Quecksilberfäule fortstiebt, die Verbrennungswärme von 15,5 g Kohle für den Tag verloren.¹⁾

Bei allen diesen Maschinen wird aber eine außerordentlich große Menge äußerer Arbeit geleistet, neben der inneren Arbeit, welche, gerade wie bei der Pflanze, durch sichtbare äußere Bewegung nicht erkannt wird. Man kann sagen, die innere Arbeit der Thiere ist jedenfalls ähnlich derjenigen in der Pflanze, aber viel complicirter. In beiden fällt dieselbe jeden-

Form, sei es Kohlenäure oder reducirte verbrennliche Substanz, an der Erdoberfläche ein begrenzter ist. Die Erdoberfläche eilt somit einem bestimmten Zustande (dem Zustande kleinster Production für ein gegebenes Zeitintervall) entgegen, was darin kenntlich wird, daß die Curve des Zuwachses für das Capital verbrennlicher Substanz von einem Maximum herkommend durch den Zeitpunkt, in welchem wir jetzt stehen, im Sinken begriffen ist. Das Maximum jener Curve muß in der Steinkohlenzeit gelegen sein. Hiefür giebt es außer anderen ein einfaches Argument: das grüne Pflanzenblatt der Jetztzeit vermag, wie zahlreiche Versuche beweisen, einen Procentsatz an Kohlenäure zu ertragen und im Lichte zu zersetzen, gegen welchen der gegenwärtige Procentsatz an Kohlenäure in der Atmosphäre verschwindend klein ist. Die Größe der Production in einem gegebenen grünen Pflanzenblatt, während eines kleinen Zeitintervalls (etwa 1/2 Stunde) hängt somit ab, außer von der Intensität der Bestrahlung, von dem Kohlenäuregehalt des Gasgemisches, in welchem das Blatt functionirt. BOUSSINGAULT hat durch genaue gasanalytische Bestimmungen gefunden, daß das Optimum des Kohlenäuregehaltes in dem Gasgemisch, in welchem grüne Pflanzenblätter assimiliren, etwa 10 % ist, daß selbst eine fast absolute Kohlenäureatmosphäre dann noch ertragen wird, wenn in derselben wenige Volumprocente eines indifferenten Gases, Wasserstoff oder Stickstoff, vorhanden sind. Beachtet man, daß der geringe Kohlenäuregehalt der Atmosphäre von heute gegenüber jener Production im Experiment in dem geschlossenen Raum bald verbraucht sein würde, so erscheint uns die Ausnutzung der von der Sonne abströmenden Betriebskraft in der äußersten Schale der von Wald und sonstigen Culturgewächsen ausgefüllten Erdoberfläche überhaupt nur dauernd möglich durch die ungeheure Ausdehnung des Luftocéans. So viel aber wird überfichtlich, daß eine Zunahme von mehreren Volumprocenten an Kohlenäure in dem letzteren einerseits die Production in der von grünen Pflanzen bewohnten Fläche mächtig steigern würde, und daß wir andererseits annehmen dürfen, daß in Folge Jahrtausende langer Production in grünen Pflanzen der Procentgehalt an Kohlenäure und damit die Productionsgröße für das Zeitincrement allmählig herabgemindert wurde bis zu dem heutigen Zustande.

¹⁾ Die Literatur über diese Discussion: R. MAYER, Die Mechanik der Wärme. In gesammelten Schriften. Stuttgart 1867. Cotta'sche Buchhandlung. S. 55 ff. S. 60 ff. — H. HELMHOLTZ, Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte. Königsberg 1854. Verlag von Gräfe u. Unzer. S. 35. — A. MAYER, Lehrbuch d. Agrikulturchemie. 2. Aufl. Heidelberg 1876. Carl Winter's Universitätsbuchh. Erste u. zweite Vorlesung. — SACHS, Handbuch d. Experimentalphysiologie. Leipzig 1865. W. Engelmann. S. 18 ff. Hier sind noch zu beachten: DAVY's Experiment mit den geriebenen Erdstücken. R. MAYER's Experiment mit dem geschüttelten Wasser. JOULE's Bestimmung des mechanischen Aequivalentes. GERHARD BERTHOLD, RUMFORD und die mechanische Wärmetheorie. Heidelberg 1875. Carl Winter's Universitätsbuchhandlung. S. 48 ff.

falls unter denselben Gesichtspunkt der Betrachtung. Die äußere Arbeit ist bei dem Thier außerordentlich groß, bei der Pflanze außerordentlich klein.

Für die Pflanze würde diese Untersuchung auf eine Spitzfindigkeit hinauslaufen, wollte man die Gesammtsumme äußerer und innerer Arbeit etwa aus den sichtbaren Bewegungen der Wurzeln im Boden, wo freilich ein ungeheurer Druck zurückgeschoben wird, oder in allen Einzelheiten der Evolution oberirdischer Theile ausdrücken. Was aus diesem Gebiete zu lernen, ist etwa das Folgende:

Der Baum der gemäßigten Zone häuft von Jahr zu Jahr feste Masse in Folge der Affimilation. Diese Masse erscheint an dem Orte, wo der Baum nach hundert Jahren steht, im Laufe der Zeit zu einer ursprünglich verschwindend kleinen Anfangsmasse im Keimling zugefügt. Es wird dabei:

Aus dem Princip von der Erhaltung der Kraft (s. die hier einschlägige Literatur: CLAUDIUS, Mechanische Theorie der Wärme; HELMHOLTZ, Wechselwirkung der Naturkräfte; KIRCHHOFF, Vorträge über theoret. Physik, und in dem Handbuch der Experimentalphysik WÜLLNER, Bd. II) sind zwei Begriffe zunächst zu definiren, um den Beweis zu führen, daß Wärme eine Art der Bewegung ist:

1° denkt man sich eine Masse m mit der Geschwindigkeit v zur Zeit t in Bewegung, so versteht man unter lebendiger Kraft dieser Masse das Product

$$\frac{1}{2} m v^2.$$

Bei einem System von Massen erhält man den entsprechenden Ausdruck, indem man die lebendigen Kräfte der einzelnen Massen summirt. Die lebendige Kraft ist constant, wenn die Masse sich gleichförmig in der Zeit bewegt. Im Allgemeinen wird sie aber eine nicht lineare Function der Zeit sein, so beim Wurf, Fall, Stoß und so fort;

2° als zweiter Begriff ist die Arbeit einer Kraft zu definiren.

Sei m ein materieller Punkt, der bei Einwirkung der lebendigen Kraft R die beliebige unendlich kleine Verrückung ds erleidet, so ist $-R ds \cos \varphi$ die Arbeit, welche bei der Verschiebung ds gegen die Kraft R geleistet wird. Sie ist positiv, wenn der Winkel φ , welcher von der Richtung der Kraft und der Verschiebungsrichtung eingeschlossen wird, ein stumpfer ist. Bei der Bewegung des Punktes, m , über eine endliche Strecke ist die Arbeit gleich der Summe der unendlich vielen kleinen Verschiebungen, aus welchen der Weg zusammengesetzt ist, und in einem System von vielen Punkten ist die Gesammtarbeit gleich der Summe aus den Arbeiten aller Punkte.

Der Satz, welcher zuerst von Bedeutung ist, kann nun so ausgesprochen werden:

Bei irgend einem System von materiellen Punkten, auf welches irgend welche Kräfte wirken, ist die Verringerung, welche die lebendige Kraft des Systems durch die Verschiebung erfährt, gleich der Arbeit, welche dabei gegen die wirkenden Kräfte geleistet wird. Der Beweis dafür ist dieser:

Seien X, Y, Z die Componenten der Kraft R nach den drei Coordinatenaxen, und es seien dx, dy, dz die Projectionen der Verschiebung ds auf jene, so ist

$$-R, ds \cos \varphi = -(X dx + Y dy + Z dz).$$

Nennen wir nun x', y', z' die Coordinaten von m , zur Zeit t , so ist die wirkfame Kraft X gleich dem Product aus der Masse m in die Beschleunigung

$$-\frac{d^2 x'}{dt^2}$$

- 1^o Gewicht gehoben, äußere Arbeit $A'e$;
- 2^o dieses Gewicht wird aber (nach S. 473) selbst wieder aus der Luft und dem Wasser condensirt;
- 3^o werden innere Strömungen ausgeführt, Reibung im Innern überwunden (Lösung und Niederfchlagbildung $A'i$);
- 4^o wird Reduction ausgeführt, bezogen auf CO_2 , H_2O und Salze $A''i$.

Die Summe $A'e + A''e + A'i + A''i$ läßt sich alsdann durch ein bestimmtes Wärmemaß oder durch eine Summe von Kilogrammetern ausdrücken, wenn alle Verbrennungswärme aus dem Baume gezogen ist. Suchen wir die Werthe näherungsweise so auszudrücken, daß wir für den besten Wärmefammler, unseren Waldbaum, einen Ueberblick aller inneren und äußeren Arbeit gewinnen.

und für beliebige andere Punkte m_2, m_3, \dots , auf welche die Kräftecomponenten $X_2, Y_2, Z_2; X_3, Y_3, Z_3$ wirken mögen, erhalten wir:

$$\begin{array}{lll}
 m_1 \frac{d^2 x_1}{d c^2} = X_1, & m_2 \frac{d^2 x_1}{d c^2} = X_2, & m_3 \frac{d^2 x_1}{d c^2} = X_3. \\
 m_1 \frac{d^2 y_1}{d c^2} = Y_1, & \dots & \dots \\
 m_1 \frac{d^2 z_1}{d c^2} = Z_1, & \dots & \dots
 \end{array}$$

Multiplizieren wir die erste Reihe mit $d x_1, d y_1, d z_1$, die zweite mit $d x_2, d y_2, d z_2$, die dritte mit $d x_3, d y_3, d z_3$, addiren alle linken und rechten Seiten und bedenken, daß

$$d x \frac{d^2 x}{d c^2} = X \frac{d x}{d c} d \frac{d x}{d c} = \frac{1}{2} d \left(\frac{d x}{d c} \right)^2,$$

fo kommt

$$d \frac{1}{2} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 + m_3 v_3^2 + \dots) = X_1 d x_1 + Y_1 d y_1 + Z_1 d z_1 + X_2 d x_2 + Y_2 d y_2 + Z_2 d z_2 + \dots,$$

wo unter $v_1 v_2 \dots$ die Geschwindigkeiten der Massen verstanden sind.

Integriren wir zwischen den Grenzen t_0 und t_1 , wo t_0 die Zeit im Anfangspunkt der Bewegung bedeutet, fo kommt:

$$\frac{1}{2} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 + m_3 v_3^2 + \dots) = \int \begin{array}{l} X_1 d x_1 + Y_1 d y_1 + \dots \\ + X_2 d x_2 + \dots \end{array};$$

womit der Satz bewiesen ist.

Nennen wir ferner r_{12}, r_{23}, \dots die Entfernungen beziehungsweise der materiellen Punkte m_1 von m_2, m_2 von m_3 u. f. f. und ähnlich $f(r_{12}), f(r_{23})$ die Anziehungskräfte, welche in jedem Punktepaar ausgeübt werden, fo find:

$$\begin{array}{ll}
 f(r_{12}) \frac{x_2 - x_1}{r_{12}} & , \quad f(r_{12}) \frac{x_1 - x_2}{r_{12}}, \\
 f(r_{12}) \frac{y_2 - y_1}{r_{12}} & , \quad f(r_{12}) \frac{y_1 - y_2}{r_{12}}, \\
 f(r_{12}) \frac{z_2 - z_1}{r_{12}} & , \quad f(r_{12}) \frac{z_1 - z_2}{r_{12}}
 \end{array}$$

a) Die äußere Arbeit Ae' .

Sehen wir von dem Wurzelkörper ab und nehmen einen Stamm, welcher 30 m Höhe besitzt, an. Es sei q der Querschnitt, h die Höhe, f die Formzahl, welche die Forstleute fanden¹⁾, d die mittlere Dichte, so repräsentirt

$$f \cdot q \cdot h \cdot d = P \text{ das Gewicht.}$$

Dieses aber ist über die Höhe fh vertheilt und sei mit h' bezeichnet.

Die Summe der Meterkilo ist aber gleich der Summe von $q \cdot d \cdot dh$, wo dh ein Differential des Höhenunterschiedes und q den Querschnitt bedeuten. Um die Rechnung auszuführen, beachten wir, daß das Gewicht des Cylinderabschnittes ist $\frac{dq \cdot h'}{h'}$, somit wird $g = dq$ (d die Dichte) und die Summe der Meterkilo ist

$$dq + dq_2 + dq_3 + \dots + dq \cdot h',$$

die Summenformel der geometrischen Reihe

$$S = \frac{2an + n(n-1)}{2} dq;$$

führen wir die Rechnung aus, so kommt 3750 Kgm., und dividiren wir diese Meterkilo durch die Zeit (Anzahl der Jahre), so erhalten wir die ver-

¹⁾ Die durch zahlreiche Messungen gefundene gebrochene Zahl, welche angiebt, auf welche Höhe die wirklich gemessene Höhe eines Baumes reducirt werden muß, um einen Cylinder von dieser Höhe und dem unteren Querschnitt als Grundfläche lückenlos mit Holzmasse auszufüllen.

die beziehungsweise Componenten der Kräfte, mit welchen m_1 auf m_2 und umgekehrt m_2 auf m_1 einwirkt. Multiplicirt man die erste Verticalreihe mit dx_1, dy_1, dz_1 , die zweite mit dx_2, dy_2, dz_2 , addirt und nimmt die Summe mit dem Minuszeichen, so kommt

$$a) f(r_{12}) = \frac{(x_2 - x_1)(dx_2 - dx_1) + (y_2 - y_1)(dy_2 - dy_1) + (z_2 - z_1)(dz_2 - dz_1)}{r_{12}}$$

als Ausdruck der Arbeit, welche bei unendlich kleiner Verschiebung der $m_1 m_2$ gegen ihre Anziehungskräfte geleistet wird. Bedenkt man nun, daß

$$r_{12}^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2,$$

und daß hieraus durch Differentiation erhalten wird:

$$r_{12} dr_{12} = (x_2 - x_1)(dx_2 - dx_1) + (y_2 - y_1)(dy_2 - dy_1) + (z_2 - z_1)(dz_2 - dz_1),$$

so verwandelt sich a in $f(r_{12}) dr_{12}$.

Hieraus erhalten wir nun die Arbeit bei einer endlichen Bewegung, wenn wir die Entfernungen $r_{12}^0 r_{12}^1$ beider Massen $m_1 m_2$ in der Anfangs- und Endlage bestimmen und zwischen diesen Grenzwerten integriren. Setzen wir

$$\int_{r_{12}^0}^{r_{12}^1} f(r_{12}) dr_{12} = F(r_{12}),$$

schwundende äußere Arbeit von 37,5 Kilogramm-meter. Diese Arbeit entspricht, wenn wir einen 100jährigen Baum wählen, dem Aufwand von 0,012 g Kohle für den Tag; man vergleiche diese Arbeit mit dem Herzschlag.

Die äußere Arbeit Ae''

kann so ausgedrückt werden: in 1 g des trockenen Holzes sind nach Früherem (S. 473) condensirt zu denken: 2—3 kg Wasser zunächst für die Asche, und es darf hier die latente Wärme von Wasser von 100° , nach Dampf von 100° eingeführt werden (freilich verdunstet der Baum bei niedriger Temperatur).

Die C-theilchen von 1 g Holz aber wiegen 0,44 g, diese geben nahezu 1,83 g Kohlenäure. Als Kohlenäure wurde aber diese C-menge aufgenommen aus der Luft, und es entspricht die Menge von 1,83 g CO_2 einem Luftvolum unter dem mittleren Druck der Atmosphäre (von 760 mm Quecksilber) von 2,5 cbm. Soviel Liter Luft mußte mit dem Baum in Berührung kommen, damit 1 g Holz entsteht.

so kommt

$$\int_{r_{12}^0}^{r_{12}^1} f(r_{12}) dr_{12} = F(r_{12}^1) - F(r_{12}^0)$$

als Ausdruck der Arbeit bei endlicher Bewegung, und es kommt die wichtige Beziehung zum Vorschein, daß die Arbeit von der Gestalt des beschriebenen Weges ganz unabhängig ist und nur von der Anfangs- und Endlage abhängt. Dieß gilt für jedes Massensystem, so lange der Voraussetzung genügt ist, daß die Anziehungskräfte nur Functionen der Entfernung sind.

Die Hypothese nun, auf welcher die mechanische Theorie der Wärme beruht, sagt aus, daß von allen in der Natur wirksamen Elementarkräften diese Voraussetzung gemacht werden dürfe. Sie läßt sich auch dahin besser umgestalten: Bei allen Elementarkräften ist die äußere Arbeit nur abhängig von der Anfangs- und Endlage des Systems (in dieser Fassung dürfen auch solche Kräfte elementare genannt werden, welche, wie die WEBER'schen, nicht nur von der Entfernung, sondern auch von der Geschwindigkeit abhängen).

Von dieser Hypothese ausgehend, kann bewiesen werden, daß Wärme eine Art der Bewegung sein müsse. Wir denken uns ein Rad mit Zapfen in einem Lager ruhend, welches mit einem Zuggewicht in Bewegung gesetzt wird. Nach einer ganzen Umdrehung ist Arbeit gegen die Schwere und die Reibung des Zapfens geleistet. Letztere ist 0, denn jedes Theilchen ist in seine Anfangslage zurückgekehrt. Gegen die Schwere ist nur negative Arbeit geleistet, welcher ein Zuwachs an lebendiger Kraft entsprechen muß, gerade so wie jeder positiven Arbeit ein Verlust an lebendiger Kraft entspricht. Mit anderen Worten: es ist Bewegung verschwunden und diese ist als Wärme aufzufuchen, da wir keine anderen Phänomene in Folge jener Umdrehung kennen. Nennen wir Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit Wasser um 1° der 100theiligen Scala erwärmt, und k die lebendige Kraft der Bewegung, welche dieser Wärmemenge entspricht, so ist k das mechanische Aequivalent der Wärme. Der erste Hauptsatz der Theorie sagt dann aus:

Diese Quantität Luft brauchte nicht alle im Blatt gelöst zu sein. Es läßt sich aber nach dem Partialdruck und den Absorptionscoëfficienten der drei Gase CO_2 , O , N ungefähr angeben, wieviel der Gase in 1 l Wasser gelöst werden. Und aus der Blattmasse in Liter Wasser ausgerechnet, ließe sich angeben, auf welches Volum jene Gasmasse von 2,5 cbm im Durchschnitt pro Tag oder Stunde durch Absorption comprimirt werden mußte.

b) Die innere Arbeit A_i' .

Die feste Masse in 1 g der Substanz, oder besser gesagt die Masse, welche dasjenige Volum allmählig ausfüllt, welches später einem Gramme der Holzmasse entspricht, durchströmte den Baum einmal als Lösung in

In jedem bewegten System von materiellen Punkten ist der Zuwachs an lebendiger Kraft der sichtbaren Bewegung plus der mit k multiplicirten Wärmemenge, welche bei der Bewegung des Systems entstand, plus der geleisteten Arbeit gleich Null.

Ein experimentelles Hinderniß für die hierhergehörigen Erscheinungen beruht darin, daß wir nicht alle Kräfte kennen, gegen welche Arbeit geleistet wird. Diese Schwierigkeit ist zu umgehen, wenn man die in Betracht kommenden Maschinen, in welchen unbekannte Kräfte vorkommen, immer wieder in die Anfangslage zurückführt. Ist alsdann die innere Arbeit gleich 0, so lautet der Satz: «Bei jedem Proceß, nach dessen Beendigung die Theile des Systems wieder in der Anfangslage sind, ist die Summe aus der mit k multiplicirten erzeugten Wärmemenge plus der geleisteten Arbeit gleich Null». Wir können eine ideale Maschine durch einen solchen Kreisproceß führen. Es seien in einem Cylinder ein Gasvolum v , welches unter einem hermetisch schließenden, aber verschiebbaren Stempel p abgeschlossen, p der Druck, t die Temperatur des Gases im Beginn des Proceßes. Verringern wir den Druck ganz allmählig, so wächst v von e nach g . In den nachfolgenden Coordinaten, Fig. 429, ist dieser Zustand des Gases durch die Ordinate b defnirt. Bei dem Uebergange a nach b aber soll die Temperatur constant bleiben, indem wir dem Apparat von einem Wärmereservoir R Wärme zuführen. Ist der Druck von p auf p' gesunken und das Volum v auf v' gewachsen, so wird R entfernt, nun aber die Verringerung der Belastung ebenso allmählig fortgesetzt. Das Volum wächst jetzt nach v_2 , der Druck sinkt jetzt rascher in Folge davon, daß die Temperatur sinkt. Der Punkt c , Fig. 429, stellt jetzt den Zustand des Gases dar. Nunmehr kehren wir den Proceß um, indem wir den Stempel belasten. Der Druck wächst, das Volum sinkt. Die Temperatur aber erhalten wir constant, indem wir den Apparat mit einem zweiten Reservoir R_2 in Verbindung bringen, welches die Wärme dem Gase entzieht. Der Zustand ist jetzt durch d in Fig. 429 dargestellt. Endlich entfernen wir das (Kälte-) Reservoir und setzen die Pressung fort, es erfährt das Gas wieder Temperaturzuwachs. Das Volum sinkt, der Druck wächst, der Anfangszustand a , Fig. 429, wird erreicht, und wir haben einen umkehrbaren Kreisproceß beschrieben. Die Arbeiten, welche in demselben geleistet wurden, sind, wenn wir die Strecken ab , bc , cd , da , Fig. 429, unendlich klein lassen, so daß die Figur ab , cd von geraden Linien eingeschlossen ist, die folgenden:

- 1° von a nach b ist die Arbeit gleich dem Product aus der Volumvergrößerung in den gegenwirkenden Druck, also gleich \overline{eg} , bg , also entspricht sie der Fläche $abge$;
- 2° von b nach c ist sie gleich \overline{gh} , ch , entsprechend der Fläche b, c, h, g ;

feiner ganzen Länge. Der kürzeste Weg eines Molecules, welches später in dem Gramm fester Holzsubstanz einkehrt, erstreckte sich vom Boden nach dem ersten verdunstenden und assimilirenden Blatte. Ehe das Molecule an dem gegebenen Orte festgehalten wird, kann es diesen Weg mehrermale, mindestens 2mal, zurückgelegt haben. Hier ist es unmöglich, aus den vorhandenen außerordentlich complicirten Bahnen und Bewegungsoberflächen ein Maß der geleisteten Arbeit aufzufuchen (m. f. S. 422 ff.).

Daselbe Gramm der festen Substanz endlich wird von Zelle zu Zelle bald flüssig, bald fest, als Zucker und transitorische Stärke u. s. f., und kann, wenn es endlich als dauernd feste Holzmasse niedergechlagen wird, so vertheilt

3° von c nach d erhalten wir c, d, f, b ;

4° « d « a « « d, a, e, f ; giebt man den beiden letzteren das negative Zeichen und addirt die Arbeitsflächen, so bleibt als Rest die positive Arbeit $abcd$. Die äußere Arbeit ergibt sich indeß leicht: Sei q der Querschnitt des Cylinders, so ist der anfängliche Druck $p q$; sei ferner dh die Strecke, um welche p zurückgeschoben wird, so ist die Arbeit $p \cdot q \cdot dh$. Nun ist aber $q \cdot dh$ nichts anderes, wie die Volumvergrößerung des Gases dv , die ganze äußere Arbeit ist somit

$$\int p \, dv = a.$$

Wenn nun q die aus R_1 zugeführte, q_1 die nach R_2 abgeführte Wärmemenge bedeuten, so ist

$$q - q_1 = \frac{I}{k} a,$$

und nach n maliger Wiederholung des Processes ist $na = A_1 Q = n q \cdot Q_1 = n q_1$, so ist nothwendig

$$Q - Q_1 = \frac{I}{k} A.$$

Die Arbeit wurde in unserer «Gasmachine» aus Wärme geschaffen, indem wir Wärme von dem wärmeren R nach dem kälteren Reservoir R_1 übergehen ließen. Es läßt sich allgemein zeigen, daß nur auf diesem Wege Arbeit gewonnen werden kann. In keiner anderen Maschine kann die dabei aufgewandte Wärmemenge kleiner sein wie in unserem Apparat. Der Proceß kann umgekehrt werden, indem wir zuerst von a nach d gehen, den Weg $adcb$ ausführen. Alsdann stellt daselbe Parallelogramm eine negative Arbeit dar, und anstatt eines Wärmeverlustes tritt ein Wärmegewinn auf. Es mögen nun zwei solcher Maschinen mit den beiden Reservoiren R und R_1 arbeiten, die eine M im ersten Sinne, indem sie von R die Wärmemenge Q^1 nimmt, nach R_1 die Wärmemenge Q_1^1 überträgt und die positive Arbeit A leistet; die andere Maschine M_1 arbeite umgekehrt, nehme von R_1 die Wärmemenge Q_1 an und gebe an R die Wärmemenge Q ab, leiste dabei aber die negative Arbeit $-A$. In der folgenden Tabelle sei Wärmeverlust und -Gewinn aus R und R_1 zusammengestellt:

Maschine.	Ref. R .	Ref. R_1 .	Arbeit A .
M^1	$- Q_1$	$+ Q_1^1$	$+ A$
M	$+ Q$	$- Q_1$	$- A$

fein, daß es in Jahrringen von der Disgregation der Fig. 428 *aII* oder aber von der Digregation Fig. 428 *eIII*, an einem und demselben Baume zum

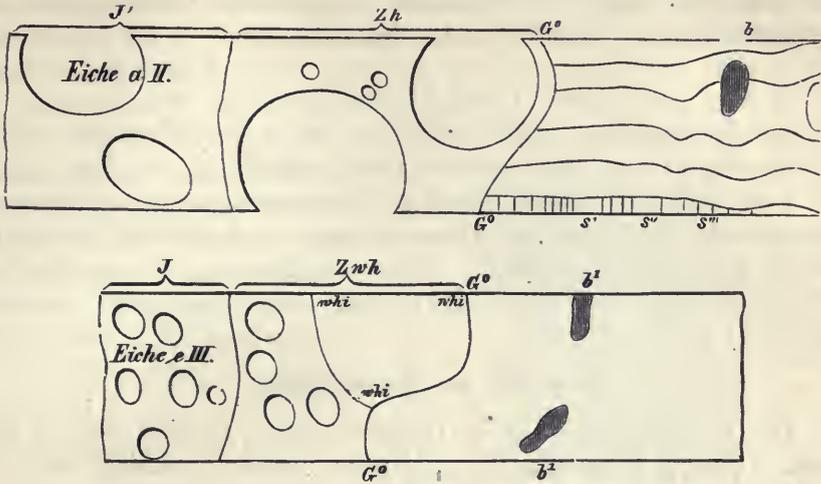


FIG. 428. Erklärung: Eiche, Ei II Ast, Ei III Zweig der letzten Ordnung. *J* vorjähriger Ring. *Zwh*, *Zh* Holzzuwachs. *GG* Grenze zwischen Holz und Rinde. *b*¹, *b*², *b*³ . . . Bastbündel. *s*¹, *s*² Leitzellen (Siebröhren). *whi* Infel von Winterholz. Vergrößerung bei allen 100₂/1.

Da nun die Arbeiten sich gegenseitig aufheben, was aus der Congruenz der Figuren *abcd* und *adcb* erhellt, so muß auch die Summe der verlorenen und gewonnenen Wärmemengen gleich Null sein, d. h. $Q - Q^1 = Q_1^1 - Q_1$.

Da nun Wärme nur von wärmeren nach kälteren Körpern überfließen kann, nicht umgekehrt, so muß

$$Q \leq Q^1 \text{ und } Q_1 \leq Q_1^1 \text{ sein.}$$

Denken wir uns nun, M^1 habe den umgekehrten Proceß beschrieben, so wäre M^1 an Stelle von M und M an die von M^1 zu setzen, und es resultirten dann die Ungleichungen

$$Q_1 \leq Q \text{ und } Q^1 \leq Q_1,$$

welche gegen die vorigen einen Widerspruch enthalten, der nur gehoben ist, wenn

$$Q = Q^1 \text{ und } Q_1 = Q_1^1.$$

In allen Maschinen, welche unkehrbare Proceße zulassen, ist der Wärmeverlust am kleinsten und steht immer in demselben Verhältniß zur geleisteten Arbeit. Die Wärmemengen Q , Q_1 können nur Functionen von t h und müssen unabhängig von der Construction und Größe der Maschine, sowie der Größe der Arbeit sein. Jedenfalls ist, wenn f eine unbekannt Function bedeutet,

$$\frac{Q}{Q_1} = f(t h),$$

und da wir die Indices vertauschen können,

$$f(t h) \cdot f(h t) = 1.$$

Nehmen wir jetzt statt zwei Behälter deren drei R , R_1 , R_2 mit den beziehentlichen

Vorschein kommt. Diese im Innern geleistete Arbeit ohne sichtbaren Ausdruck nach außen kann als Compression aufgefaßt, aber ebenfalls nicht berechnet werden. Es kommen aber jedenfalls Molecularkräfte von ungeheurer Wirkung hiebei zum Ausdrucke.

Der letzte Theil der innern Arbeit A_i'

kann allein experimentell bestimmt werden. Es ist die Verbrennungswärme. Für Cellulose ist diese für 1 g Holz 3300 Calorien.

Es berechnet sich somit die durch Verbrennung des ganzen Baumes gewonnene Arbeit zu 3187 Mill. Kilogrammometer, eine Arbeit, welche durch ein Pferd in 4 Jahren geleistet wird. Der Baum aber hat im günstigsten Fall bei uns (wenn wir TH. HARTIG's Rechnung zu Grunde legen) 100 Jahre gebraucht¹⁾.

D. Ort der Assimilation.

Die Herde assimilatorischer Thätigkeit liegen im Blatt und in allen grünen Theilen, in welche das Licht noch merklich eindringt, so z. B. die Rinde wenigjähriger grüner Zweige.

1) Das mechanische Aequivalent der Wärme wurde gefunden zu 426 M. REGNAULT, MAYER, CLAUDIUS; 425 M. JOULE; 413 M. FAVRE; 413 M. CLAUDIUS; 452 M. JOULE; 443 M. FAVRE; 420 M. WEBER und JOULE; 425 M. HIRN. 424 M. dürfte am zuverlässigsten sein.

Temperaturen $t > t_1 > t_2$ und stellen drei Versuche an, indem wir je zwei zusammen benutzen.

Benutzt sind:	R	R ₁	R ₂	Arbeit.
R und R,	- Q	+ Q ₁	-	+ A
R ₁ « R ₂	-	- Q ₁	+ Q ₂	+ A
R ₂ « R	+ Q ₁	-	- Q ₂	- 2A

Die Summe der Arbeiten ist nun hier wieder gleich Null; folglich

$$Q - Q_1 = Q_2 - Q_2^1.$$

Wäre nun $Q - Q_1 > 0$, so müßte Wärme aus einem kälteren nach einem wärmeren Körper gefrömt sein, wäre $Q - Q_1 < 0$, so würde man, alle Proceßse umgekehrt gedacht, zur selben Folgerung kommen, daher kann nur

$$Q = Q_1 \text{ und } Q_2 = Q_2^1 \text{ sein.}$$

Da, wie aus dem Vorstehenden sich ergibt, die Function $f(t_1 t_2)$ immer dieselbe ist, können wir schreiben:

$$\frac{Q}{Q_1} = f(t_1 t_1), \quad \frac{Q_1}{Q_2} = f(t_1 t_2), \quad \frac{Q_2}{Q_1} = f(t_2 t_1),$$

woraus folgt:

$$f(t_1 t_1) \cdot f(t_1 t_2) \cdot f(t_2 t_1) = 1 \text{ und}$$

1. Der Chlorophyllkörper¹⁾.

In dem Blatte selbst ist es wiederum eine bestimmt geformte Protoplasmamasse, der Chlorophyllkörper, in welchem die Affimilationsproducte zuerst auftreten.

Das Pigment ist bei den Oscillarien continuirlich. Bei Anthoceros befindet sich ein einziger Chlorophyllkörper in der Zelle. Bei den höheren Pflanzen ist das Pigment stets an individualisirte sphärische Plasmakörper gebunden, welche dem farblosen Wandbeleg des Protoplasma eingebettet sind.

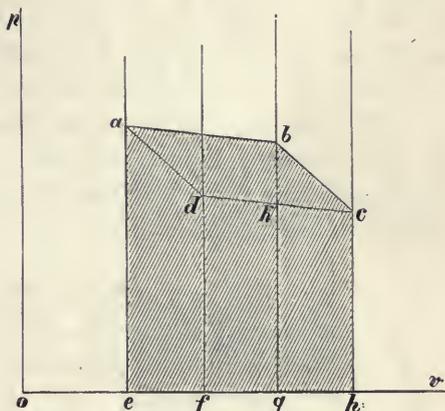


FIG. 429. Schema des umkehrbaren Kreisprocesses. Die Ordinate o nach p stellt den Druck, die Abscisse o nach v das Volum dar.

2. Differenzirung im Dunkeln.

Die Zellklüftung der Protoplasmamasse in solche Träger des Pigments geschieht auch im Dunkeln, sie ist somit unabhängig vom Lichte. Das Pigment aber, welches im Dunkeln an etiolirten Pflanzen auftritt, ist ein gelbes.

Das Pigment aber, welches im Dunkeln an etiolirten Pflanzen auftritt, ist ein gelbes.

¹⁾ H. v. MOHL, Ueber den Bau des Chlorophylls. Bot. Ztg. 55. S. 89.

$$f(h_1 t_2) = \frac{I}{f(t_1 h_1) \cdot f(t_2 t)} = \frac{f(t_1 t_2)}{f(t_1 h_1)}$$

Lassen wir t constant sein und h_1, t_2 variabel, so erhalten wir eine Function von zwei Argumenten ausgedrückt durch zwei Functionen mit einem Argument. Bezeichnen wir allgemein $f(\text{const. } t_k) = T_k$, so kommt:

$$\frac{Q}{Q_1} = f(t_1 h_1) = \frac{f(\text{const. } t)}{f(\text{const. } h_1)} = \frac{T}{T_1}, \text{ oder } \frac{Q}{T} - \frac{Q_1}{T_1} = 0$$

und mit Hilfe der bereits bekannten Beziehung $Q - Q_1 = \frac{I}{k} A$

$$Q = \frac{I}{k} A \frac{T}{T - T_1}, \quad Q_1 = \frac{I}{k} A \frac{T_1}{T - T_1}$$

Diese Formeln lassen die Wärmemenge erkennen, mit welchen eine bestimmte Arbeit geleistet wird. Wir ersehen daraus, daß, um je verschiedener T und T_1 sind, ein um so größerer Theil von Q in Arbeit verwandelt wird. Gäbe es einen Werth von t_k , für welchen $T_k = 0$ wäre, und setzte man diesen für h_1 , so bekämen wir $Q = \frac{I}{k} A$, d. h. die ganze entzogene Wärmemenge würde sich in Arbeit umsetzen.

Es ist später zu zeigen, daß $T_k = 0$ wird für den sogenannten Nullpunkt der Temperatur. Die Gleichung läßt sich verallgemeinern. Nennen wir $Q_1, Q_2, Q_3 \dots Q_n$ die

3. Ergrünen im Lichte.

Mit Ausnahme der Farrenprothallien und der Coniferen-(Abietineen-) Keimlinge, welche im Dunkeln sich grün färben, unterbleibt im Finstern bei fast allen höheren Pflanzen die Bildung des grünen Pigmentes. Erst bei der Beleuchtung, wennschon nur in diffusem Tageslichte rascher wie im directen Sonnenlicht, tritt das Ergrünen ein. Etiolirte (vergilbte) Keimlinge bilden in kurzer Zeit unter dieser Bedingung das grüne Pigment aus.

Die Ergrünung tritt auch im Innern der heranwachsenden, später für das Licht undurchdringlichen Früchte ein, so färben sich die Cotyledonen bei Evonymus und bei den Cruciferen schon während der Samenreife. Die Nadelhölzer aber gerade besitzen im Samenzustand farblose Cotyledonen.

4. Amylumeinschlüsse.

In fast jedem Chlorophyllkörper der höheren Pflanzen tritt das wichtigste Assimilationsproduct, das Stärkemehl, in Form kleiner Kügelchen

positiven oder negativen Wärmemengen, welche aus den Reservoiren $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ aufgenommen worden sind, so ist

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \dots + \frac{Q_n}{T_n} = 0.$$

Wir sehen, daß für $n = 2$ die Gleichung mit der früheren übereinstimmt, denn der Unterschied des Zeichens rührt nur daher, daß mit Q_1, Q_2, \dots, Q_n die negativen jetzt als positive Wärmemengen bezeichnet werden.

Dem Beweis dieses zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie werden wir einen Hilfsatz vorausschicken.

Es seien zwei umkehrbare Maschinen M und M_1 , die bei gleicher Arbeit die beziehentlichen Mengen

$$Q_1, Q_2, \dots, Q_n \text{ und} \\ Q_1^1, Q_1^2, \dots, Q_1^n$$

von eben so vielen Reservoiren aufnehmen, so behaupten wir, daß wenn die $n - 2$ ersten dieser Mengen einander gleich sind, die beiden letzten Paare es auch sein müssen; denn kehren wir bei einer jener Maschinen den Proceß um, so erhalten wir

$$A - A^1 = 0, Q_1 - Q_1^1 = 0, \dots, Q_{n-2} - Q_{n-2}^1 = 0, \\ \text{folglich auch } Q_{n-1} - Q_{n-1}^1 = 0, Q_n - Q_n^1 = 0.$$

Da aber von einem kälteren nach einem wärmeren Körper Wärme nicht strömen kann, so ist

$$Q_{n-1} = Q_{n-1}^1; Q_n = Q_n^1,$$

und damit der Beweis geliefert. Zu dem Hauptsatz zurückkehrend nehmen wir eine Maschine, M^1 , welche den Reservoiren

$$R^1, R^2, \dots, R^n \text{ die Wärmemengen}$$

$$Q^1, Q^2, \dots, Q^n \text{ entzogen hat (wobei } Q_k < 0 \text{ sein kann),}$$

und wir wollen nun, durch wiederholte Anwendung unserer umkehrbaren Maschine M , den Reservoiren R gerade zurückerstatten, was sie verloren hatten:

oder punktförmiger Körperchen auf und kann, nachdem das mikroskopische Präparat mit Kalilauge behandelt ist, durch Jod nachgewiesen werden. Das mikroskopische, eben an der Grenze der Sichtbarkeit stehende Niederschlagskorn, Fig. 430 v, wird durch die Kalilauge zum Quellen, also auf ein größeres Volum gebracht. Werden Pflanzen zeitweise verdunkelt, so schwindet der Amylumniederschlag. Er wird zur Athmung verbraucht. Wenige Sekunden nach der erneuten Beleuchtung, ja man könnte sagen, fast instantan mit dieser, treten wieder kleine Amylumkörnchen auf. In allen etiolirenden Keimlingen schwindet der Stärke-vorrath, wenn er nicht von einem größeren Stärkerefervoir zugeleitet wird.

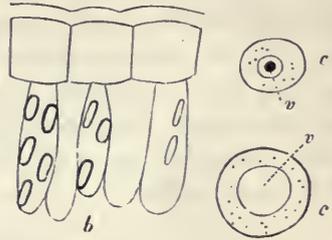


FIG. 430. Schematische Durchschnittparthe durch das Laubblatt. c Chlorophyllkörner stärker vergrößert mit Amylum einschließen.

Das Amylum findet sich indeß auch bei chlorophylllosen Parasiten, so in der Orobanche und in den ruhenden Sporen von Saprolegnia.

Beim Verdunkeln der ganzen Pflanze verschwindet das Amylum zuerst in der Nähe der Wurzelgefäßbündel, sodann im Stamm, zuletzt im Chlorophyllkorn. Bei nunmehriger Beleuchtung tritt es im Chlorophyllkorn zuerst auf.

Maschine.	R_1	R_2	R_{n-2}	R_{n-1}	R_n
M^1	Q_1^1	Q_2^1	Q_{n-2}^1	Q_{n-1}^1	Q_n
M	q	q_2^1	—	—	—
—	—	q_2^2	—	—	—
—	—	—	q^{1n-2}	—	q^{1n}

Hiebei wird offenbar sein müssen:

a) $q_1 = Q_1^1, q_2 + q_2^1 = Q_2^1 \dots q_{n-2} = Q^{1n-2},$

weil nach dem soeben bewiesenen Satz weiter folgt:

$$q_{n-1} + q^{1n-1} = Q^{1n-1}; q^{1n} = Q^{1n}.$$

Es fragt sich nun, da die Größen $q_1, q_2 \dots q_n$ nicht von einander unabhängig sind, sondern nach den Bedingungen:

b) $\frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2^1}{T_2} = 0; \frac{q_2}{T_2} + \frac{q_3}{T_3} = 0 \dots; \frac{q_{n-1}}{T_{n-1}} + \frac{q_n}{T_n} = 0$

genügen müssen, ob diese Größen eine reelle Bedeutung haben. Diese Frage läßt sich analytisch bearbeiten. Als Unbekannte haben wir nämlich

$$q_1, q_2, \dots, q_{n-1}; q_2^1, q_3^1, \dots, q^{1n},$$

also $2(n-1)$ an der Zahl. Als Gleichungen haben wir die unter a), und noch dazu, weil ja die Arbeiten beider Maschinen einander gleich sein sollen:

c) $q_1 + q_2 + \dots q_{n-1} + q_2^1 + q_3^1 + \dots q^{1n} = Q^1 + Q_2^1 + \dots Q^{1n},$
 und diese machen zusammen auch $2(n-1)$. Die Lösung ist also reell.

5. Eisen ein Constituent des Chlorophylles.

Mit dem Blutkörperchen theilt das Chlorophyllkorn die Eigenschaft, daß die Bildung des Pigmentes von der Gegenwart des Eisens abhängig ist. Die in abfolut eisenfreien Böden oder Löffungen erzogenen Pflanzen werden blaß (chlorotifch). Führt man folchen Pflanzen Eifenfalze durch den Boden zu, fo ergrünen fie von unten nach oben, die Ergrünung foll felbst instantan auftreten, wenn die chlorotifchen Blätter mit Eifenlößung befrichen werden.

6. Theilung und Lagenänderung.

BÖHM hat zuerft darauf aufmerkfam gemacht, daß die Chlorophyllkörper in dem Wandbeleg oder allgemein in dem Zellenraum nicht stabile Lage befitzen, fondern spontane Bewegungen ausführen.

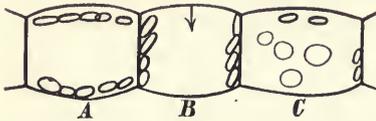


FIG. 431. Schematische Darstellung der Lage der Chlorophyllkörper in den Blättern der Moose. Mit dem Pfeil fällt das Licht ein. A Apoitrophe. B Epitrophe. C Indifferenzlage (nach FRANK).

In einem und demselben Blatte der Moose, oder im Prothallium der Farrenkräuter, kann man die verschiedenen Lagen der Chlorophyllkörper erkennen. Fig. 431 B zeigt alle Körner an der Wand, welche senkrecht zur Ebene des Blattes und parallel dem senkrecht zu dieser einfallenden Lichtstrahl stehen. Denken wir

uns einen Durchschnitt senkrecht zur Blattfläche gelegt, fo erscheinen die Körner in drei Hauptlagen, Fig. 431.

Sie liegen auf der Wand, welche dem Lichte zugekehrt oder auf der zu dieser entgegengesetzten, Fig. 431 A, die Epitrophe nach FRANK. Dieß

Addiren wir die Gleichungen unter b), fo kommt

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \dots + \frac{Q_n}{T_n} = 0;$$

haben wir durch den einen Kreisproceß die Wärmemengen $q_1, q_2 \dots q_n$ umgesetzt, fo wissen wir die neuen Wärmemengen $q_1, q_2, \dots q_n$ fo zu bestimmen, daß die $(n-2)$ ersten Summen $q_1 + q_1^1, q_2 + q_2^1 \dots q_{n-2} + q_{n-2}^1$ fämmtlich verschwinden. Da nun die Arbeiten auch gleich find, fo haben wir

$$a) \quad q_n - q_n^1 = q_{n-1} - q_{n-1}^1 \stackrel{=}{<} 0.$$

Setzen wir nun auch $q_1 + q_1^1 = Q_1, q_2 + q_2^1 = Q_2$ u. f. f. und betrachten also die beiden Proceße als in einen verschmolzen, fo wird:

$$b) \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \dots + \frac{Q_n}{T_n} = \frac{q_{n-1} - q_{n-1}^1}{T_{n-1}} + \frac{q_n - q_n^1}{T_n} =$$

$$q_{n-1} - q_{n-1}^1 \left(\frac{1}{T_{n-1}} - \frac{1}{T_n} \right).$$

ist die Lage, welche dem Maximum der Energie entspricht, weil das mit dem Pfeil eintretende Licht die vollste Ausnützung erfährt. In Fig. 431 *B* liegen die Körner an der Wand, welche senkrecht zur Blattfläche steht, Apostrophe, oder unter derselben Beziehung die Lage im Minimum der Energie. In Fig. 431 *C* endlich ist der Indifferenzzustand dargestellt, welcher meistens in der Jugend der Zelle herrscht. Nach der Auffassung FRANK's durchläuft die Chlorophyllzelle, wie jeder Organismus, eine Phasenreihe, in welcher bestimmte Bewegungsformen der Jugend, andere dem Alter zukommen¹⁾.

7. Auffällige Form der Chlorophyllzellen.

Zur Ausnutzung des Lichtstrahles sind in auffälliger Weise die Chlorophyllzellen des Laubblattes der Bäume eingerichtet. Sie besitzen die Gestalt von Prismen, welche senkrecht zur Blattfläche orientirt sind. Eine auffällige Differenzirung dieser Art fehlt in der Nadel der Picearten, bei welchen der Lichteinfluß nach allen Richtungen des Nadeldurchmessers nahezu der gleiche ist.

8. Die Strahlengattung, welche das Pigment bildet,

ist bis jetzt nicht genau ermittelt. Die einzigen Angaben hierüber verdanken wir SACHS (Handbuch der Exp.-Physf. der Pflanzen). Er zeigt, daß Pflanzen, welche hinter einer das Licht zum Theil absorbirenden Chlorophylllösung wachsen, noch zur Pigmentbildung gelangen²⁾.

Die experimentelle exacte Untersuchung müßte so ausgeführt werden, daß ein starkes objectives Spectrum der Sonne auf etiolirte Blätter geworfen wird. Die chlorophyllbildenden Strahlen würden dann eine Photographie in grüner Farbe hinterlassen. Solchem Verfuche stehen große Schwierigkeiten entgegen, die zum Theil darin begründet sind, daß die Pigmentbildung immer sehr langsam verläuft.

9. Zerstörung des Pigmentes in lebenden und todtten Pflanzen.

Dieselbe Kraft, welche das Pigment bildet, zerstört es auch. Man muß sich vorstellen, daß das Leben der grünen Pflanze auf diesem Verhältniß beruht, daß unter dem Einfluß von Licht mindestens zwei Uebergänge stattfinden:

¹⁾ FRANK, PRINGSH. Jahrb. 1871.

²⁾ Es ist zu bemerken, daß von Strahlen, welche in bedeutende Tiefen in's Blatt eindringen, nur das äußerste Roth bis zur Linie *B*, ferner die Strahlengruppen von *C* bis in die Nähe der Natronlinien (die Gruppe *D*) vorherrschen. Alle anderen werden, so namentlich Blau und Violett, in der einfachen, doppelten oder höchstens dreifachen Blattlage vollständig abforbirt.

- a) aus einer unbekanntenen Verbindung wird Chlorophyllpigment gebildet,
 b) dieses setzt sich in Kohlehydrate (Amylum) um und wird dabei als Farbstoff zerfört.

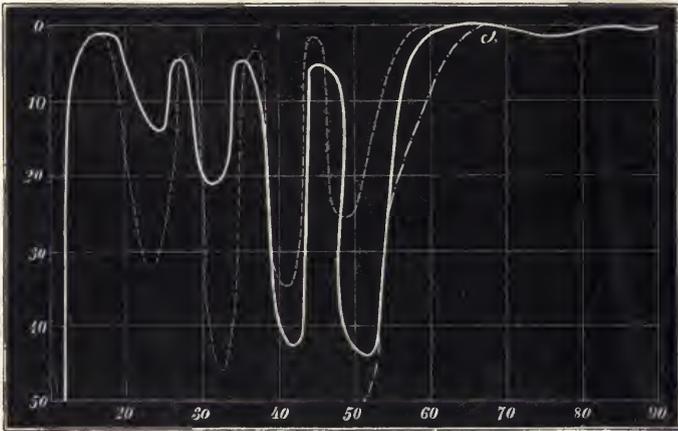


FIG. 432. Die stark ausgezogene Curve stellt die Aborption des normalen Chlorophyllpigmentes, die schwach punktirte diejenige des durch die Einwirkung des Lichtes zeretzten dar. Die Curve α nach 50 scheidet endlich die Coordinatenfläche $\alpha, 50 \cdot 90$ in zwei Theile, α ist der Theil des durchgehenden, $\alpha 50 \cdot 90$ der Theil des abforbirten Lichtes für Xanthophyll (nach TIMIRJASEFF).

Werden grüne Pflanzenblätter stark bestrahlt, so zerfetzt sich, wenn der Tod des von der Pflanze abgelösten Blattes eintritt, sehr bald das Grün. Es treten innerhalb 20—30 Minuten braune und gelbe Pigmente auf, welche das Blatt für chemische Strahlen undurchlässiger machen.

Bedeckt man lebende Blätter nach SACHS mit Stanniolbändern, so liefern dieselben nach der Bestrahlung eine Abbildung der bestrahlten Stelle, welche dunkler auf hellem Grunde erscheint.

Amylum- und Chlorophyllbildung stehen in dieser Beziehung zu einander: bei Verdunkelung grüner Pflanzen verschwindet zuerst das Amylum, zuletzt das Pigment.

10. Der Chlorophyllkörper ein Organismus.

Die Schwärmzellen der Algen, die Gonidien der Flechten sind Zellen, welche Chlorophyllplasma enthalten und längere Zeit eine ganz selbständige Existenz führen. Während dieser Zeit führen sie nicht unbedeutende Bewegungen aus, sie leisten Arbeit und decken den Wärmeverlust durch die Verbrennung der Amylumeinschlüsse. Sie stellen, da sie andererseits auch unter dem Einflusse des Lichtes die Rohnährkörper zu assimiliren vermögen, den vollkommensten Apparat dar. In ganz ähnlichem Sinne ist der Chlorophyllkörper der höheren Blattpflanze als selbständiger Organismus aufzufassen.

11. Function der Laubblätter.

In jeder Masche zwischen den letzten Endigungen der Nerven im Laubblatte treffen die zwei wichtigen Ströme, derjenige aus der Wurzel und der Gasstrom (f. § 25 C.) zusammen. In den Zellen dieser Gewebe-

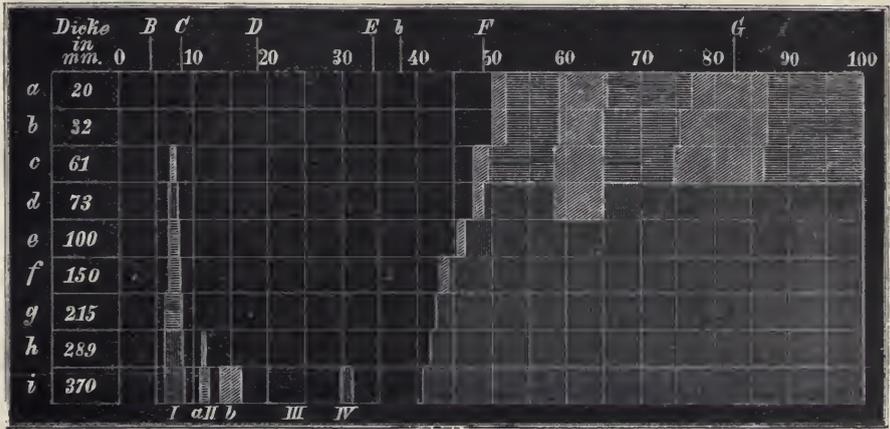


FIG. 433. Absorptionspectrum des Alkoholextrakt (nach PRINGSHEM). Die Absorptionsrichtung ist in die FRAUNHOFER'schen Linien B bis G getheilt. Am linken Rande sind die Dicken in mm der durchstrahlten Schichten für eine Lösung mittlerer Concentration von oben nach unten wachsend verzeichnet, bei a geht alles Licht bis in die Nähe der FRAUNHOFER'schen Linie F hindurch; bei c fängt der Absorptionsstreifen I des Chlorophylls, bei h erst der Streif II, bei i erst sind alle Chlorophyllstreifen sichtbar.

elemente werden, wennschon in ganz verdünnten Lösungen, alle Körper vereinigt, welche zur Bildung organischer Pflanzensubstanz erforderlich sind. Durch die Verdunstung der Laubblätter werden die Lösungen zunächst concentrirt.

12. Durchleuchtung des Pflanzenblattes.

In Folge der anatomischen Structur werden die parallelen Strahlen der Sonne bei dem Durchgang durch ein grünes Blatt außerordentlich zerstreut. Der Strahl eilt wechselnd durch wassergefüllte Zellen und Lufträume. Die sphärischen Chlorophyllkörper wirken selbst wie Sammellinsen von außerordentlich großem Oeffnungswinkel. - Die Folge davon ist, daß das Spectrum des lebenden Blattes nicht so scharf begrenzt ist und nicht so scharfe Absorptionslinien zeigt wie eine klare Alkohollösung des Chlorophylles. Immerhin kann mit Hilfe sehr lichtstarker objectiver Spectra gezeigt werden, daß das grüne Blatt in der Absorption und Fluorescenz mit dem Chlorophyll in Lösung übereinstimmt.

Die wesentlichen Phänomene der Absorption im lebenden Pflanzenblatt sind diese:

1^o die photographisch wirkfamen Strahlen werden schon in der einfachen oder höchstens in der doppelten Lage der Blätter vollständig abforbirt;

2^o von den sieben Abforptionsstreifen, welche mit Hilfe des Spectroscopes in der Chlorophylllösung nachgewiesen werden, erscheinen im Blatte nur drei, nämlich *I* im Roth, *II* im Gelb und das Abforptionsband in dem stärker brechbaren Theil des Sonnenspectrums.

13. Absorption der chemischen Strahlen.

HELMHOLTZ¹⁾ hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, daß die Photographieen von Landschaften, in welchen pflanzengrüne Flächen vorherrschen, im positiven Bilde auffällig schwarz erscheinen, daß somit der Negativsilberfchicht von den grünen Pflanzentheilen nur eine verschwindend kleine Menge chemisch (photographisch) wirkfamen Lichtes zufrahlte²⁾.

Legt man, wie ROSCOE zuerst versuchte, grüne Pflanzenblätter auf Chlor Silberpapier und läßt die Sonne hindurchscheinen, so geht durch die grünen Flächen zwischen den Nerven sehr wenig photographisch wirkfames Licht hindurch. Die Nerven aber, wenn sie nicht wie bei der Blutbuche gefärbt sind, lassen merkliche Spuren des chemisch wirkfamen Lichtes hindurch. Es entsteht ein negativer Abdruck der Nervatur und der Blattfläche. Vergleicht man zahlreiche Blätter, deren Negativ auf dieselbe Fläche von Chlor Silberpapier während derselben Intensität und Dauer der Befstrahlung hergestellt wurde, so erhält man das Maß für den Schatten derselben, wenn man mit dem Negativ ein positives Bild wiederum auf Chlor Silberpapier herstellt. Dieses Positiv giebt in der Tiefe des Tones den Grad der Abforption für photographisch wirkfames Licht an.

Die doppelte Lage der Blätter sämmtlicher untersuchter Bäume läßt das chemisch wirkfame Licht so gut wie nicht hindurch. Die Nervatur wird nur bei zwei Bäumen noch sichtbar, bei der Esche und der Robinie.

a) Der Schattengrad der Gesamtmfläche in der einfachen Blattlage wird am besten ermittelt, indem man in einen Cartonstreifen zwei rechteckige Löcher schneidet und diese so auf das Positiv legt, daß man in einer Oeffnung den Schatten der einfachen neben demjenigen der doppelten Lage gleichzeitig sieht. Der Contrast dieser beiden Flächen ermöglicht einen Vergleich zwischen je zwei Bäumen, und aus zahlreichen Beobachtungen läßt sich eine Scale aufstellen, welche freilich nur auf den geringen Werth Anspruch macht, den subjective Lichtmessungen überhaupt haben können.

1) HELMHOLTZ, Wechselwirkung der Naturkräfte. Königsberg 1854. S. 36.

2) A. MAYER, Lehrbuch der Agrikulturchemie. Bd. I. S. 39. Heidelberg. Carl Winter's Universitätsbuchhandlung (1. Aufl. 1871).

Größter Schatten in der Gesamttfläche für photographisches Licht.

- 1^o Taxus (tiefrothe Blutbuche).
- 2^o Salix alba, Erle, Roßkastanie.
- 3^o Linde.
- 4^o Phafeolus, Kartoffel.
- 5^o Robinie.
- 6^o Aspe.
- 7^o Birke.
- 8^o Esche.
- 9^o Ulme.
- 10^o Eiche.
- 11^o Ahorn, Buche.
- 12^o Hainbuche, lichte Blutbuche.

Kleinster Schatten für photographisch wirkfames Licht.

b) Schattengrad der Chlorophyllareale. Die Bestimmung ist außerordentlich erschwert durch die Kleinheit derselben. Man führt die Vergleichung am besten mit dem Negativ aus. Die folgende Scala konnte ich noch mit einiger Sicherheit aufstellen:

- 1^o die vollständigste Abforption: Taxus,
- 2^o Aesculus, Salix alba, Alnus glutinosa,
- 3^o Ulme, Linde,
- 4^o Ahorn,
- 5^o Eiche, Buche, Hainbuche, Kastanie,
- 6^o Esche. Die unvollständigste Abforption für photographische Strahlen.

14. Absorption der minder brechbaren Strahlen.

Mit wachsender Dicke der Schicht oder Concentration der Blattgrün-Löfung verschwinden wie bekannt zuerst die stärker brechbaren Strahlen des Spectrums (Blau und Violett) und wohl in demselben Maße der erste mit der Lithionlinie zusammenfallende Abforptionsstreifen, in zweiter Linie die Strahlen des zweiten und dritten Streifens (der erstere in der Nähe der FRAUNHOFER'schen Linie *D*, der zweite im Grün).

Schichtet man mehrere Blätter aufeinander und läßt das Sonnenlicht unter senkrechter Incidenz hindurchgehen, so erscheint zuletzt die Blattfläche roth von den Strahlen geringster Brechbarkeit (äußerste Grenze des Spectrums bis zur FRAUNHOFER'schen Linie *B*). Auf diese Strahlengruppe ist das Erythrophytokop von LOMMEL, auf die Strahlengruppe des ersten Abforptionsstreifens im grünen Blatte (*B* bis *C*) ist das Melanofkop abgestimmt¹⁾. Herr LOMMEL war so gütig, mir solche Brillen zuzustellen; ich

¹⁾ Die aus zwei farbigen Gläsern combinirten LOMMEL'schen Brillen lassen die Strahlengattung *BC*, Melanofkop, und *o* bis *B*, Erythofkop (Erythrophytokop), vorzugsweise hindurch.

war fomit in der Lage, die Blätter verschiedener Waldbäume für die wichtigsten Strahlengattungen abzuwägen, zu bestimmen, wie viele Blätter des einen Baumes hintereinander geschichtet entsprechen einer gegebenen Anzahl von Blättern eines bestimmten anderen Baumes.

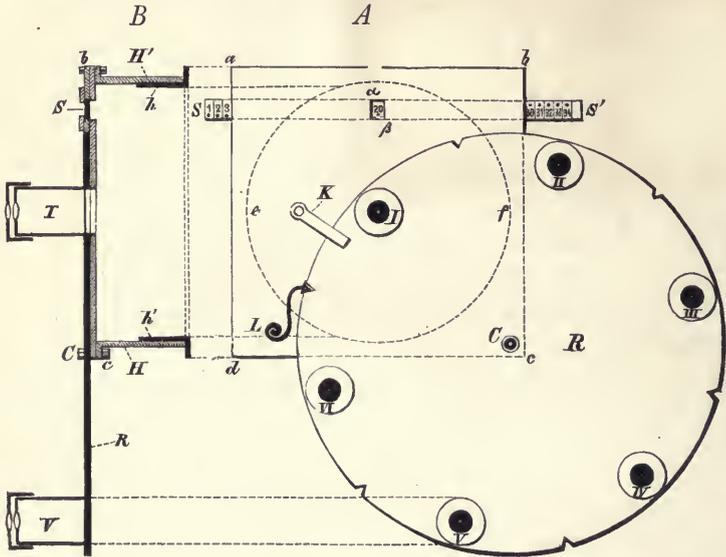


FIG. 434. Revolverapparat für die Beobachtungen über Durchleuchtung grüner Pflanzenteile.

Da diese Versuche nicht an einem Tage erledigt werden konnten, fomit verschiedene Intensität des Sonnenlichtes in Betracht kam, so wurde eine Scale von feinstem Zeichenpapier zum Vergleichen der Intensitäten des einfallenden Lichtes angewandt. Die Papierstreifen, aus einem und demselben Bogen gefertigt, werden treppenartig übereinandergeschichtet und das ganze System von 30 bis 40 Lagen zwischen zwei Glasplatten gefaßt. Auf jede Treppe ist eine Nummer und ein kreisförmiger schwarzer Fleck verzeichnet. Die so hergestellte Scale kann in einer Papphülle, welche über die Oeffnung des Heliostaten paßt, $b\ b'$ Fig. 434, so verschoben werden, daß nach und nach die verschiedenen Schichten (Treppen) vor den lichtdurchlassenden Spalt $\alpha\ \beta$ Fig. 434 gerathen. Die Treppe, in welcher die Zahl und der schwarze Fleck soeben für das Auge des Beobachters im Dunkelzimmer verschwinden, ist die Grenze der Durchlässigkeit.

In dieselbe Hülle $b\ b'$ Fig. 434 B , $e\ f$ Fig. 434 A wurde an den Heliostaten ein Revolverapparat angebracht, um die Bestimmung der Durchleuchtung grüner Baumblätter möglichst rasch auszuführen. Die im Durchschnitt Fig. 434 B sichtbare Hülle $H\ H'$ trägt eine viereckige Platte $a\ b\ c\ d$, in welcher, außer jener Scale $S\ S'$ geschichteter Papierstreifen, eine in C drehbare, sechsmal durchlöcherete Scheibe befindlich ist. In der Platte

a b c d ist innerhalb der Oeffnung des Heliostaten *ef* ein kleines kreisförmiges Loch, auf welches die Tubuli *I II . . . VI* mittelst Drehung und Mithilfe des Sperrhakens *L* eingestellt werden können. Die Tubuli (*V*, Fig. 434 *B*) nehmen zwischen der durchbrochenen Endfläche und einem durchbrochenen Deckel die kreisförmigen Blattabschnitte auf. Der Apparat ist demnach so eingerichtet, daß binnen wenigen Minuten 6 Beobachtungen gemacht werden können. Bei vergleichenden Untersuchungen ist fomit der Fehler, welcher durch den Wechsel in der Intensität des Sonnenlichtes entsteht, möglichst klein gemacht.

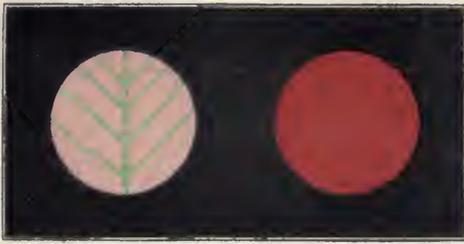


FIG. 435. Phänomene der Durchleuchtung von grünen Pflanzenblättern.

Wir geben hier die Resultate einer Versuchsreihe:

	Mit bloßem Auge.	Melanoskop.	Erythrophotoskop II.
Fraxinus excelsior			
3 Bltt.	grün	roth	roth
4 "	{Nerven grün Grünflächen braun	"	"
5 "	{Nerven grün Grünflächen roth	"	"
6 "	hellroth	"	"
7 "	tief Rubinroth	schwarz	"
8 "	"	"	"
9 "	dunkelroth	"	"
10 "	"	"	schwarz
11 "	schwarz	"	"
12 "	"	"	"

Die Grenze an der Lichtscala ist = 13° (d. h. die 13. Treppe).

Aus zahlreichen solchen Messungen konnte die Auslöschung für die wichtigeren Waldbäume bestimmt werden. Wir setzten die Extinctionsgröße für die Buche gleich eins und vergleichen damit diejenige der schattigeren Waldbäume. Für die Buche genügen 13 Blätter in den Hülsen jenes Revolverapparates, um die Strahlengruppe *B C* vollständig auszulöschen, für die Strahlengruppe des minder brechbaren Roth bis zur Linie *B* aber bedarf es 20 Blätter zur vollen Auslöschung; dividirt man in der nachfolgenden Tabelle mit den Coëfficienten in 13 für die erstere, in 20 für die zweite Strahlengruppe, so erhält man die Zahl der Blätter für den betreffenden Baum.

	Extinctionsgröße des einzelnen Blattes. Melanofkop.		Extinctionsgröße des einzelnen Blattes. Erythrofkop.
Buche	1	Buche	1
Hainbuche	1,182	Hainbuche	1,286
Kaftanie	1,300	Afpe	1,384
Ahorn, Blutbuche, Afpe .	1,444	Kaftanie, Roßkaftanie, Spitzahorn, Wallnuß	1,384
Erle, Roßkaftanie, Wall- nuß	1,625	Eiche	1,500
Linde, Efche, Ulme, Eiche	2,166	Blutbuche, Erle . . .	1,631
		Efche, Linde, Ulme .	2,000

15. Spectrum der Chlorophylllösung¹⁾.

Das Chlorophyll ist in Wasser außerordentlich wenig, dagegen leicht löslich in Alkohol, Aether, ätherischen und fetten Oelen, in Benzin und vielen anderen Flüssigkeiten.

In dem Chlorophyllkörper muß es daher gelöst fein in fetten Oelen, welche auf das Innigste mit dem Protoplasma gemischt sind. Außer den Gerinnungsercheinungen verändert sich der Chlorophyllkörper bei der Entfärbung mit den Lösungsmitteln für das Pigment nicht.

Ueber das Chlorophyllspectrum ist in neuerer Zeit viel gearbeitet worden. Die wesentlichen Resultate mögen hier gedrängt zusammengestellt, dabei aber im Allgemeinen die Theorie der FRAUNHOFER'schen Linien und der Spectralanalyse (KIRCHHOFF, Das Sonnenspectrum, ROSCOE, Die Spectralanalyse, Braunschweig, Vieweg 1870, und die Lehrbücher der Experimentalphysik) vorausgesetzt und in anhängenden Noten nur die zum Verständniß wichtigsten Lehrrätze berücksichtigt sein.

¹⁾ Es mögen anbei die Wellenlängen und die Zahl der Schwingungen angegeben sein:

FRAUNHOFER'S Linie.	Wellenlänge in mm.	Zahl der Schwingungen in der Secunde bei mittlerer Sonnenentfernung in Billionen.
B	0,000 878	450
C	656	472
D	588	526
E	526	589
F	484	640
G	429	722
H	392	790

Die alkoholische Lösung des Chlorophylls besitzt bei genügender Verdünnung sieben Abföptionsstreifen, Fig. 436. Die Strahlengruppe *B* *C* wird am vollständigsten abföbirt. Sodann liegt ein Streifen vor *D*, einer

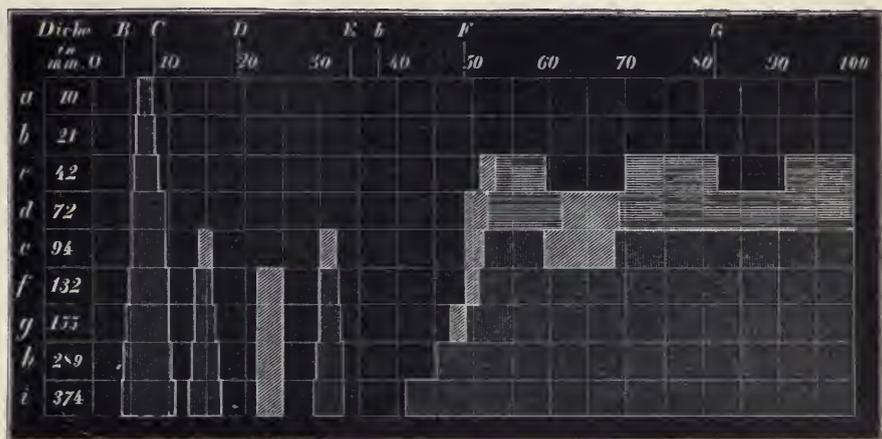


FIG. 436. Abföptionspectrum des Alkoholchlorophylls (nach PRINGSHEIM) (vergl. die Figurenerklärung von 433). Der Streifen *I* tritt schon bei geringster Dicke der Lösung auf, und zwar ganz allein, bis zur Dicke von 42 mm, wo zuerst die Streifen *V VI VII* im Grau, Blau und Violett erscheinen. Mit steigender Dicke fließen diese in ein einziges Abföptionsband zusammen, die vier ersten Streifen bleiben gefondert.

hinter *D*, einer vor *E*, einer hinter *F*, einer vor *G* und einer vor *H*. Bei größerer Dicke der abföbirenden Schicht oder bei größerer Concentration werden alle Strahlen des stärker brechbaren Theiles abföbirt, bis zur Strahlengruppe, welche zwischen *E* und *F* belegen ist, Fig. 441¹⁾. In ganz concentrirten Lösungen und sehr dicken Schichten endlich werden alle Strahlen vom violetten Ende bis zur FRAUNHOFER'schen Linie *B* abföbirt. Die Lösung erscheint bei durchfallendem Lichte tiefroth.

Die Lösung des Chlorophylls in Benzol weicht außerordentlich wenig von der alkoholischen ab. In den von PRINGSHEIM zusammengestellten Abföptionspectren für die Alkohol- und Benzollösung des Chlorophylls, Fig. 436, 437, wurde eine Concentration gewählt (von PRINGSHEIM als eine mittlere bezeichnet), in welcher die charakteristischen Abföptionsstreifen *I* bis *IV* eben noch sichtbar sind, während für *V VI VII* die Endabföption herrscht, d. h. alles Licht zwischen den einzelnen Abföptionsbändern ver-

¹⁾ Die Lage der Abföptionsbänder ist nicht eine absolut constante; sie ist in geringen Grenzen veränderlich, je nach dem angewandten Lösungsmittel. In der Erklärung dieses Phänomens sind sich die mit dem Gegenstand betrauten Forscher nicht einig. KUNDT führt die Lagenänderung auf die verschiedene Dispersion des Lösungsmittels zurück. PRINGSHEIM stellt sich vor, daß das Lösungsmittel selbst das Pigment mehr oder weniger in feinen optischen Eigenschaften zu verändern vermöge. KRAUS sucht die Verschiebung auf das spezifische Gewicht des Lösungsmittels zurückzuführen.

schluckt ist. Diese letzteren Streifen erscheinen daher als ein einziges Ab-
 sorptionsband *i*, Fig. 437. In *i* besitzt die Schicht bei der Beleuchtung mit
 einer irdischen Lichtquelle (Lampe) eine Dicke von 370, beziehungsweise

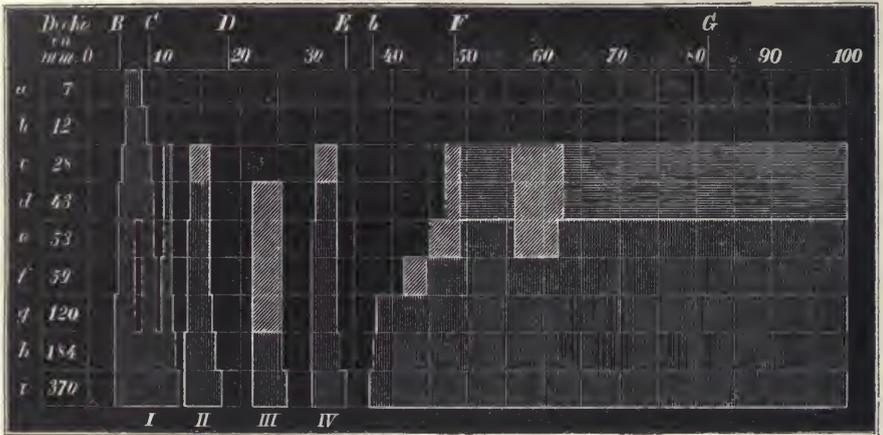


FIG. 437. Absorptionsspectrum des Benzolchlorophylls. Unterscheidet sich im Wesentlichen von dem Alkoholchlorophyll durch das frühere Auftreten der Streifen II und IV (vergl. die Figurenerklärung der früheren Figuren).

372 mm. Verringert man nun in dem Maß, wie dieß in den Figuren 436, 437 angegeben ist, die Schichtendicke, so treten die in der Abscissenrichtung *d*, *e*, *f* u. f. f. verzeichneten Absorptionsphänomene ein. Man erkennt, daß das Benzolchlorophyll sich in dieser Hinsicht von dem Alkoholchlorophyll um ein wenig untercheidet. Mit Hilfe dieser Methode weist PRINGSHEIM nach, daß auch den gelben und rothen Pigmenten die dem Chlorophyll eigenen Absorptionsbänder zukommen, wiewohl mit geringerer Extinction, (siehe weiter unten).

Die Lösung des gelben Farbstoffes etiolirter Pflanzen, das Alkohol-Etiolin, besitzt nahezu die gleichen Absorptionsstreifen. Die Fig. 433 stellt das Absorptionsspectrum dieses Pigments aus den Keimlingen von Cannabis dar (PRINGSHEIM¹). Die für das Chlorophyll charakteristischen Absorptionsbänder I II III IV sind schwächer, die Absorption unvollständiger. PRINGSHEIM sieht das Etiolin als eine Chlorophyllmodification an. Das Etiolin besitzt dieselbe monochromatische Fluorescenz wie das Chlorophyll.

Die Auffassung des Etiolin als einer gelben im Finstern entstehenden Chlorophyllmodification, welche allgemeinere Betrachtungen über den vegetabilischen Stoffwechsel nahelegen, entspricht endlich auch dem unleugbar mächtigen Einfluß, welchen das Licht sichtlich auf das Ergrünen der

¹) N. PRINGSHEIM, Untersuchungen über das Chlorophyll. Aus dem Monatsbericht der Königl. Acad. d. Wissensch. Oct. 1874. Dec. 1875.

Phanerogamen ausübt. Es steht aber dieser Einfluß nicht in unmittelbarer Beziehung zur Entstehung des Chlorophylles, sondern hängt mit Aenderungen zusammen, welche der Athmungsvorgang der Phanerogamen im Lichte erleidet und die erst in secundärer Folge zur Bildung des Chlorophylles hinführen. Der Satz von dem Einfluß des Lichtes auf das Ergrünen ist somit dahin zu modificiren, daß zwar die Entstehung des Chlorophylles überhaupt vom Lichte unabhängig ist, daß aber im Finstern eine gelbe, im Lichte eine grüne Modification des Chlorophylles sich bildet.

Das Gelb der Herbstblätter (Xanthophyll) enthält die dem Chlorophyll zukommenden charakteristischen Absorptionsstreifen im minderbrechbaren Theil weniger deutlich wie das Etiolin. Indes ist das Band *I* nachweisbar. Das Xanthophyll wird von PRINGSHEIM als eine entferntere Chlorophyllmodification angesehen.

FRÉMY entmischte die Chlorophylllösung mit Salzsäure und trennte zwei Farbekörper, einen gelben und einen blauen oder blaugrünen. Diese Trennung tritt auch ein, wenn in einer Chlorophylllösung auf Löschpapier oder in einer Porzellanfchale das Lösungsmittel verdampft. PRINGSHEIM (a. a. O. S. 1) macht auch darauf aufmerksam, daß die FRÉMY'schen Farbekörper (Xanthophyll und Kyanophyll) vielleicht Zeretzungsproducte des Chlorophylles sind, oder unreine Modificationen, Gemische mehrerer Chlorophyllmodificationen.

Dem gelben Bestandtheile fehlen, soweit bei PRINGSHEIM die Beobachtungen reichen, die charakteristischen Streifen in Roth und Gelb. Er entmischt das Chlorophyll in verdünnt alkoholischer Lösung mit Benzol in der Weise, daß das Gemisch sich möglichst vollständig ohne gegenseitige Trübung scheidet (S. 21 a. a. O.). Der gelbe Antheil, in Alkohol gelöst, enthält nach der angegebenen Methode mindestens das Band *I*, je nach der Concentration aber können alle 7 Absorptionsbänder des Chlorophylles in der Lösung beobachtet werden.

Der grüne oder blaugüne Antheil, in Benzol gelöst, zeigt eine Verschiebung der Absorptionsbänder im Blau zu denselben in der ursprünglich angewandten Lösung. PRINGSHEIM ist nicht der Ansicht, daß diese Eigenschaft allein zur Annahme eines blauen Pigmentes in dem Chlorophyll berechtige.

Nach demselben Forscher¹⁾ ist der gelbe Farbstoff der Blüten, der Fruchtschalen, Aepfel, Amygdaleen u. a. m., als ein Derivat des Chlorophyllpigmentes anzusehen. Das Pigment kommt an Plasmakörper gebunden, aber auch bei *Linaria* im Zellsaft vor oder als eine ölartige gleichmäßig

¹⁾ PRINGSHEIM a. a. O. S. 16.

gefärbte Flüssigkeit in den Zellen der Blumenkrone von *Verbascum*. PRINGSHEIM will für diesen Farbkörper den Namen Anthoxanthin beibehalten wissen. Er zeigt durch die Spectralanalyse, Fig. 439, daß die möglichst

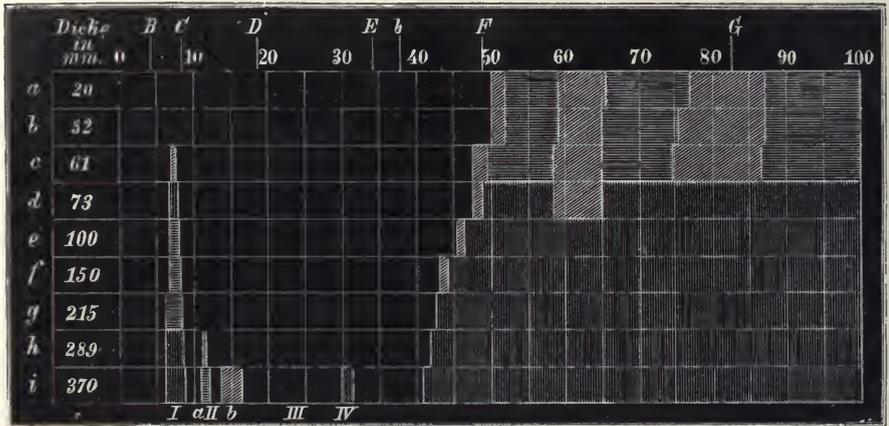


FIG. 438. Absorptionsspectrum des Alkoholextrahats (nach PRINGSHEIM). In einer Lösung mittlerer Concentration wird bei 22–32 mm Dicke, man sehe *a b*, nur der brechbarere Theil des Spectrums absorbiert bis in die Nähe der FRAUNHOFER'schen Linie *F*, mit der Schichtdicke von 61 mm tritt der erste Streifen in *B C* auf. Aber erst bei den dicksten Schichten treten die Streifen *II III IV* auf.

sorgfältig vor etwaiger Verunreinigung mit Chlorophyll geschützte Lösung die wesentlichen Absorptionstreifen des Chlorophylles besitzt. In der verdünnten Lösung oder in einer dünneren Schicht derselben, *a* Fig. 439, treten zuerst die Absorptionstreifen *V VI VII* im Blau auf. Die Endabsorption zeigt aber auch, wennschon mit geringerer Extinction, die Streifen *I II III IV*, *f.* in *b*.

Das Sonnenlicht besitzt für die blauen und violetten Strahlen des Spectrums eine weitaus größere Intensität wie das Lampenlicht (Gas-, Oel- und Petroleumlampe). Man sagt gewöhnlich, das Lampenlicht enthält weniger Blau und Violett. Es bedeutet dieß soviel ungefähr: aus dem Lampenlicht gehen die genannten Spectralfarben mit geringerer Amplitude hervor als sie vom Sonnenkörper ausstrahlen. Die Extinctionsgrößen, welche man dementsprechend für einzelne Theile des Spectrums für Lampenlicht bestimmt, sagen somit nichts aus über die Extinction der gleichfarbigen Sonnenstrahlen. In der That hat Herr Professor Dr. WOLKOFF¹⁾ gezeigt, daß die Extinction der Chlorophylllösung für Lampenlicht im Blau in *G*, Fig. 440, ihr Maximum erreicht. Die Methode, welche der genannte Forscher anwendet, findet sich beschrieben in VIERORDT, Die Anwendung des Spectralapparates u. f. f., Tübingen 1871.

¹⁾ WOLKOFF, Die Lichtabsorption in den Chlorophylllösungen. Heidelberg. Naturhist.-medicin. Verein. Neue Folge. I. Bd. S. 204. 1876.

16. Fluorescenz des Chlorophylls¹⁾.

Die Sonnenstrahlen werden von vielen Pflanzenpigmenten und Alkaloiden sowie Glucosiden in der Weise absorbiert, daß die lebendige Kraft der absorbierten Strahlen zum Theil oder ganz in Eigenlicht des be-

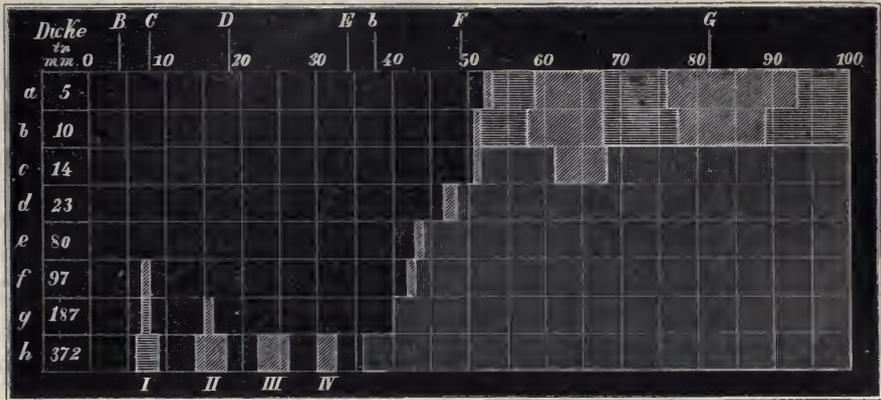


FIG. 439. Absorptionsspectrum des Alkohol-Anthoxanthin. Bis zur Schichtdicke der Lösung von mittlerer Concentration von 10 mm treten zuerst die drei letzten Absorptionstreifen des Chlorophylls auf. Mit der Schichtdicke von 97 mm kommt zuerst I, erst bei 187 kommt II, und gegen 400 nm Schichtdicke kommen III und IV.

treffenden Körpers umgewandelt wird. Die Strahlengattung, welche unter diesen Umständen ausgestrahlt wird, mag das Fluorescenzlicht heißen gegenüber den Fluorescenzern, d. h. den Lichtstrahlen, welche in den fluorescirenden Körper einstrahlen. Das Chlorophyll besitzt die Eigenschaft zu fluoresciren, sowohl im lebenden Laubblatte, wie in der Alkohol-, Aether- u. f. f. Lösung. Die durchschlagende experimentelle Methode für den Nachweis der Fluorescenz in Chlorophyll ist die Herstellung des derivierten Spectrums²⁾. Man entwirft an dem Ort $a b \gamma \delta$, Fig. 441, auf ein Blatt oder ein planparallelepipedisches Gefäß, welches mit Chlorophylllösung gefüllt ist, ein möglichst lichtstarkes objectives Spectrum und betrachtet dieses mit einem Spectroskop, dessen brechende Kante horizontal gestellt ist. Es werden alsdann alle nicht in Fluorescenzlicht umgewandelten Strahlen des Sonnenspectrums entsprechend ihrer Brechbarkeit so abgelenkt erscheinen, wie es der schief gestellte Spectralstreifen, Fig. 441, darstellt. An dem

1) STOKES, f. WÜLLNER, Lehrbuch der Experimentalphysik. II. S. 255. POGGENDORFF's Ann. Bd. XCVI. S. 523. LOMMEL, Ueber Fluorescenz. Separatabdruck.

2) Man zeigt auch in Vorlesungsversuchen einen convergenten Lichtkegel, welchen man mit Hilfe einer Sammellinse in eine concentrirte Chlorophylllösung wirft; der rothe Schein aber enthält hier sowohl das Fluorescenzlicht der Strahlengruppe BC, wie auch das nicht absorbierte Roth von geringster Brechbarkeit.



FIG. 440. Die Abscissenaxe ist eingetheilt in die Intervalle, welche den FRAUNHOFER'Schen Linien im Sonnenspectrum zukommen. Die Ordinaten entsprechen der Lichtstärke im Spectrum einer normalen Chlorophylllösung, welche bei 1 cm dicker Schicht im Bande I 50% des Lichtes absorbiert. Die Lichtstärke des angewandten Lichtes ist gleich taufend gesetzt. Die Schnittpunkte der Curve mit den Horizontallinien ergeben in den am rechten Rand verzeichneten Zahlen die Aborption in den resp. Regionen des Spectrums.

Orte aber, wo das erste Spectrum auffiel, erscheint ein scharfer rother Streifen von Fluorescenzlicht von einer und derselben Brechbarkeit in allen Theilen. Der Versuch zeigt somit, daß das Fluorescenzlicht aus einer

einzigem Strahlengattung besteht, und daß alle Strahlen des Sonnenspectrums mit Ausnahme der mindest brechbaren vom Ende des Spectrums bis zur FRAUNHOFER'schen Linie *B* in dieses Fluorescenzlicht verwandelt werden.

Der rothe Streifen, Fig. 44I, aber leuchtet nicht mit der gleichen Intensität über seine ganze Fläche, sondern zeigt an dem Orte jedes Absorptionsstreifens ein Maximum der Lichtstärke.

Der sichtbare Theil des Sonnenspectrums umfaßt von dem äußersten Roth bis zum äußersten Violett nicht vollständig eine Octave. LOMMEL erwähnt in seinen Publicationen einen Versuch, welcher durchschlagend zeigt, wie die optischen Phänomene nach der Theorie der Wellenbewegung erklärt werden. Wie in der Akustik bekannt, klingen in einem Instrument die Töne mit, welche die Octaven des Grundtones darstellen, der in das System von schwingenden Saiten einstrahlte. Bezogen auf den Grundton des Chlorophylles, welcher bei *B C* liegt, liegt die nächst höhere Octave jenseits, aber nicht sehr weit von der sichtbaren Grenze des Sonnenspectrums im Ultraviolett. Bei der Bestrahlung der Chlorophylllösung mit dem Lithionlicht, welches ungefähr dem Grundton des Fluorescenzlichtes entspricht, konnte LOMMEL zeigen, daß in erster Linie jene Strahlen als Fluorescenzlicht mitklingen, welche der Octave entsprechen.

Die Fluorescenz des Chlorophylles wird im lebenden Blatte stärker in der Kälte, und immer dann, wenn das Blatt nicht affimilirt.

Die Frage, warum erscheinen grüne Pflanzen nicht in ihrem Fluorescenzlicht, liegt nahe, wenn man beachtet, daß bei einer concentrirten Lösung zuletzt nur rothe Strahlen austreten können. In der Natur ist aber die Menge des Fluorescenzlichtes oder dessen Intensität sehr klein gegenüber der Lichtstärke in der Zustrahlung.

Es wird in der That bei einigen Lebermoosen ein dießbezügliches Experiment von HOFMEISTER angegeben. So soll ein Lophocolearasan auf schwarzem Grunde unter Wasser braunroth erscheinen. Es werden hier die lichtschwächeren Strahlen des Grün absorbiert und die wenigen für unser Auge lichtstärkeren von der Umgebung gedämpft.

17. Kohlensäurezerlegung.

PRIESTLEY fand zuerst, daß grüne Pflanzenblätter, welche in Kohlensäurewasser getaucht und beleuchtet werden, Sauerstoff ausscheiden. Bei vielen Wasserpflanzen beobachtet man zur Zeit der Bestrahlung aus den Wunden, welche luftführende Intercellularen bloßlegen, und aus den Spaltöffnungen feine Bläschen, welche in kürzeren oder längeren Intervallen aufsteigen. Das Gas ist sauerstoffreich, wenn das umgebende Wasser nicht

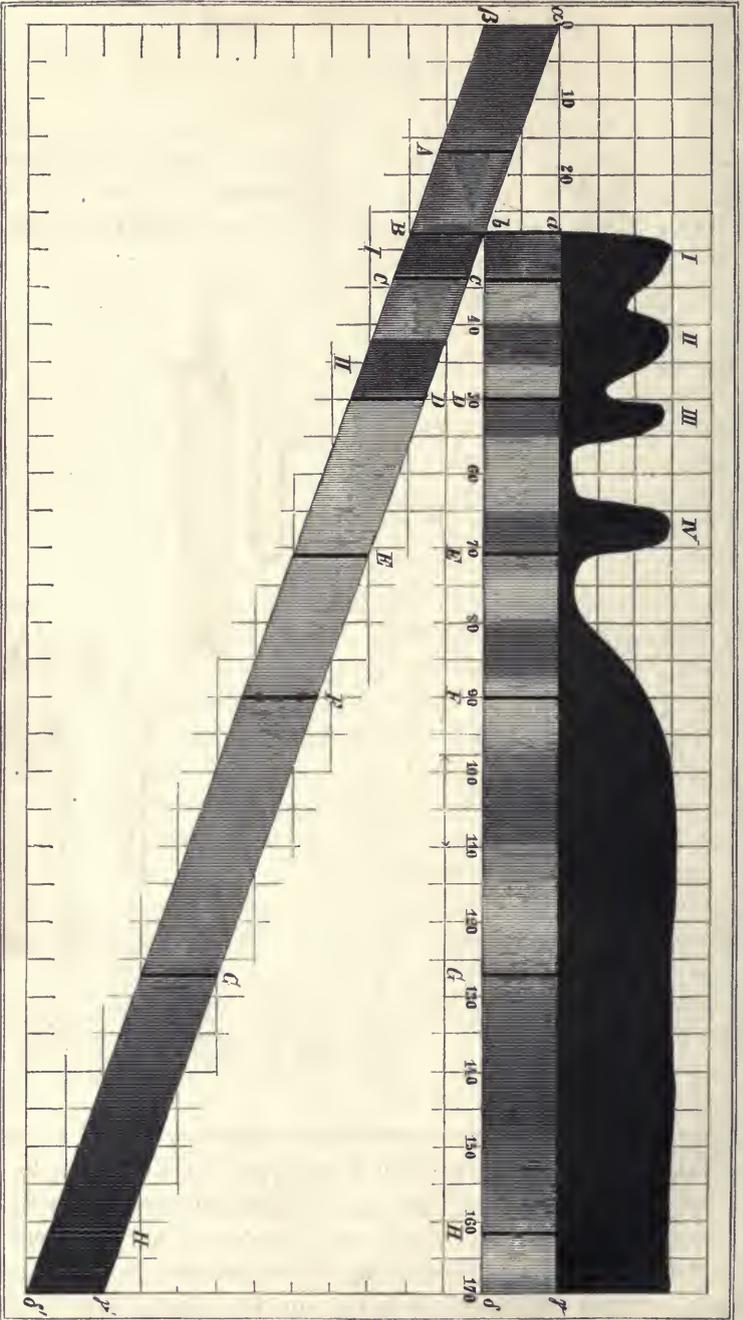


Fig. 441. Dicke Figur stellt das derivierte Spectrum nach der Methode dar, welche von Stokes zuerst vorgeschlagen wurde. Auf die Fläche α β γ δ , welche einer planen Glaswand entspricht, hinter welcher die Chlorophylllösung befindlich ist, wird ein lichtdunktes objectives Sonnenspectrum im dunkeln Raum entworfen. Dieser Spectralstreifen wird mit einem horizontalen Prisma betrachtet; das anfallende Spectrum erscheint alsdann, entsprechend der verschiedenen Brechbarkeit der Strahlen, nach α β γ δ verflohen. In dem Orte aber, in welchem es in die Chlorophylllösung fällt, erscheint ein rother Streif α β γ δ , in welchem, entsprechend den Absorptionsstreifen, die Intensität stärker ist in I II u. s. f.

zu viel Kohlenfäure enthielt. Es besteht fast nur aus Kohlenfäure, wenn das umgebende Wasser reich an diesem Gase ist.

a) Directer Nachweis für die Aborption des Lichtes bei der Affimilation.

Kann die Lichtmenge, welche verbraucht wird, um den chemischen Proceß der Kohlenfäurereduction zu unterhalten, auf photographischem Wege gemessen werden? Ich verfuhr, um diese Frage zu lösen, in der folgenden Weise. Zwei möglichst gleiche Laubblätter eines Zweiges der *Castanea vesca* werden auf Chlorfilberpapier gelegt und in einen photographischen Copirrahmen eingespannt, derart, daß die Oberseite der Blätter der Silberalbuminschicht zugekehrt, aber durch eine dünne Glasplatte von ihr getrennt ist. Die Blattstiele beider Blätter stehen durch Kautschukschläuche und Glasröhren mit zwei Gasometern in Verbindung. Der eine enthält ein Gemisch von 10 0/0 Kohlenfäure und 90 0/0 atmosphärischer Luft, der andere enthält Wasserstoffgas. Nachdem der Gasstrom etwa einen halben Tag durch den Blattstiel unterhalten war, darf man annehmen, daß alle vorher in den Binnenlufträumen der Blätter enthaltenen Gase verdrängt sind. Das mit dem Kohlenfäureluftgemisch versehene Blatt wird beleuchtet affimiliren, das mit Wasserstoff gefüllte dagegen ist nicht in der Lage, einen chemischen Proceß auszuführen.

Das erstere wird beleuchtet mehr Licht absorbiren wie das letztere. Das Experiment wurde nach zahlreichen mißlungenen Versuchen so ausgeführt, daß die Gasströme während drei bis vier Stunden unterhalten wurden. Zur gleichen Zeit wurden die Blätter mit diffusem, sehr schwachem Tageslicht beleuchtet, so daß der Proceß der Silberreduction in der Unterlage von Chlorfilberpapier möglichst langsam vor sich ging. Der Versuch gelang auf das vollständigste. Die Lichtpaufe des mit Wasserstoffgas gefüllten Blattes

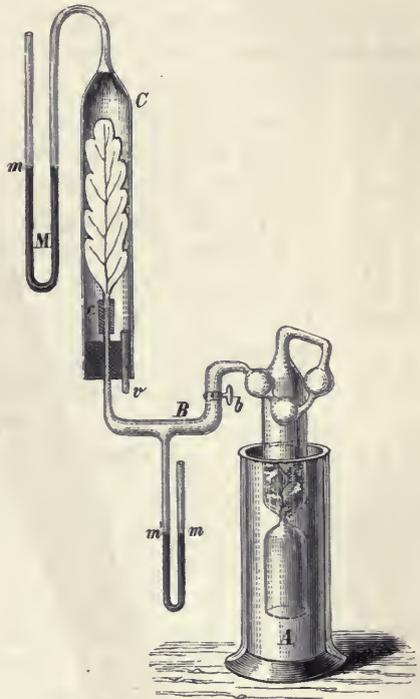


FIG. 442. A bis b ein BUNSEN'Scher Kohlenfäureapparat. In dem Abzugsrohr bei B am Manometer C ein Glasreipient mit einem Manometer M. Die entweichende Kohlenfäure tritt bei e in den Blattstiel eines Laubblattes.

war auffälligst dunkler wie diejenige des mit Kohlenfäure und atmosphärischer Luft gefüllten Blattes.

b) Diffusion der Gase im Sonnenlicht und Sonnenspectrum¹⁾.

Der Baum taucht mit seiner Krone in einen ungeheuren Ocean, aus welchem er die in großen Abständen vertheilten Gastheilchen absorbiert. Das Blatt ist der Apparat, welcher dieß in vortheilhaftester Weise ermöglicht durch die große Fläche bei geringer Masse und durch die große innere Oberfläche luftführender Räume. Bei der Befahrung des Blattes machen sich, wie leicht vorauszu sehen, zwei Phänomene geltend: die Gase in den Binnenluftäumen werden erwärmt und erhalten eine Beschleunigung der Diffusionsgeschwindigkeit und eine Erhöhung des Druckes. Die Assimilation der Kohlenfäure bewirkt eine stete Störung des osmotischen Gleichgewichtes. Den verschiedenen Strahlen des Sonnenlichtes wird hiebei eine verschiedene mechanische Rolle zukommen. Dieß zu untersuchen war der nächste Vorwurf der nachfolgenden Untersuchungen. Ich suchte zu bestimmen, wie rasch sich zwei verschiedene Gasströme ausgleichen, und wählte einen Kohlenfäurestrom, welcher am Blattstiel eintritt, während die Blattfläche mit der Atmosphäre in Berührung bleibt.

Der zu den Versuchen angewandte Apparat, Fig. 442, ist zusammengesetzt aus einem BUNSEN'schen Kohlenfäureapparat *A*, welcher bei *b* durch einen Glashahn mit dem Rohre *B* in Verbindung gebracht werden kann. Dieses mündet in den Blattstiel. Der Raum *c B m' b* ist mit Kohlenfäure gefüllt. Der Manometer möge auf dem 0-Punkt stehen. Verbraucht nun das Blatt einen Theil der Kohlenfäure in dem kleinen Raume *c B m' b*, so steigt die Säule in *m'*, diejenige in *m* sinkt.

Beleuchtet man das Blatt mit verschiedener Intensität, so wird von dem Spiegel der Sperrflüssigkeit eine bestimmte Anzahl von Theilstrichen an *m'* in verschiedener Zeit zurückgelegt. Diese Zeiten wurden bestimmt. Läßt man zunächst den Recipienten, welcher das Blatt umgiebt, hinweg, so daß dieses von der Atmosphäre umgeben ist, so kann man in wenigen Secunden den ersten Versuch wiederholen, indem man von Neuem den Hahn *b* öffnet, bis die Spiegel *m' m* auf dem 0-Punkt stehen.

Ein Blatt von *Aesculus hippocastanum* wird mit diesem Apparat in Verbindung gebracht und mit Hilfe einer Sammellinse und eines Heliofaten im dunklen Zimmer beleuchtet.

¹⁾ Die Literatur über diesen Gegenstand: SACHS, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. S. 143 ff. N. J. C. MÜLLER, in PRINGSH. Jahrb. für wissenschaftliche Botanik. Bd. VI. S. 478. Bd. VII. S. 145. Bd. IX. S. 36 und Botan. Untersuchungen, Carl Winter's Universitätsbuchhandlung. Heidelberg 1872. Untersuchungen über Sauerstoffausscheidung u. s. f.

Temperatur 24° C.

Gefchw.	Zeit: Secunden.	Theilstriche.	Licht- intensität.
0,0039	255	+ 4	0
38	260	»	0,000885
40	225	»	0,001
0,0130	75	»	0,0025
0,0130	75	»	0,00357
0,0083	120	— 4	0,02
0,0020	480	— 4	0,04
$\frac{1}{\infty}$	∞	± 0	0,333

Sobald die Lichtintensität $\frac{1}{3}$ der Sonnenintensität erreicht, machen sich zwei Vorgänge im Binnenraum geltend, die Spannung der Gase, welche mit dauernder Bestrahlung zunimmt, und die Diffusion; es kommt somit dahin, wie man aus der achten Ablefung erfieht, daß der Spiegel stationär wird.

Wir sehen aus der Reihe der Diffusionsgeschwindigkeiten, daß von absoluter Dunkelheit ab bis zu der Intensität 0,00357 des einfachen Sonnenlichtes die Geschwindigkeit des Stromes wächst, von da ab aber sinkt dieselbe. Jetzt wirkt die Spannung der Gase in den Binnenluftäumen verlangsamernd, und der Strom steht längere Zeit ganz still bei $\frac{1}{3}$ der Intensität des Sonnenlichtes.

Denfelben Apparat kann man auf verschiedene Theile des Sonnenspectrums einstellen, und für jede Stellung dort kann die Zeit bestimmt werden, welche für den Absorptionsstrom gebraucht wird. Ein objectives Spectrum wird zu dem Behufe mittelst zweier Steinsalzprismen entworfen:

Schwankung 5 mm. Temperatur 25° C.

Gefchw.		
0,025	Roth $\frac{1}{3}$ des Absorptionsstreifens und Orange . . .	40 Sec.
0,020	$\frac{1}{2}$ Orange, $\frac{1}{2}$ Gelb	50 »
0,020	Grün	50 »
0,018	Blau	55 »
0,016	Blau, Violett	60 »
	Roth	35 »

c) Gasanalytische Methoden.

Nehmen wir als Lichtfläche der Pflanze in unserm Experiment ein ausgewachsenes Blatt, so können wir in einem begrenzten Reservoir, welches ein Kohlen säure- und Luftgemisch enthält (ein Absorptionsrohr, welches mit

aller Sorgfalt calibriert fein möge, man sehe die gafometrifchen Apparate weiter unten), doch nur für die Zeitintervalle $t . t' t_2$ u. f. f. bestimmen die Procentfätze $c c' c''$ u. f. f. an Kohlenstoff in der Pflanze, an Kohlenfäure und Sauerstoff in dem Refervoir.

Denken wir uns nun viele, aber unter sich ganz gleiche derartige Meßapparate über die Krone eines Baumes fo vertheilt, daß der äußere sowie der äußerste Kronenkegel mehr, der innere weniger, weil er mehr im Schatten, der dritte noch weniger Licht erhält u. f. f., fo würden wir für die gleich großen, aber verschieden beleuchteten Blattlichtflächen in unferen Apparaten

$$\begin{array}{ccccccccccc}
 l & l' & l'' & . & . & . & . & . & . & . & l''' \\
 c & c' & c'' & . & . & . & . & . & . & . & c'''
 \end{array}$$

Procentfätze in dem Gasmifch gewonnenen oder verlorenen Kohlenstoff erhalten. Nennen wir den für die Blattfläche gewonnenen und reducirten Kohlenstoff positiv, den verlorenen, welcher als Kohlenfäurezuwachs im Refervoir auftritt, negativ, fo erhalten wir:

$$c > c' > c'' \dots \text{bis } c''' > 0 < -c^{m+1} < -c^{m+2} \dots$$

bis zu einem größten Werth in abfoluter Dunkelheit oder eine Reihe von Kohlenfäurezuwachsen in den Recipienten, welche von dem hellften nach dem dunkelften zunehmen, fo aber, daß in einem bestimmten Recipienten unferer Reihe weder Zuwachs noch Abnahme erfolgte. Offenbar muß es in einem allmählig anwachsenden Schatten, d. h. in einer Reihe von allmählig abnehmenden Lichtintensitäten eine folche geben, wo der gewonnene und der verlorene Kohlenstoff in derfelben Zeit fich aufheben. Nichtsdeftoweniger muß dort noch Licht gemessen werden können. Es kommt somit ein Zuftand, wo der Apparat, Fig. 442, den Dienst vollftändig verfaßt.

Dies beruht, wie schon gefagt, darin, daß derfelbe eine Maschine ift, in welcher zwei umkehrbare Proceffe möglich find. In allen physikalifchen Apparaten verläuft der Proceß, durch welchen wir Licht mellen, in einem und demfelben Sinne. Denken wir uns nun in unfere Umtriebszeiten zurück und führen Wägungen an einem Getreideacker aus, defsen Einzelpflanzen mit dem Anfangsgewicht p stetig an Volum zunehmen. Wir beftimmen durch die Elementaranalyfe durch den ganzen Umtrieb das Gewicht an verbrennlicher Subftanz und damit die gewonnene Wärme, fo werden wir für die hinter einander belegenen Zeitpunkte wie oben erhalten, von dem Anfangsgewicht ausgehend:

$$p > p' > p'' > p''' \dots p^n = p^{n+1} = p^{n+2} \dots p^{n+m} < p^{n+m+1} < p^{n+m+2}$$

u. f. f., d. h. von dem Momente der Ausfaat eilt das Gewicht der Saapflanze einem kleinsten Werth entgegen, um erst später zu wachsen und

nur unter günstigen Bedingungen so groß zu werden, daß eine Ernte das von der Oekonomie gewünschte Resultat ergibt.

In der Ernte messen wir die Gesamtleistung des Lichtes durch das Endgewicht, die Schwankungen in dem Gewicht an verbrennlicher Substanz während der Umtriebszeit sind uns entgangen¹⁾).

Da nun jedes Molecul verbrennlichen Kohlenstoffes, welches überhaupt einmal in die Pflanze eingekehrt ist, einem gewissen Maß lebendiger Kraft des Lichtes entspricht, und da wir die Anzahl der Aus- und Einkehren nicht kennen, so messen wir in der Ernte in der That nicht den absolut größten Werth der während des Umtriebes aufgenommenen Bewegungsgröße des Lichtes; es entgeht uns die Kohlenstoff- und somit die Wärmemenge, welche zu dem experimentell bestimmbareren Arbeitsvorrath hinzu addirt werden muß, um L zu erhalten (f. S. 479 in der Note).

Wir haben im Vorstehenden die Grenze angedeutet, bis zu welcher die Forchung über die Reduction und die Verbrennung des Kohlenstoffes im grünen Pflanzenblatt vordringen kann. Es geht aus jener Discussion hervor, daß die Schwierigkeit, den Stoffwechsel in Bezug auf den Kohlenstoff von der Pflanze nach der Atmosphäre und umgekehrt zu untersuchen,

1) Dieser Verlust läßt sich leicht berechnen; wir denken uns aber, um den Nachweis, daß das nackte Erdrich nicht mit einjährigen, sondern nur mit vieljährigen Lichtsammlern Kohlenstoff kapitalisiren konnte, besser zu unterstützen, die Ernte ganz abgeschlossen, und es möge die Wirthschaft von einem kleinen Areal beginnen und sich selbst überlassen bleiben. Nach m Jahren ist dann der Stoffwechsel ausgedrückt durch die folgenden Wärmemengen:

1. Theil:
$$Q' = a\frac{I}{K} + na\frac{I}{K} + n^2a\frac{I}{K} \dots n^{m-1}a\frac{I}{K}.$$

Hierin bedeuten a die einmalige äußere Arbeit einer Pflanze, n die Anzahl der Erntekörner, welche in jedem Umtrieb dann als gleich angenommen werden kann, wenn der n -fachen Vergrößerung der Ausfaatobjecte auch eine n -fache Vergrößerung des Lichtareals entspricht; k das mechanische Aequivalent der Wärme.

2. Theil:
$$Q'' = pc\frac{I}{K} + npc\frac{I}{K} + n^2pc + \frac{I}{K} + \dots n^{m-1}a\frac{I}{K};$$

3. Theil:
$$Q''' = (p + pn + pn^2 + \dots + pn^{m-1}) c\frac{I}{K}.$$

Hierin bedeutet p das Gewicht der Ausfaat, resp. des Erntekorns, c die Wärmemenge bei Verbrennung deselben. Die Summe Q'' stellt alsdann die Wärme dar, welche bei der Ausfaat und Keimung in den m Umtrieben gebildet, resp: für den Stamm der Race verloren ging.

Die Summe Q''' stellt die letzte Körnerernte dar, p bedeutet das Gewicht des Kornes, c die bei der Verbrennung deselben gebildete Wärme, k das mechanische Aequivalent der Wärme.

begründet ist darin, daß die analytischen Methoden zeitraubend sind, und darin, daß die Pflanze zwei Prozesse gleichzeitig ausführt. Ich fuchte die Operationen dadurch zu erleichtern, daß ich den gasanalytischen Apparat für sechs Analysen einrichtete, welche gleichzeitig ausgeführt werden konnten.

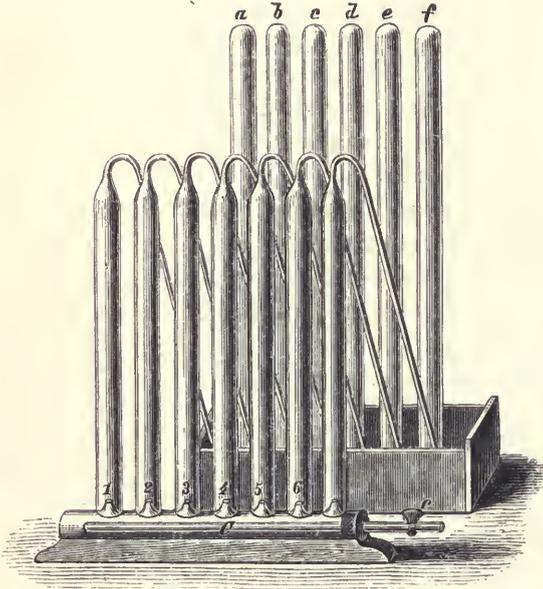


FIG. 443.

Der Apparat hatte die durch Fig. 443 veranschaulichte Einrichtung: Sechs gleiche Gasbehälter in Gestalt cylindrischer Glasröhren 1, 2, 3 u. f. f., Fig. 443, sitzen, durch Kautschukstopfer festgehalten, auf einer gemeinschaftlichen Gasleitungsröhre, welche sechs kleine Tubuli enthält. Durch den Hahn bei *c* kann das System abgeschlossen werden.

Nachdem die Röhren mit den Versuchspflanzen beschickt sind, werden sie gleichzeitig mit dem Gasgemisch gefüllt, indem die Zuleitungsröhre *C* mit einem großen Wassergasometer in Verbindung gebracht wird. Nachdem die Luft in den Behältern verdrängt ist, werden diese unter sich und von der gemeinschaftlichen Gasröhre getrennt dadurch, daß letztere mit Quecksilber bis zu den Kautschukstopfern gefüllt wird.

Das andere Ende der Behälter, die Abzugsröhren, münden unter Quecksilber in derselben Wanne, welche die quecksilbergefüllten Absorptionsröhren *a, b, c, d* u. f. f. aufnimmt. Nach der Insolation wird die Röhre *C* mit einem Quecksilberreservoir in Verbindung gebracht und die Gase in den Recipienten durch Zufluß von Quecksilber nach den Absorptionsröhren *a, b, c, d* u. f. f. übergeleitet.

Die sechs Absorptionsröhren waren auf das Genaueste calibriert.

Die Absorption der Kohlensäure geschah mit Hilfe der Kalikugel.

Die Calibration wurde auf das kleinste Rohr zurückgeführt.

Nachdem in jedes Rohr ein mit der ausgemessenen Schablone geschnittener Blattstreifen gegeben, erfolgen diese Operationen:

1° Gasstrom aus einem Gasometer, bis alle Luft in den Röhren durch das Gasgemisch ersetzt ist (5 Minuten);

2° Anfüllen der gemeinschaftlichen Röhre *C*, Fig. 443, mit Quecksilber, bis die einzelnen Behälter 1, 2, 3 . . . von einander und von der gemeinschaftlichen Gasröhre getrennt sind (5 Minuten);

3° Exposition im Spectrum oder in der Sonne mit Hilfe des Heliofaten (bis zu 4 Stunden);

4° Füllen der Absorptionsröhren *a, b, c* . . ., Fig. 443, mit Quecksilber;

5^o Ueberfüllen der Gase nach den Absoptionsröhren durch einen Queckfilberstrom, welcher in die gemeinschaftliche Röhre *C* eingelassen wird (15 Minuten);

6^o Ruhe und Ablefung der Volume (2 Stunden);

7^o Einführen der Kalikugeln und Absoption der Kohlenfäure (5 Stunden);

8^o Herausnehmen der Kalikugeln und Ruhe (2 Stunden);

9^o Ablefung der Volume u. f. f. (20 Minuten).

d) Die Verbrennungswärme der Erndteproducte bezogen auf die eingestrahlte Wärme.

Die Rechnung nach dem Verfuche mit dem Apparat Fig. 443 ergibt, wie viel Kohlenfäure aus dem Gasmisch verschwunden und wie viel hinzugekommen ist. Man kann aus dem Verlust der Kohlenfäure in dem Gasmisch der Recipienten *R I*, *R II*, . . . bis *R VI* die Kohlenstoffmenge berechnen, welche für eine gegebene Lichtintensität resp. Farbe und eine bestimmte Zeit reducirt wurde. Die Gewichte zweier Gase von gleichem Volumen, bei gleichem Druck und gleicher Temperatur verhalten sich wie die Atomgewichte der Gase. Wenn nun nachgewiesen ist, daß für jeden verschwundenen Volumtheil Kohlenfäure ein gleiches Volum Sauerstoff in dem Recipienten auftritt, so erhält man, wie bekannt, das Gewicht des Sauerstoffes aus

$$P_0 = V_0 \frac{8}{22} s,$$

worin V_0 das Volum des Sauerstoffes (bei dem betreffenden Druck und der gegebenen Temperatur) bedeuten.

Das Gewicht des Kohlehydrates (Zucker), welches aus der reducirten CO_2 entsteht, wird erhalten aus $P_x = \frac{6}{22} V_c \frac{180}{72} s$, worin V_c das auf 0^o C. und 1000 mm Queckfilberdruck reducirte Volum, s das specifische Gewicht der Kohlenfäure, $\frac{6}{22}$ das Gewichtsverhältniß des Kohlenstoffes in der Kohlenfäure, 180 das Atomgewicht des Zuckers, 72 das Gewicht des Kohlenstoffes im Atomgewicht des Zuckers bedeuten.

Die Affimilation des Kohlenstoffes in einer gegebenen Pflanze hängt ab:

1^o von der Größe des Kohlenfäuregehaltes in dem Gasmisch;

2^o von der Temperatur;

3^o von der Intensität des Lichtes;

4^o von dem Drucke.

In dem Nachfolgenden sind die allgemeinen Resultate solcher Verfuche zusammengestellt:

e) Resultate.

1^o da während der Umtriebszeit des von grünen Pflanzen besetzten Lichtareals sich stetig zwei Proceffe in dem Blatte abspielen, welche sich

ihrer mechanischen Bedeutung nach gegenseitig aufheben, so ist es nicht möglich, die absolute Productionsgröße des Sonnenstrahles an verbrennlicher Substanz in der Erndte zu messen;

2^o da die physikalischen Meßapparate für die Wirkung des Sonnenstrahles unter dieser Wirkung nur einen mit der Intensität gleichsinnig verstärkten Proceß (Erwärmung einer Wasser- oder Quecksilbermasse, so das directe Pyrheliometer von POUILLET und das Thermometer — chemische Zersetzung von Chlor und Wasserstoff, so das BUNSEN'sche Photometer oder Zersetzung von Chlorfilber, das BUNSEN-ROSCOE'sche Photometer — Erzeugung eines Thermostromes an der Thermofäule) angeben, die grüne Pflanze aber in derselben Zeit einen umkehrbaren chemischen Proceß ausführt, so kann sie nicht als Photometer in Vergleich mit den physikalischen Apparaten gezogen werden. Die ersteren messen in gleichem Sinne große und verschwindend kleine Licht- und Wärmemengen, die Pflanze nicht;

3^o denkt man sich eine gewogene Menge Kohlenstoffes und atmosphärischer Luft in zwei Maschinen, welche von der Außenwelt vollständig getrennt, unter sich aber so in Verbindung gebracht sind, daß der Kohlenstoff von der einen zur anderen gelangen kann, so in Betrieb, daß die eine Maschine den Kohlenstoff verbrennt und äußere Arbeit leistet, die andere umgekehrt die gewonnene Kohlenäure durch Verbrauch des in den Maschinencomplex einfallenden Lichtes reducirt, so wird die Production von äußerer Arbeit um so größer sein, je öfter die Kohlenstofftheilchen aus der einen in die andere Maschine eilen. Die größte Production äußerer Arbeit wird erzielt werden, wenn sie niemals zur Ruhe kommen. Das Maß der geleisteten Arbeit wird kleiner werden, wenn ein Theil der Kohle, in verbrennlicher Form zurückgelegt, außer Umtrieb gesetzt wird;

4^o die Pflanze gleicht einem Maschinencomplex der geschilderten Art. Das Thier gleicht dem einen Theil des Maschinencomplexes. Die einjährige Pflanze gleicht in Bezug auf die Capitalisation eher dem Thier, insofern sie die organische reducirte Masse so in Bewegung erhält, daß durch eine große Reihe von Umtrieben der Lichtfläche zwar stete Reduction, aber mit dem größtmöglichen Aufwand an Verbrennung herrscht. Die perennirende Pflanze allein capitalisirt verbrennliche Substanz am raschesten, weil sie den geringstmöglichen Aufwand an äußerer Arbeit macht;

5^o die äußerste Production an Wärme, als zurückgelegtes Kapital in einem 100jährigen Buchenwald, beträgt sehr näherungsweise den 194ten Theil der von der Sonne eingestrahlen¹⁾);

¹⁾ Die genaueste Zusammenstellung des Gesamterzeugnisses eines Hectars, welcher mit 100jährigem Buchenhochwald bestanden ist, an Holz, Rinde, einschließlich der Wurzeln und Blätter nach den Ermittlungen TH. HARTIG's (Vergleichende Untersuchungen über den Ertrag der Rothbuche. Berlin 1847. Verlag von Alb. Förstner):

6° wir sind gezwungen, anzunehmen, daß in unserem Maschinencomplex eine von außen eindringende Kraft absorbiert wird, das Licht;

7° die photographisch wirksamen Sonnenstrahlen werden in merklichem Maße durch das Blatt unserer Waldbäume hindurchgelassen, und es läßt sich die Photographie benutzen, um den Schattengrad der Laubblätter zu bestimmen;

8° der Grad der Extinction der Laubblätter wurde für die wichtigsten Strahlen im minder brechbaren Theil des Sonnenspectrums bestimmt. Denkt man sich den Rotationskörper der Baumkrone mit einer lückenlosen Blattohülle überspannt, so würde für das Auge des in dem Rotationskörper stehenden Beobachters unter der Voraussetzung, daß die Schale von außen mit dem intensivsten Sonnenlicht beleuchtet wird, der Eindruck des Grün schon mit der sechsten bis siebenten Blätterlage verschwinden, absolute Dunkelheit würde herrschen erst mit 10 und 11 Blattlagen Esche, Linde, Ulme; mit 13 Wallnuß, Blutbuche; mit 14 Eiche; mit 15 Roskastanie, Aspe, Spitzahorn, Kastanie; mit 17 Hainbuche; mit 20 Buche. Fast bis zu dieser Grenze würde rothes Licht der geringsten Brechbarkeit vorherrschen und bei einer viel geringeren, aber immer noch bis 13 Blattlagen gehenden Grenze würde rothes Licht von der Brechbarkeit des Lithionlichtes (das Roth des ersten Absorptionsstreifens im Chlorophyll) zu dem Auge des Beobachters gelangen;

9° das Verhältniß der in das Laubblatt eingestrahelten zu der durchgegangenen Menge dunkler Wärme wurde bestimmt mit Hilfe des Thermomultiplicators. Bis zur Einschaltung des vierten Blattes in ein paralleles Wärmestrahlenbüschel sinkt die Intensität des Wärmestromes, von da ab spielt der bestrahlte Blättercomplex die Rolle eines Wärmereservoirs. Die Intensität des dunkeln Strahlenbüschels gleich eins gesetzt, schwankt die durch die einfache Blattlage hindurchgegangene zwischen 0,4 Ulme und 0,514 Hainbuche;

10° aus einem parallelen Sonnenstrahlenbüschel, dessen Intensität gleich

Nach der Tabelle I. B. (S. 82—87, a. a. O.) ist das Gesamterzeugniß an oberirdischer Holzmasse in 100 Jahren:

auf 1 h = 1063 cbm.

Nach Tabelle I. F. (S. 98—99, a. a. O.) beträgt das Stock- und Wurzelholz ungefähr 20 % der oberirdischen Holzmasse,

auf 1 h 213 cbm
zusammen 1276 cbm.

Die Gesamtmenge des Laubes kann man ungefähr aus Tabelle I. C. (S. 88—93, a. a. O.) berechnen, sie beläuft sich für den Hectar auf 1,049166 kg.

Von diesem Ergebnis sagt HARTIG (S. 33, a. a. O.), daß es «das Maximum der Production unter Zusammenwirken der günstigsten Verhältnisse, das sich selbst bei der sorgfältigsten Wirtschaft nie über größere Flächen verbreitet, darstellen wird».

eins gefetzt ist, löfcht das Laubblatt der Mehrzahl unferer Waldbäume etwa 0,143 der eingeftrahlten Wärme aus in einer Ebene, welche nur 2 mm hinter dem durchftrahlten Blatte liegt. Die Zerftreuung des Strahlenbüfchels durch das Blatt ist aber fo bedeutend, daß, wenn man den Schatten 4 cm hinter den durchftrahlten Blättern auf die Thermofäule fallen läßt, 0,66 der eingeftrahlten Intensität abforbirt erscheinen. In einer Entfernung von 15—20 cm übt das von dem Blatte ausgehende Strahlenbüfchel schon keine Wirkung mehr auf die Thermofäule;

11^o bei der Beftrahlung des Laubblattes machen sich zwei Proceffe geltend: ein Diffusionsftrom der Gafe durch Temperaturzuwachs in den Binnenluftäumen, und ein ebenfolcher Strom dadurch erregt, daß Kohlenfäure zerfetzt und Sauerstoff ausgefchieden wird. Verbindet man den Blattftiel eines Laubblattes mit einem Kohlenfäurerecipienten, während die Blattfläche von der Atmosphäre umpült wird, fo entfteht auch ohne directe Beftrahlung ein Strom aus dem Recipienten nach dem Blatte, defsen Intensität von der Temperatur abhängig ist und an einem geeigneten Manometer abgelesen werden kann. Derfelbe wird durch die Beftrahlung beschleunigt. Von Intereffe für unferen Nachweis ist, daß von abfoluter Dunkelheit ab mit wachsender Intensität der Beftrahlung die Gefchwindigkeit des Stromes wächst bis zu 0,00357 der Intensität des parallelen Strahlenbüfchels der Sonne. Von nun ab macht sich in dem Apparat eine Verzögerung des Stromes merklich durch Erwärmung und Ausdehnung der Gafe in den Binnenluftkanälen des Blattes. Steigt die Beftrahlung auf $\frac{1}{3}$ der Intensität in dem parallelen Sonnenftrahl, fo hört der Strom lange Zeit hindurch ganz auf;

12^o dieselben Verfuche in dem Sonnenspectrum ausgeführt ergeben ein umgekehrtes Resultat: in dem Abforptionsstreifen tritt eine Beschleunigung des Kohlenfäure verbrauchenden Stromes ein, links und rechts von demselben eine Verlangfamung. Die Strömungsfchwindigkeit steigt von dem brechbaren nach dem minder brechbaren Theil des Spectrum. Jene Beschleunigung in dem Abforptionsstreifen kann nur eine Ursache haben: die Affimilation;

13^o die Affimilation der jetzt lebenden Pflanzen ist abhängig außer Anderem von dem Drucke, unter welchem die Gafe stehen. Steigt der Druck, fo herrscht selbst bei intensiver Sonnenbeftrahlung die Athmung über die Affimilation;

14^o merkliche Kohlenfäurezerfetzung herrscht noch in der 4. Blattfchicht, nachdem das parallele Strahlenbüfchel drei Blattfchichten durchdrungen hat (bei der Buche);

15^o mäßiger Schatten, wie er erzeugt wird, wenn das parallele Strahlenbüfchel zu dem zweiten Blatte gelangt, nachdem es das erste passirt hat,

zu dem dritten, nachdem es das erste und zweite Blatt durchdrungen, wirkt vortheilhafter wie die directe Befrahlung;

16° der Athmungsaufwand von 7 Blattfichten, von welchen nur die erste vom parallelen Sonnenlicht bestrahlt ist, während die übrigen im Schatten der ersten stehen, überwiegt nicht ganz die Reduction der einfachen Lage in derselben Befrahlung;

17° unter den günstigsten Umständen der Affimilation in dem Laubblatte der Buche wird etwa der 24. Theil der zugestrahlten Wärme in Form verbrennlicher Substanz capitalisirt¹⁾;

18° die Blätter der Laubbäume und Culturpflanzen mit größerer Extinction für die Strahlengruppe BC (f. oben 6°, und oben S. 499) besitzen eine größere absolute Affimilation für dieselbe Gasmenge, dieselbe Lichtintensität und Dauer der Befrahlung, wie solche mit kleinerer Extinction (S. 523 in der Note);

19° die absolute Production auf gleicher Fläche und für gleiche Be-

1) Das Pyrheliometer (nach POUILLET), welches ich anwandte, hatte ein kreisförmiges Gefäß, dessen Radius 47,5 mm betraf. Das Gewicht des in dem Gefäß enthaltenen Wassers ist 116,46 g, das Gewicht des Gefäßes ist 100,36 g.

Die Constante $\frac{P}{5r^2\pi}$ ist für dieß Instrument gleich 0,256.

Versuch mit dem directen Pyrheliometer von POUILLET
am 16. Juni 1875.

	Minute.	Temperatur C. des Gefäßes.	
Das Gefäß im Schatten des Schirmes	1	21,95 ⁰	} $r = 0,5^0$ C.
	5	22,45 ⁰	
Das Gefäß in solirt	1	22,45 ⁰	} $R = 2,4^0$ C.
	5	24,95 ⁰	
Das Gefäß bedeckt	1	24,95 ⁰	} $r' = 0,70^0$ C.
	5	24,25 ⁰	

Hieraus berechnet sich die zugestrahlte Wärme in der folgenden Weise. Die Temperatur des Gefäßes ist

$$t = R + \frac{r + r'}{2}.$$

Die Wärmemenge, welche 1 qcm des Gefäßes in der Minute erhielt, ist $w = \frac{P}{5r^2\pi} t$, worin r der Halbmesser des Gefäßes, P das Gewicht des Wassers, welches in ihm enthalten ist, bedeuten. Diese Wärmemenge entspricht 7,9 Wärmeeinheiten für die Minute (d. h. 7,9 g Wasser auf 1° C. erwärmt, für die Fläche von 1 qcm). Für die Dauer des gasometrischen Versuches und die Fläche des Blattstreifens ist die Wärmesumme, welche einstrahlte, somit gleich 395,0 Wärmeeinheiten. Berechnen wir nun aus der Menge des Gases und den vorliegenden Zuwächsen an Sauerstoff die Verbrennungswärme der reducirten Substanz.

strahlung beträgt bei der lichterem Buche näherungsweise das Doppelte wie bei der dunkleren Fichte;

20^o bei den Pflanzen mit kürzester Umtriebszeit der Blattfläche ist (foweit die Experimente reichen) die absolute Production am größten — bei den Nadelhölzern mit längster Umtriebszeit ist sie am kleinsten — bei den Laubbäumen mit mittlerer Umtriebszeit ist sie eine mittlere — für gleiche Intensität der Befstrahlung;

21^o die Gegenwart eines rothen Pigmentes neben dem Chlorophyll bewirkt, namentlich wenn die Nervatur roth gefärbt ist, daß in dem Blatte mehr Strahlen aus der Nähe des Optimum (im Spectrum) zur Wirkung kommen, die Assimilation ist dem entsprechend größer;

22^o bemerkenswerth ist, daß die Fähigkeit zu assimiliren unter sonst gleichen Bedingungen in den verschiedenen Theilen einer und derselben Blattfläche innerhalb sehr weiter Grenzen schwankt, so beim panachirten Ahorn zwischen 0,181 für die weiße und 10 für die grüne Fläche;

23^o in mehreren Versuchen über die absolute Production in der Einheit der Fläche (bei der Buche), welche an einem und demselben Tage parallel laufend mit Beobachtungen am Pyrheliometer ausgeführt wurden, ergab sich:

a) die auf den Quadratcentimeter der Erdoberfläche in der Minute zugefrahlte Wärme gleich 0,5708 — die in gleicher Zeit und Blattfläche gespeicherte Wärme gleich 0,0021 Wärmeeinheiten (Mittags);

b) die zugefrahlte Wärme 0,6646 — die im Blatte gespeicherte 0,00366 (Morgens 9 Uhr);

c) die zugefrahlte Wärme 0,8247 — die im Blatte gespeicherte 0,0426 (Nachmittags 3 Uhr).

Das Verhältniß der im Pflanzenblatte in Form verbrennlicher Substanz gespeicherten Wärme zu der zugefrahlten Wärmemenge ist 1 : 19, wenn die Strahlung am größten; sie ist 1 zu 181, wenn die Strahlung der Wärme eine mittlere, und sie ist 1 zu 271, wenn die Zufstrahlung am kleinsten ist;

Wenn V das ursprüngliche Gasvolum, in welchem ein Blatt 50 Minuten lang assimilirte, p der ursprüngliche Procentatz der Kohlenfäure, p' der Procentatz der Kohlenfäure nach der Insolation, s das specifische Gewicht der Kohlenfäure, bezogen auf Wasser als Einheit, und v das Verhältniß des Kohlenstoffs im Atomgewicht der Kohlenfäure bedeuten, wenn wir ferner annehmen, der gewonnene Kohlenstoff gehe in eine Verbindung über, welche die Verbrennungswärme der Cellulose (des Holzes) besitzt, und nennen k diese Verbrennungswärme, so ist die in 50 Minuten gewonnene Wärme

$$W = V \frac{(p - p')}{100} s v k.$$

Setzen wir hierin die beobachteten Werthe ein, so erhalten wir 1,4011 Wärmeeinheiten und für die Minute 0,02335, während der gleichen Fläche zu derselben Zeit

24^o in zwei Parallelversuchen, in welchen die verschiedenen Grade des Waldschattens dadurch hergestellt waren, daß gleiche Blattstreifen desselben Baumes in einem divergenten Strahlenbüschel mittelst des Heliostaten und der Sammellinse beleuchtet waren, zeigte sich, daß mit sinkender Intensität das Blatt der Buche (mit kleinerer Extinction) rascher in der Affimilation sinkt als das Blatt eines zweiten Baumes (Eiche) mit größerer Extinction für die Strahlengruppe *BC*;

25^o führt man das grüne Blatt durch ein lichtschwaches, aber scharfes Spectrum, so erscheint es unserm Auge am meisten durchleuchtet im Grün und im äußersten Roth, dunkelbraun und schwarz im I. Absorptionsstreifen in der Nähe der Lithionlinie zwischen *B* und *C* und im Gelb, wo zwei Streifen von etwas geringerer Extinction liegen. Es geht hieraus hervor, daß die Strahlen im Spectrum, welche unsere Augen am meisten afficiren, nicht dieselben sind, welche das grüne Blatt durchleuchten;

etwa 0,5632 Wärmeeinheiten zustrahlen. Dieß entspricht dem 24. Theil der eingestrahnten Wärmemenge. Unter den günstigsten Umständen der Affimilation in dem Laubblatte der Buche wird somit nur der 24. Theil der zugestrahlten Wärme in Form von verbrennlicher Substanz (Cellulose) capitalisirt.

Stellen wir die Resultate der Versuche zusammen unter den folgenden Voraussetzungen:

1^o möge das Lichtareal mit der einfachen Blattlage überzogen sein, welche in dem gleichen Maße, wie es im Experiment beobachtet, verbrennliche Substanz durch die ganze Umtriebszeit capitalisirt;

2^o möge durch die Umtriebszeit dieselbe Bestrahlung herrschen, wie im günstigsten Falle in den vorstehenden Versuchsergebnissen, und es möge die zugestrahlte Wärmemenge verglichen werden mit der durch Verbrennung der capitalisirten Substanz erzeugten. Wir erhalten die folgende Tabelle:

		Extinctionsgröße für die Strahlen <i>B, C.</i>	Wärmemenge aus dem in 1 Minute auf 1 qcm Blattfläche reducirten Kohlen- stoff.	Zugestrahlte Wärmemenge in 1 Minute auf 1 qcm.
Fichte	Verf. XIV		0,00647	0,68675
Kiefer	« XIV		0,0079	
Buche	« X	1	0,0119	
«	« XIV	1	0,0276	
Lactuca	« X		0,0305	
Hainbuche	« XI	1,182	0,04248	
Roskafanie	« XI	1,625	0,0528	
Erle	« XI	1,625	0,0546	
Phaeolus	« X	1,857	0,056	
Beta	« X	1,625	0,0665	
Kartoffel	« X	2,166	0,0891	

26^o führen wir daselbe Blatt durch ein lichtstarkes Spectrum, welches von einem weiten Spalte herrührt, so erscheint das Blatt im Gelb am hellsten; dieß aber rührt daher, daß wir es dort nicht mit homogenem Lichte, sondern mit dem unzerlegten Strahlenbüschel zu thun haben;

27^o alle Bestimmungen der Assimilationsgröße im Sonnenspectrum ergaben zwei Perioden, welche nur auf die Absorptionsstreifen zurückgeführt werden können;

28^o alle derartigen Versuche im lichtstarken Spectrum leiden an demselben Fehler, wie der unter 26 genannte;

29^o alle derartigen Versuche ergeben im lichtschwachen Spectrum insofern ein negatives Resultat, als in den Gasbehältern ein Zuwachs an Sauerstoff unterbleibt, während die Kohlenäure einen Zuwachs erfährt. Der kleinere Zuwachs dieser letzteren entspricht nach einer früheren Discussion einer größeren Production und herrscht in den Absorptionsstreifen, deswegen sind diese Versuche nicht absolut werthlos;

30^o die Methode der Herstellung eines derivirten Spectrums, welche von STOKES zuerst vorgeschlagen wurde, zeigt uns, daß alle leuchtenden Strahlen, mit Ausnahme des tiefsten Roth, in einer gewissen Tiefe der Chlorophyllmasse in Strahlen einer und derselben Brechbarkeit verwandelt werden. In einer gewissen Tiefe einer sehr großen Chlorophyllmasse ist Durchleuchtung nur möglich mit Strahlen von der geringsten Brechbarkeit bis zur Strahlengruppe BC, welche letztere längst absorbiert ist, wenn nur noch rothes Licht herrscht;

31^o werfen wir einen Blick auf den innern Bau des Blattes. Die chlorophyllführenden Flächen enthalten, wie bekannt, bei der großen Mehrzahl der Laubbäume einseitig gestreckte und normal zur Blattfläche orientirte Zellen, in welchen die Chlorophyllkörper entstehen, der Apparat ist für die Absorption eines senkrecht zur Blattfläche eindringenden Strahles angepaßt;

32^o behalten wir die Absorptionsphänomene im Chlorophyll im Auge

(Die Extinctionsgrößen der drei letzteren Culturpflanzen, bezogen auf die Buche als Einheit, wurden mit Hilfe des oben [S. 500] beschriebenen Apparates bestimmt: für das Erythroscop liegt die Grenze für Phaseolus bei 15, für Kartoffel bei 14, für Beta bei 17. Für das bloße Auge entspricht für Phaseolus das 19., für Kartoffel das 15. und für Beta das 19. Blatt der absoluten Dunkelheit. Die Grenze an der Lichtsäule lag an dem Tag, an welchem die Bestimmung ausgeführt wurde [am 8. Aug. 1875], bei 14^o der Scale.)

Bei den Pflanzen mit mittlerer Umtriebszeit, den Laubbäumen, ist die absolute Produktionsgröße eine mittlere.

Die Temperatur der Sonne wird auf 29 000 000° C. geschätzt. Sie giebt alljährlich so viel aus, daß ein dem Sonnenvolum gleiches Volum Wasser um 1,25° C. erwärmt würde.

Die Erde fängt aus der mit der Sonnenentfernung beschriebenen Kugel den 10 000 000ten Theil heraus.

und betrachten die Evolution der Baumkrone: der Baum muß in der Anlegung der lichtabföbirenden Blätter zwei Aufgaben genügen. Die erste fordert Absorption des Lichtes in dem Blatte, die zweite fordert Durchleuchtung für tiefer in der Krone belegene Blätter und Zweige. Er genügt der ersten Anforderung durch die Bildung des Pigmentes, — er genügt der zweiten, indem er die Blätter so vertheilt, daß durch die Lücken der directen Sonnenstrahl von der ersten zur zweiten Blattföchicht gelangt, — er genügt keiner der beiden Anforderungen für die ganze Dauer der Kronenentfaltung und Stammbildung. Denn beachten wir, daß nach dem morphotischen Gesetz, das ihn beherrscht, alljährlich eine neue Zweigordnung gebildet wird, daß wir aber in Hochwaldbäumen höchstens 10 Ordnungen vorfinden, so müssen in dem 100jährigen Baume 90 blatttragende Generationen vernichtet worden sein und es bleibt in dem schönsten Hochwaldbaume streng genommen nur eine traurige Reminiscenz an all den Reichthum in der äußeren Gliederung während der vergangenen 100 Jahre;

33^o jeder einzelne Zweig lehrt uns, daß die tieferen Blätter im Kampf mit den höheren stehen, weil letztere die ersteren beschatten. Es ist von Interesse, den Unterschied in der Blattfläche kennen zu lernen zwischen beiden, und diesen zu vergleichen mit der Extinction, welche wir für die verschiedenen Waldbäume früher bestimmten. Wir wählen einige Blätter mit der geringsten und einige mit der größten Extinction, wägen die Papierfilhouette des unteren beschatteten und des oberen beleuchteten Blattes eines Zweiges, so finden wir, daß bei den Bäumen mit größerer Extinction des Strahles der Größenunterschied zwischen dem beleuchteten und dem beschatteten am bedeutendsten ist.

Fassen wir nun die Ergebnisse und die Folgerungen aus den letzten einunddreißig Sätzen zusammen, so erhalten wir aus 30^o und 31^o:

34^o die Andeutung, daß ein Strahlenbüschel der Sonne in dem Baume durch Absorption so erschöpft wird, daß in geringer Tiefe Production in grünen Blättern, ja Production von grünen Blättern unmöglich wird, indem wir 28^o und 29^o zusammenfassen und beachten, daß auch das Pigment selbst discontinuirlich (in einzelnen Tropfen) vertheilt ist;

35^o das grüne Blatt zeigt in seiner anatomischen Beschaffenheit Anpassung an eine Tendenz, den Strahl der Intensität noch zu schwächen, auszulöfchen.

Aus den Sätzen 23^o, 24^o und 28^o ergibt sich:

36^o die Strahlen, welche die Medien unseres Auges durchleuchten und dort den Eindruck am stärksten bewirken, den wir Licht nennen, sind nicht dieselben wie diejenigen, welche das Blatt am tiefsten durchdringen.

Aus 25^o, 26^o, 27^o, indem wir 9^o, 10^o, 16^o und 28^o hinzuziehen, erhalten wir:

37° unter allen Strahlen des Spectrums besitzen diejenigen des ersten Abfotionsstreifens die größte assimilatorische Bedeutung, so daß wir sagen können: Die Strahlen geringer Brechbarkeit im Spectrum bis zum Gelb durchdringen das Blatt oder den Blättercomplex am tiefsten, wirken aber in dem Maß assimilatorisch, in welchem sie abfotirt werden.

Die Sätze 1—5 und der Nachweis (in 23°), daß in dem Blatte ein nicht unbeträchtlicher Theil der Sonnenwärme (bei günstigsten Assimilationsbedingungen der 19. Theil der eingestrahnten) in der Verbrennungswärme der reducirten Substanz gespeichert wird, fordern Abfotirung des Lichtes. Gar nicht soll damit gesagt sein, daß die Strahlen der Abfotirungs-Streifen specifisch assimilatorische seien, nur soviel halte ich für erwiesen, daß alle Strahlen der Sonne, welche assimilatorisch thätig sind, geschwächt werden müssen, weil sie es sind. Das einfache Pflanzenblatt erschöpft nicht einmal vollständig den chemischen (photographisch wirkenden) Theil des Strahlenbüschels, welcher es trifft. Es erschöpft erst in 6—8facher Lage die Strahlengruppe BC, aber selbst in höherer Schichtenzahl herrscht noch Licht, das äußerste Roth. Dort muß auch noch Assimilation herrschen, wennschon in geringem Maße. Wollte man nun sagen, diesen Strahlen geringster Brechbarkeit kommt die Hauptwirkung zu, so würde man im Widerspruch mit der Theorie und mit den experimentellen Ergebnissen stehen; — wollte man andererseits annehmen, die Strahlen, welche am meisten durchleuchten, haben die größte Wirkung, so müßte in der Strahlengruppe des äußersten Roth das Maximum der Assimilation liegen, was durch das Experiment widerlegt ist.

§ 38. Fortleitung der assimilirten Körper.

Mit den bisher geschilderten Bewegungen nach der Chlorophyllzelle des Blattes geht, wie schon oben (S. 471) angedeutet ist, die Rückleitung der assimilirten Körper in der Zeit parallel. Die transitorische Stärke, der Zucker, das Inulin, die organischen Säuren, die Salze, die Harze, die Gummiharze, die Essenzen u. a. m. entstehen im Blatte und ergießen sich von dort aus über das ganze rückwärts belegene System, Zweig, Ast, Stamm, Wurzel bis zur äußersten Endigung des Wurzelhaares. Wir dürfen mit Bestimmtheit hieraus schließen, daß diese Rückleitung ein Moment für die aufsteigende Wasserleitung ist, d. h. für jedes Theilchen der osmotisch wirkenden Substanz, welches in dem genannten Weg vom Blatte abfließt, muß eine bestimmte Wassermenge nach dem Blatte ausgetauscht werden.

A. Aeussere Kennzeichen für das Ziel des Stromes.

Aus der äußeren Beobachtung ergibt sich schon, daß das Ziel des von den Blättern abfließenden Stammes je nach der Lebensweise der verschiedenen Pflanzenrassen sehr verschieden fein muß.

Bei den Pilzen und niederen Algen ist das Ziel vorzugsweise der Ort, wo die Propagationszellen entstehen. Die größte Masse der gewonnenen oder producirten Nährkörper wird in den Oogonien und Sporen angeammelt.

Die Familie der Flechten zeigt die langsamste Production von verbrennlichen Kohlenstoffverbindungen, welche vorzugsweise zum allmäligen Aufbau des vegetativen Lagers verwandt wird.

Die Moose verbrauchen das gebildete Material ebenfalls zum langsamen Aufbau der vegetativen Stämme bei den perennirenden Formen. Ein merklich wägbarer Theil geht alljährlich in der Bildung der Sporenkapseln auf.

Bei höheren Cryptogamen, den perennirenden sowohl wie den einjährigen, macht sich die Blattperiode als ganz bedeutender Aufwand geltend. Der Zuwachs an zurückgelegter Masse ist in den perennirenden Formen sehr klein, mit Ausnahme der wenigen großen Farren, Pteris, Struthiopteris, Aspidium und der baumartigen Marattien u. a. m. der Tropen. Abfolut auf die Erhaltung der Keimkraft in den Sporen beschränkt ist *Salvinia natans*.

Bei allen höheren Pflanzen (allen Coniferen) und allen Blüthenpflanzen wird alljährlich ein Aufwand an fester Masse in dem Verlust eines Theiles oder aller Blätter eines Theiles oder der ganzen Masse des vegetativen Systemes gemacht. Der zu betrachtende Strom geht vorzugsweise nach zwei Richtungen:

a) In der laufenden Vegetationsperiode wird in der Keimung ein Theil der Masse, welche von der vorhergehenden und untergegangenen Generation stammt, vertheilt für den Aufbau der vegetativen Organe. Das Ziel der in dem Laubblatt gewonnenen Assimilationsproducte ist eine höhere Stamm-, resp. Zweigregion. Der gesammte vegetative Körper erschöpft sich, geht ein (die einjährigen Samenpflanzen).

b) Das Ziel der in der vorhergehenden Vegetationsperiode gewonnenen Reservekörper geht von den perennirenden Theilen, Stämmen, Rhizomen, Knollen, Zwiebeln, Wurzeln u. s. f. nach den Keimorten für die Organe der laufenden Periode, wird erschöpft, und die Blätter derselben Periode liefern die Nährkörper, welche nach zwei Zielen strömen:

1^o wie unter a);

2^o der zweite Theil wiederum nach den perennirenden Organen.

An dem complicirtesten Gebilde bei unserem Waldbaume fließt das in einer Sommerperiode gewonnene Material:

1^o noch in demselben Sommer nach der Zuwachschalen von Zweig, Ast, Stamm, Wurzel, wird dort zu festem Holz;

2^o nach den Knospen, wo ein Theil reservirt wird, ein anderer direct zum Aufbau der Blätter Verwendung findet;

3^o wird ein Theil in den leitenden Geweben von der äußersten Wurzelspitze bis zum äußersten Zweige, resp. Blatte bei Immergrünen reservirt, um den Aufwand im ersten Monat der nächsten Sommerperiode zu decken.

Aus dieser äußeren Betrachtung schon, welche freilich ohne die phänologischen Kenntnisse des Pflanzenwachstums von den niederen nach den höheren Pflanzen nicht so leicht übersichtlich wird, geht hervor, daß die Fortleitung der hier zu betrachtenden Körper fast unabhängig von der Gravitation ist.

Die Richtung nach oben ist Folge der in dem Ziel herrschenden Wachstumsvorgänge, d. h. die im gegebenen Blatte neugebildeten Körper wandern nach einer höher stehenden reifenden Frucht oder nach einer tiefer belegenen wachsenden Knolle, weil dort ein merklicher Verbrauch von Zelle zu Zelle nach dem Heerd der Production zurückwirkt.

Derselbe Strom geht hauptsächlich nach dem rückwärts gelegenen Stamm, dem Wurzelkörper, unabhängig von dort zunächst herrschenden Wachstumsvorgängen, weil in entgegengesetzter Richtung das Wasser ausgetauft wird.

Zur allgemeinen Theorie der Erscheinung können wir daher sagen:

Jeder Zuwachs bedingt an dem Baume, wie leicht aus dem histologischen Verhältniß (von Holz und Rinde) ersichtlich, eine Druckschwankung. Wir erhalten somit, wenn wir zunächst von der Evolution der Blätter absehen, wie wir dieß bei den Nadelhölzern mit Ausnahme der Lärche können:

1^o in der Anhäufung der plastischen Körper in dem chemisch positiv gespannten Theil das causale Phänomen, d. h. zuerst müssen die plastischen Körper im Blatte entstehen;

2^o in den Anziehungskräften rückwärts vom Blatte das Moment der osmotischen Bewegung (Diffusionsbewegung);

3^o aus der Vertheilung des Druckes in Folge des Zuwachses und aus der Moleculargeschwindigkeit (diese ist von der chemischen Natur des strömenden Körpers und der Temperatur abhängig) der plastischen Körper die Geschwindigkeit und die Richtung der Bewegung.

Diese drei Momente wirken gleichzeitig.

Stellen wir für eine Temperaturperiode (März bis October) die In-

tenfität der Bewegungsurfachen als Function der Zeit dar, fo wird ſich zeigen, daß ihre Maxima nicht zufammenfallen (f. weiter unten, Abſchnitt Wärme).

Nehmen wir an, die Protoplasma-Strömung in den Nitellazellen ſei eine folche, wie ſie für die Translocation vom Blatte aus rückwärts am Baume von Bedeutung iſt, fo würden nach den Meſſungen NÄGELI'S für einen Modellſtamm (Fichte) von 30 m Höhe, welchen wir der Betrachtung zu Grunde legen wollen, wenn keinerlei Widerſtände in der Richtung der Axe zu überwinden, wenn die Röhrenleitung continuirlich wäre, die folgenden Zeiten nöthig, damit das Theilchen die Strombahn einmal durchläuft:

Temperatur.	Zeit.
5° C.	Tage 84,63
10° »	» 27,77
15° »	» 17,36
20° »	» 12,50
25° »	» 9,02
30° »	» 5,20
35° »	» 3,47

Denken wir uns nun einen Osmometer mit der gleichen Membran beſpannt, aber von der Größe eines Cylinders oder Kegelmantels, welcher in der Zone des Zuwachſes an dem Baumſtamme liegt, wählen dazu einen Stamm von mäßigen Dimensionen und ſehen von den Aeſten und Zweigen ganz ab, fo erhalten wir an einem ausgemessenen Modellſtamm näherungsweise das Verhältniß der Fläche des Osmometers zur Kegelfläche des Stammes wie 1 : 800,000, wenn wir einen Fichtenſtamm wählen, deſſen Durchmesser gleich 0,5, deſſen Höhe 20 m betragen möge.

Die Kegelfläche ſcheidet allein durch Osmoſe einen Holzring ab, deſſen Dicke für das Jahr 1873 beträgt:

Höhe über dem Boden in m.	Dicke des Jahrrings 1873 in mm.	Dicke des Stammes in m.
2	14	0,420
8	9	0,295
14	7	0,195
20	8	0,074

Sehen wir von der ungleichen Vertheilung am Stamme in transversaler Richtung ab und nehmen eine aus den Daten ſich ergebende mittlere Dicke des letzten Zuwachsrings an, fo erhalten wir 0,011 cbm Holz, welche, wenn wir das ſpecifiche Gewicht des Holzes gleich 0,5 ſetzen, 5,5 kg entſpricht.

Der Osmometer von der Größe des Kegelmantels unſeres Stammes würde in einem Tage unter gewöhnlichem Drucke und bei einer mittleren Temperatur von 15° C. 57,8 g

Zucker abcheiden (nach den Versuchen S. 413). Nehmen wir nun als mittlere Dauer der Secretion für unsere Breite vier Monate an unter der Voraussetzung, daß die Secretion eine stete und nicht beschleunigte Bewegung sei, so erhalten wir 7963,0 g Zucker, und man sieht leicht ein, daß der Proceß der Translocation als ein Diffusionsvorgang für gewöhnlichen Druck nur gedacht werden kann, wenn es sich um einmalige Dialyse handelt. Da nun daselbe Theilchen des Membranogens auf jedem Theile seiner Bahn, fowohl in der transversalen wie in der Längsrichtung, unzählige Membranen zu überwinden hat, so ist leicht begreiflich, daß, Temperatur und Zeit in unserer Rechnung noch so günstig bemessen, ein höherer hydrostatischer Druck dazu gehört, um die nöthige Menge des plastischen Materials an den Ort des Verbrauches zu liefern.

Wir können aber auch, in Betracht auf die ungeheure Bahn, welche ein Theilchen zweimal im Jahre durchleitet, wenn wir an einen Riefenbaum von mehreren hundert Fuß Höhe denken, die folgende Frage direct anknüpfen:

Durchleitet das plastische, aber gelöste Theilchen den gedachten Weg rascher, wenn die ganze Bahn nur aus Wasser, oder wenn sie aus wechselnden Aggregatmembranen — Wassermembran bestehende?

B. Der Rindestrom.

Die Entblößung des Holzstammes durch Abreißen der Rinde stiftet an dem Orte der Verwundung den Zuwachs. Von dem stehengebliebenen Rindenstreif aus Fig. 444 wird die Wunde vernarbt. Die Entblößung der Rinde wirkt für den Rindestrom wie eine Stauung, die Nährkörper, welche von den Blättern rückwärts durch Osmose oder in den Leitzellen fließen, werden an den Rändern der Wunde angehäuft, dieß macht sich durch den in der Figur 444 in die Augen springenden mächtigen Zuwachs kenntlich.

1. Erfolg der Ringelung und Fensterung.

a) Die Abhängigkeit der Callusbildung von der Phase, in welcher der Zuwachs steht, konnte durch Fensterung an einem 45 Jahre alten Eichenstamm gemessen werden.

Gleichgroße Rindenfenster wurden an demselben an den früher schon genannten Daten angebracht und die Ausdehnung der zu jedem Datum entstandenen Calli gemessen.

Datum.	Dicke des Callus in mm		
	ascendens,	descendens,	lateralis.
20. Mai	2	10,3	15,5
4. Juni	0	1,5	8,3
19. »	0	0	0
4. Juli	0	0	0
19. »	2,5	2,3	4,5
4. August	0	0	0

Es erhellt hieraus, daß, entsprechend der Jahringbildung in den ersten Daten, die Callusbildung von dem Vorrath an vorjähriger Stärke abhängig, in aufsteigender Richtung vorherrscht, dann rasch erlischt, um nur sehr schwach im Ende der Jahringbildung in absteigender Richtung mit dem Zufluß der in diesem Jahre gebildeten Baustoffe wieder zu beginnen.

b) Die Richtung des Rindenschnittes, welcher die Leitung unterbricht, ist für die Leitung nach dem Wundrande und die Zellbildung dort von Bedeutung. In den kreisförmigen Rindenfenstern, wie sie in den Fig. 350—355 dargestellt sind, erkennt man dieß deutlich. Gemessen wurden 30 cm große Rindenfenster. An der Eiche und Fichte schreitet der seitliche Callus in 3 Jahren um 31 und 38 mm, der absteigende um 7 mm vor¹⁾.

Einen Ueberblick über die Veränderungen der Translocation in der Baumrinde gewinnt man, wenn in Brusthöhe an erwachsenen 100jährigen Buchen etwa mehrere Centimeter große rechteckige Rindenfenster geschlagen werden. Solches geschah am 24. April, 5., 15. u. 21. Mai, 1. u. 15. Juni. In Fig. 445 wurden die Längen und Dicken der über den Wundrand vorgeschrittenen Callusmassen als Function der Zeit dargestellt, wie sie nach 8 Monaten etwa gemessen wurden. Man erkennt aus der Curvenschaar, daß die Translocation zwei Maxima hat, eines, und dieß ist das absolute, im Mai, von dem Verbrauch des Reservematerials aus der vorjährigen Periode herrührend, das zweite im Juli, wo bereits die im laufenden Jahre von der Krone abströmenden Assimilationsproducte zur Geltung kommen.

Von Interesse sind schraubenlinige Entrindungen, welche den Stamm mehrmals umkreifen. Solche Ringelungen wurden an Eichen und Pappeln ausgeführt. Nach drei Jahren wurden die Callusmassen gemessen.

Von *A*, Fig. 446 *A*, bildet sich über die Wundfläche ein absteigender, von *B*, Fig. 446 *A*, bildet sich ein aufsteigender Callus, welche beide mit wechselnder Intensität in die Schraubenlinie ausfließen. Ganz abweichend von der Vertheilung der Holzmasse in dem Schraubenband der Lonicere zeigt sich hier nun, daß die Schnelligkeit der Ueberwallung in beiden Richtungen mit der Länge der Bahn wechselt. Die Länge, bis zu welcher der Callus die Wundfläche in 3 Jahren bedeckt hat, ist in der Fig. 446 *A* in



FIG. 444. Eine dreijährige Kiefer wurde entrindet, die untere Figur. Sie heilte vom gesunden Rindentheile aus die Wunde in fünf Jahren vollkommen aus (f. Fig. 350, oben S. 356).

¹⁾ Eingehendes f. Bot. Unterf. Bd. I. S. 193 ff.

dem gleichen Maßstabe wie der Querschnitt dargestellt, und zwar bedeutet der Abstand der Curve $A A'$ u. f. f. von dem Kreise $O N W S$ die Länge des aufsteigenden, der Abstand der Curve $B B'$ u. f. f. von dem Kreise $O N W S$ die Länge des absteigenden Callus. Die schraubenlinige Wunde umschrieb zwei Kreisumläufe und finkt an dem Stamm mit dem Pfeil. Eine genaue Ausmessung der Länge des Callus in den verschiedenen Orten ergibt die folgenden Größen von oben nach unten:

Himmels- gegend.	Callus ascendens.	Callus descendens.
O	31,5 mm	14,7 mm
NO	30 »	14,0 »
NW	17,5 »	15,5 »
W	10 »	19 »
SW	3 »	19 »
S	0 »	22 »
SO	0 »	20 »
O	0 »	20 »

Sowie Fig. 446 *A* für die Ausdehnung der Calli in longitudinaler Richtung, so ist Fig. 446 *B* für die Dicke derselben dargestellt.

$WNOS$ ist hier wiederum der Stammquerschnitt. Die innere Spirale der aufwärts-, die äußere der absteigende Callus.

Auch hier zeigt sich dieselbe gesetzmäßige Abnahme im Norden. Wir legen unter den Folgerungen, die sich aus vorstehenden Messungen ergeben, das Hauptgewicht auf dieses Ergebnis:

Das Spiralband zwingt die beiden Ströme, den von der Wurzel und den von der Krone kommenden, in einen Umweg, ohne daß die Leitung absolut unterbrochen würde. Der Callus des oberen Wundrandes, welcher durch den absteigenden Strom ernährt wird, nimmt in absteigender Richtung stetig an Masse zu, der aufsteigende Callus des unteren Wundrandes nimmt dagegen in derselben Richtung ab. Dieß beruht offenbar darin, daß der letztere vorzugsweise von dem Zweigsystem der Wurzel ernährt wird, aber nicht in dem Maße, wie der absteigende Callus, welcher direct den Strom der absteigenden Assimilationsproducte weiterleitet.

2. Versuche mit Stecklingen.

An Stecklingen kann man nach der Entblätterung die Rindenleitung durch ein Ringelband unterbrechen, welches den Steckling in zwei gleiche Hälften theilt. In diesem Falle sind die beiden Querschnittsflächen und die beiden Wundränder unter sich gleich. Die beiden durch die wenige Centimeter breite Ringelwunde getrennten Cylinderstücke entsprechen zwei

gleichen Reservoiren für die in ihnen vorhandenen Nährkörper. Legt man den Ringelschnitt aber so, daß ein kleineres Cylinderstückchen durch

denfelben von einem größeren getrennt wird, so verhalten sich die beiden Reservoirs ungleich, der obere Wundrand wird stärker ernährt wie der untere. HANSTEIN¹⁾ stellte in diesem Sinne zuerst ein Differenzexperiment an, welches ich alljährlich für die Vorträge wiederholte, um die Bedeutung der Siebröhren, Leitzellen für die Translocation zu erweisen. Er stellt Stecklinge in der zuletzt angegebenen Weise von solchen Pflanzen her, welche ihre Leitzellen nur in der Rinde besitzen, z. B. Weide und ähnliche für Pflanzen, bei welchen die Leitzellen im Mark und in der Rinde vorkommen, z. B. Oleander. Die Weidenstecklinge bilden die adventiven Wurzelknospen nur am oberen Wundrande aus, weil nur dieser mit dem größeren Reservoir durch Leitzellen in Verbindung steht; der Oleander bildet sie aber am unteren und oberen Wundrand und selbst aus der unteren Querschnittsfläche des Stecklings. Hieraus ergibt sich die Bedeutung der Leitzellen für die Translocation.

Um einen Ueberblick über die Translocation an einem Waldbaum zu gewinnen, welcher für Blüten einen kleinen, für die Blattmasse einen begrenzten größeren Aufwand macht, beachten wir, daß der meßbare Zuwachs an Holzmasse, wie er endlich in dem Schaft und den Zweigen zu Tage tritt, ursprünglich in flüssiger Form

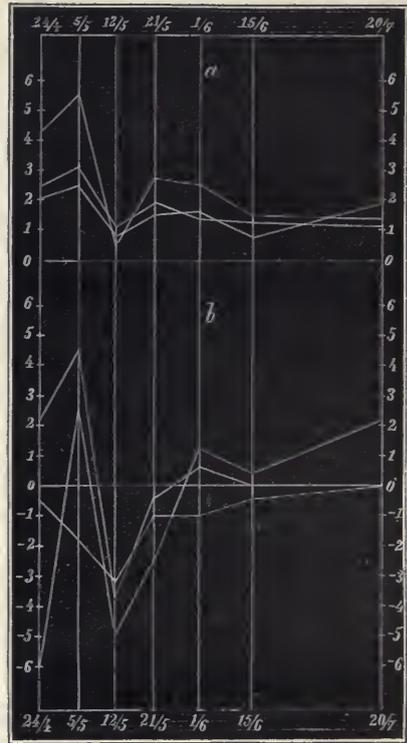


FIG. 445. Curvenschaar in *a* und *b*. In beiden bedeutet *o* die Abscissenaxe, die Zeit. Die Ordinaten bedeuten in *a* die Dicke des Callus in Rindenfehlern, welche an 100jährigen Buchen geschlagen wurden, an den oben und unten verzeichneten Daten, 24. April, 5. Mai, 12. Mai, 21. Mai, 1. Juni, 15. Juni, 20. Juli, und es ist die in *4* einsetzende Curve in *a* für den feillichen Callus, die zwischen 3 und 2 beginnende gehört dem aufsteigenden, die in 2 beginnende dem absteigenden. Die Curvenschaar *b* stellt im gleichen Sinne das Vorrücken des Callus über den Wundrand dar. Hier werden die Abscissenwerthe zum Theil negativ, d. h. die Gewebe in der Nähe des Wundrandes trocken rückwärts ein, die Curve, welche bei -6 beginnt, gehört dem absteigenden, die zwischen *o* und -1 beginnende dem aufsteigenden und die bei 2 beginnende dem feillichen Callus an. Sämmtliche Messungen wurden am Ende des ersten Jahres gemacht. N. M. KIENITZ. Forst- und Jagdzeitung 1877.

¹⁾ JOHS. HANSTEIN, Versuche über die Leitung des Saftes durch die Rinde und Folgerungen daraus. S. 392. PRINGSH. Jahrb. Bd. II. 1860.

von den Blättern abfloß, um sich fest niederzuschlagen, (man vergleiche Fig. 447); so kann man die osmotische Spannung für das Baumsystem berechnen, nachdem das Volum und die Holzmasse bekannt sind für die aufeinanderfolgenden Jahre, während welcher das System gewachsen ist. Eine solche Messung und Berechnung habe ich ausgeführt für 16 Jahre bei der Fichte. Ich berechnete aus genauen Messungen an dem Stamm, welcher in dem Sinne des Schemas, Fig. 447, aufgeschnitten war, die Holzmasse der Jahreslagen, werthete diese in Zucker aus und dachte mir diesen Zucker in dem Rindenvolum gelöst. In der beifolgenden Tabelle ist die Höhe des Stammes in Metern, das Volum der in einandergeschichteten Jahresholzlagen, das Gewicht der Zuwachsmasse und das Verhältniß der festen Substanz in dem mit Wasser gefüllt gedachten Rindenvolum als osmotische Spannung ausgewerthet.

Jahr.	Höhe m.	Volum der Jahreslage ccm.	Gewicht des Holzes der Jahreslage gm.	Osmosis der Spannung.
2	0,2	0,00002	0,96	0,48
3	0,38	0,0009	4,32	1,08
6	0,56	0,0048	23,04	0,36
8	0,68	0,0086	41,28	0,253
10	0,84	0,0162	77,76	0,212
14	1,40	0,0766	367,68	0,286
16	2,27	0,3072	1474,56	0,345

Von Interesse ist hier, daß die osmotische Spannung nahezu um geringe Werthe hin und her schwankt, während das Volum und die Masse des jährlichen Zuwachses sowie das Gesamtvolum stetig zunehmen.

Die chemische Analyse des Blattes für den Verlauf einer Sommerperiode nach den werthvollen Untersuchungen von RISSMÜLLER¹⁾ hat ergeben:

in 1000 Theilen frischen Blättern der Buche:

am 7. Mai . . .	Wasser	766,5	Th.	Trockensubstanz	233,5
» 11. Juni . . .	»	597,9	»	»	402,1
» 14. Juli . . .	»	563,6	»	»	436,4
» 11. August . . .	»	492,6	»	»	507,4
» 11. September . . .	»	525,8	»	»	474,2
» 27. October . . .	»	596	»	»	403
» 18. November . . .	»	544	»	»	455.

¹⁾ RISSMÜLLER, Stoffwanderung in der Pflanze. Göttingen. Huth. 1873.

Der Gehalt an Cellulose in Rohfaser in der Trockensubstanz schwankte von 144⁰/₁₀₀ der Trockensubstanz vom 7. Mai bis zu 209 am 11. Juni, 212 am 27. October, 255 am 18. November, sie nimmt also stetig zu.

Die stickstofffreien Extractivstoffe mit 502⁰/₁₀₀ der Trockensubstanz im Beginn culminiren mit 524⁰/₁₀₀ am 11. Juni, von da ab vermindern sie sich oder halten sich nahezu längere Zeit constant.

Die Proteinkörper mit 282⁰/₁₀₀ der Trockensubstanz sinken bis 143⁰/₁₀₀ am 11. September, bis 78,12 am 18. November.

Die Fette von 23⁰/₁₀₀ im Beginn, 24 am 11. Juni, culminiren gerade gegen das Ende mit 55⁰/₁₀₀ am 18. November für 455⁰/₁₀₀ der Trockensubstanz.

C. Histologische und chemische Untersuchungsmethoden.

Zwei Wege können eingeschlagen werden, um über die Vertheilung der Assimilationsproducte über den

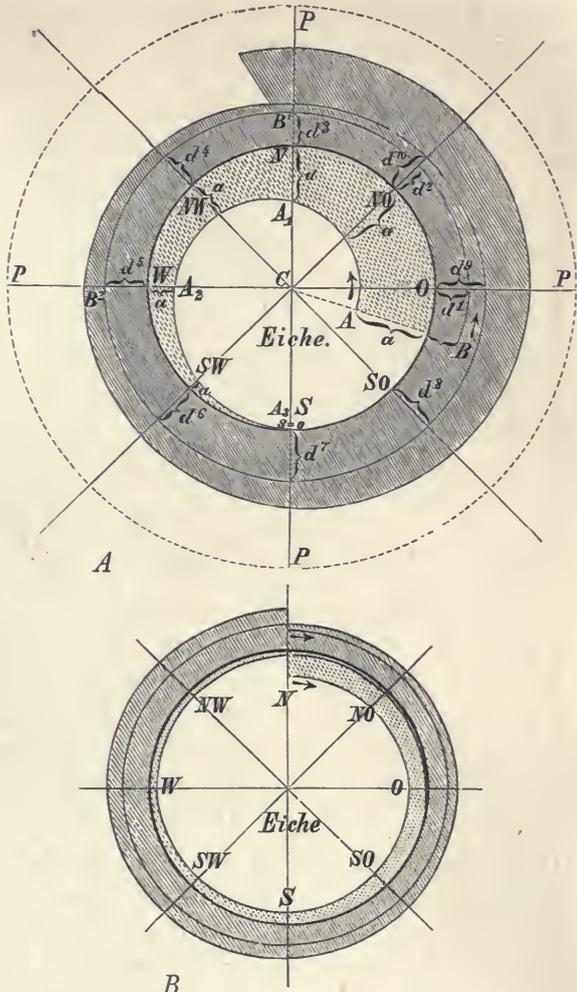


FIG. 446. A Schema des Zuwachses in einer schraubenlinigen Wunde, welche nach drei Jahren abgemuffert wurde, nach genauen Messungen in $\frac{1}{3}$ der natürl. Größe. Der Kreis $O N W S$ ist der Querschnitt des Baumes zu den Himmelsrichtungen. Der Radius $CO = OP$ ist gleich dem Durchmesser des Schraubenbandes, welches den Stamm umkreift. Von dem Kreise $O N W S$ wurde die Länge (d. h. die Ausdehnung in axiler Richtung) des Callus in radialer Richtung aufgetragen und zwar für den Callus descendens in centripetaler Richtung, es sind die Längen $A A_1 A_2 A_3$ bei O, NO, N, NW u. f. f. bis AO wie in S ; für den Callus ascendens in centrifugaler Richtung von B ab sind es die Längen $d_1 d_2 d_3$ u. f. f. Wiewohl nun die beiden Wundränder parallel und gleichsinnig mit den Pfeilen den Stamm umkreifen, so theilen sich doch, wie man aus den angegebenen Längen sieht, zwei Ströme, von welchen der eine bei gleichem Sinne der Richtung ab-, der andere zunimmt. — B Schema des Zuwachses für einen ähnlichen Stamm wie A in $\frac{1}{3}$ nat. Größe. Jetzt aber ist die Dicke des Callus (der Zuwachs im Wundrande) in radial transversaler Richtung gemessen; und zwar stellt die innere Spirale den Callus descendens, die äußere den Callus ascendens dar; beide beginnen ihre von oben nach unten fortschreitende Bahn in dem Orte, wo die Pfeile befindlich.

ganzen Körper der Pflanze Aufschluß zu erhalten. Man kann, da von solchen Körpern ein gewisser Theil der Kohlehydrate als Zuwachs von Holz und allen vegetativen Theilen fest und dauernd wird, diesen Theil messen und wägen und endlich ausgewerthet denken in Form solcher, zum Theil flüssiger Kohlehydrate, wie sie in der Pflanze vorkommen. Der zweite Weg ist die chemische Reaction. Für eine kleine Anzahl der Assimilationsproducte besitzen wir einigermaßen scharfe Reactionen¹⁾.

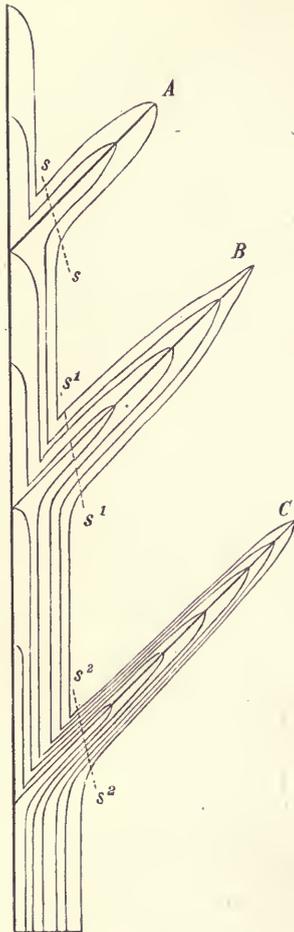


FIG. 447. Schematischer Durchchnitt durch einen Baum, an welchem nur die Aeste erster Ordnung berücksichtigt wurden. A B C die Aeste. In s ist das System zweijährig; in s^1 ist es dreijährig; in s^2 ist es sechsjährig u. f. f.

I.

Für die Mechanik der Translocation in der Baumrinde sind diese histologischen Verhältnisse von einigem Interesse. Die Zuwachsperioden der Rinde wechseln zwischen Bastparenchym, Leitzellen, Bastzellen u. f. f. (f. oben S. 377 ff.).

Nehmen wir den einfachsten Fall, etwa die Fichtenrinde, in welcher Bastparenchym und Leitzellen wechseln, so zeigt die mikroskopische Untersuchung, daß durch die Compression, welche der Holzkörper auf die inneren weicheren Rindenschalen ausübt, ein Theil der Gewebe mehr comprimirt wird wie ein anderer. Die Leitzellen werden allmählig zu fast structurlosen Bändern zusammengepreßt. Dieser Vorgang schreitet in centripetaler Richtung ganz entsprechend der Zuwachsrichtung für die Rinde fort, so daß in einer äußeren Schale die ursprüngliche Structur mehr verwischt ist wie innen. Umgekehrt liegt dies für die stärker- und zuckerführenden Bastparenchymzellen, Fig. 449, diese nehmen stetig bis zu bestimmter Grenze von innen nach außen an Volum zu²⁾.

1) TH. HARTIG, Entw. d. Pflanzenkeims. Leipzig 1858. Förstner'sche Buchh. — J. SACHS, Physiologische Untersuchungen über die Keimung der Schminkebohne. 1859. Ueber einige neue Reactionsmethoden. Wien 1859. — Dr. TH. HARTIG, Das Gerbmehl. 53. Weitere Mittheilungen, das Gerbmehl betreffend. 237. Bot. Ztg. 65. — BORSCOW, Beiträge zur Histochemie der Pflanze. 17. 33. Bot. Ztg. 74.

2) Eingehenderes hierüber: Bot. Unterf. Bd. I. S. 246.

Da nun in der Fichtenrinde als bestem Studienobject die Leitzellengruppe und die Gruppe von stärkeführendem Bastparenchym streng geometrisch geordnet sind, so läßt sich aus der Distanz der letzteren ein Maß der

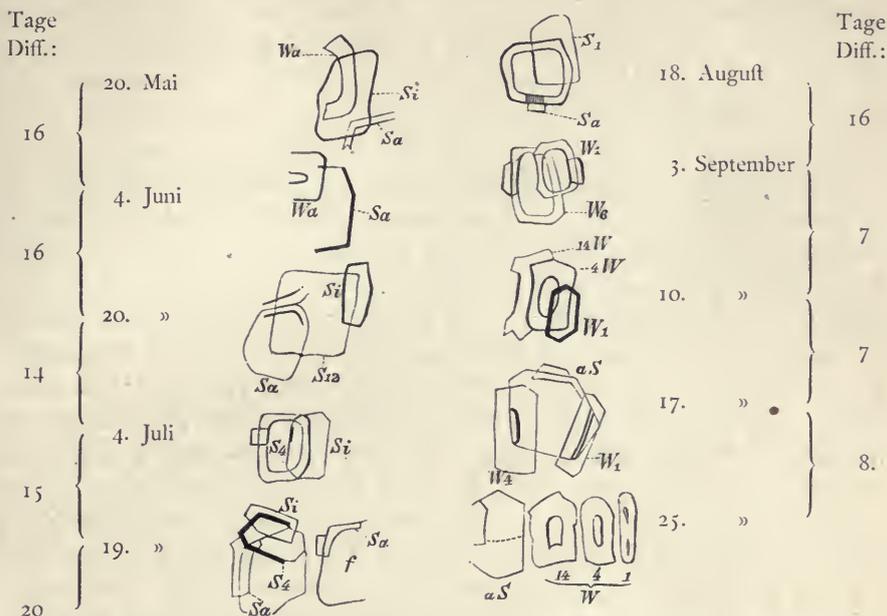


FIG. 448. Die Täfelchen für das Dickenwachstum der Holzzellen beziehen sich auf dieselben Daten, *f* ist hier mit beachtet, während es für die Stärkeringe ausgelassen wurde. Es bedeuten: *S*₁ die jüngste Sommerholzelle, *S*₂ die nächstjüngste u. f. f., *S*_a die älteste Sommerholzelle, *W*₁ die jüngste Winterholzelle, *W*₂ die nächstjüngste Winterholzelle, *W*_a die älteste Winterholzelle.

Compression mikroskopisch bestimmen. Die Distanz zweier Stärkeringe beträgt im ersten Jahr z. B. 35 Maßeinheiten, im vierten Jahr nur 3 Maßeinheiten und im elften Jahr 0, d. h. die Bastparenchymgruppen sind in einander verschränkt, die Leitzellen sind vollständig collabirt, auf ein minimales Maß zusammengedrückt.

II.

Auch die Gesamttcompression der Rinde hat ein Interesse. Dieser Gegenstand ist indeß dadurch erschwert, daß die äußerste Rindenschale nicht absolut starr ist, sie dehnt sich und reißt (f. oben S. 340). Man kann nun dem Interesse der Leitung dennoch genügen, wenn man für verschiedene Regionen des Baumkörpers Messungen ausführt über die Radienlänge des Holzkörpers und der Rinde¹⁾. Aus diesen ergibt sich nahezu gleiche Compression eines Elementes der Rinde, dessen Volum gleich eins gesetzt sein

¹⁾ Bot. Unterf. Bd. I. S. 249.

möge, ehe die Anlegung des Jahrringes erfolgt. Das Volum sinkt im Stamm auf 0,828, im Ast der dritten Ordnung auf 0,735, im Ast der siebenten Ordnung auf 0,680. Also herrscht eine geringe, aber immerhin merkliche Druckschwankung, welche von dem Stamm nach dem Ast zunimmt. Die Volumverminderung ist in den äußersten Zweigen durch den Zuwachs größer wie im Stamme.

III.

Ein Maß für die Translocation am Baumstamme konnte aus vergleichenden Messungen über den Holzzuwachs gefunden werden. Das beste Studienobject sind die Stämme unserer Nadelhölzer, Fichte, Tanne, Kiefer. Für die Fichte wurden Messungen über die Vertheilung der Masse in einer Sommerperiode vorgenommen. Man beachte aus der anatomischen Structur des Jahrringes, daß eine Radialkette von Holzzellen beginnt mit weillumigen Sommerholzzellen, welche allmählig wachsen und sich verdicken, so eine Reihe darstellen, welche mit S_1 S_2 S_3 bezeichnet werden kann. In der Figur 448 wurden für je ein gewähltes Datum, 20. Mai, 4. u. 20. Juni, 4. u. 19. Juli, 18. August, 3., 10., 17. u. 25. September die Querschnittsareale gemessen und in der besagten Figur dargestellt. S_a bedeutet eine ältere, S_i eine jüngst angelegte Holzzelle in dem lockeren Theil des Jahrringes, W_1 W_2 u. f. f. die von der absoluten Wintergrenze abgezählten, zuletzt entstehenden Holzzellen. Im Allgemeinen sinkt in der Kette das Lumen, während die Wanddicke der Holzzellen wächst, vom Beginn des Mai bis Ende September.

Hierbei ist indeß zu beachten, wie auch aus der Curvenschaar im VII. Abschnitt § 32 E Fig. 317 zu ersehen ist, daß zuerst eine Auflockerung der Zellen stattfindet, ehe die Massenzunahme ihr Maximum erreicht. Die Massencurve als Function der Zeit, für ganz dünne Zuwachschalen dargestellt, hat demgemäß zuerst ein Maximum unmittelbar nach der Anlegung der Zellwände in der Cambiumzone, sodann erreicht sie ein absolutes Minimum durch die Auflockerung, um erst zuletzt das absolute Maximum zu erreichen.

Der zweite Weg, die Vorgänge der Translocation zu studiren, ist durch die organische Chemie und die mikroskopische Analyse vorgezeichnet. Durch mikrochemische Reactionen sind indeß bis jetzt nur wenige Körper, welche aus Pflanzentheilen hergestellt wurden, in den Geweben direct nachweisbar. Es beruht dieß zum Theil darin, daß dieselben in der Zelle nur in minimalen Mengen vertheilt vorkommen. Wir stellen uns hier die Aufgabe, über die Vertheilung der wichtigeren Körper Aufschluß zu geben, und bringen die sämmtlichen Körper in zwei Gruppen. Die erste Gruppe enthält alle Verbindungen, von welchen mit Bestimmtheit angenommen werden muß, daß sie zum Aufbau der Pflanze eine Rolle spielen oder zur Athmung verbraucht werden (Nährkörper). Die zweite Gruppe enthält diejenigen, welche

als Ausscheidungsproducte, Secrete, betrachtet werden müssen und diejenigen, von welchen eine Bedeutung im Sinne der ersten Gruppe bis jetzt nicht bekannt ist.

I. Gruppe: Nahrungsmittel¹⁾.

Wir können die Nahrungsmittel zunächst eintheilen in stickstofffreie und stickstoffhaltige. Diese Eintheilung ist eine künstliche, insofern jedenfalls bei der Neubildung assimilirter Rohrnährkörper in dem Blatte zunächst eine stickstoffhaltige Substanz sich bildet, aus welcher sich die stickstofffreien Körper abspalten. Wir denken uns eben das Protoplasma als den wesentlichen Theil im Leben der chlorophyllhaltigen Zelle, welcher gerade so wie die Plasmodien der niederen Protisten zuerst feine Masse vermehrt, ehe er zur Ausscheidung der allein aus *C*, *H*, *O* bestehenden Verbindungen schreitet.

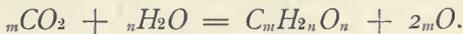
Nährkörper aus *C*, *H*, *O* zusammengesetzt.

Hierhin gehören:

- 1^o die Kohlehydrate;
- 2^o die organischen Säuren;
- 3^o die Fette und die fetten Oele.

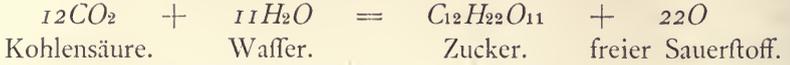
1. Kohlehydrate.

Diese Verbindungen enthalten ein Atom Kohlenstoff mit der Gruppe Wasserstoff und Sauerstoff so verbunden, wie im Wasser. Die allgemeine Formel der Kohlehydrate ist $C_m H_{2n} O_n$. Die Formel, welche für die Bildung eines Kohlehydrates aufgestellt werden kann, ist diese:



¹⁾ TH. HARTIG, Ueber den Bau des Stärkemehls. Bot. Ztg. 55. S. 905. — Prof. Dr. SCHENK, Ueber formlose Stärke. 497. 555. Bot. Ztg. 57. — SANIO, Untersuchungen über die im Winter Stärke führenden Zellen des Holzkörpers dicotyler Holzgewächse. 1858. Halle. — Dr. TH. HARTIG, Ueber den Zucker und über einen, dem Salicin ähnlichen Körper aus den Cambialfäden der Nadelhölzer. 413. Bot. Ztg. 63. — Dr. J. SACHS, Ueber die Sphärokrystalle des Inulins und dessen mikroskopische Nachweisung in den Zellen. 77. 85. Bot. Ztg. 64. — Dr. A. WEISS und Dr. JUL. WIESNER, Ueber die Einwirkung der Chromsäure auf Stärke. 97. Bot. Ztg. 66. — Dr. A. FAMINTZIN und J. BORODIN, Ueber transitorische Stärkebildung bei der Birke. 385. Bot. Ztg. 67. — G. KRAUS, Einige Beobachtungen über den Einfluß des Lichts und der Wärme auf die Stärkeerzeugung im Chlorophyll. PRINGSH. Jahrb. Bd. VII. S. 511. 1869—70. — G. BRIOSI, Ueber normale Bildung von fettartiger Substanz im Chlorophyll. 529. 545. Bot. Ztg. 72. Ueber allgem. Vorkommen von Stärke in den Siebröhren. 305. 321. 337. Bot. Ztg. 73. — J. SACHS, Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern. PRINGSH. Jahrb. Bd. III. S. 183. 1863. — G. KRAUS, Ueber eigenthümliche Sphärokrystalle in der Epidermis von *Cocculus laurifolius*. PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 421.

Nehmen wir an, es entstehe durch die Affimilation Zucker, so erhalten wir:



a) Stärke (Amylum) (f. oben § 16 A B C).

Die Stärke tritt fast instantan nach der Beleuchtung im vorher leeren Chlorophyllkörper der höheren Pflanze auf.

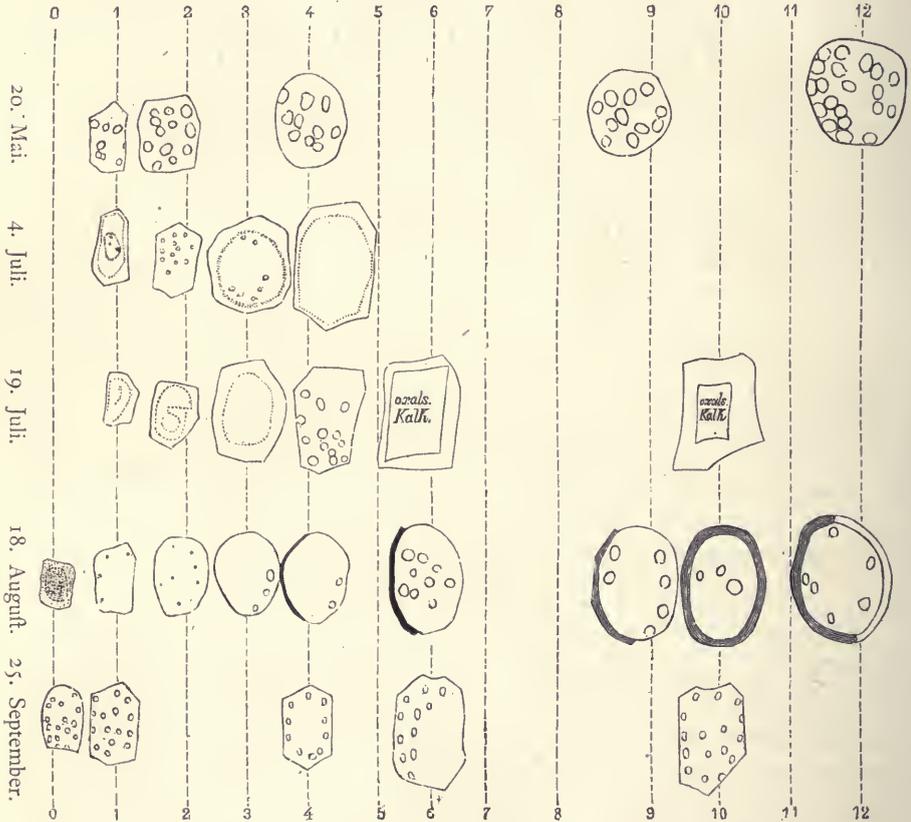


FIG. 449. Diese Figur entspricht einer genauen Aufnahme der stärke- und zuckerführenden Zellen in der Fichterrinde. 0 bis 12 in der Horizontalrichtung sind die von der Cambialzone gerechneten Zellen dieser Art. In der Verticalrichtung stellt die erste Reihe den Zustand am 20. Mai, die zweite am 4. Juli, die dritte am 19. Juli, die fünfte am 18. August, die sechste am 25. September dar.

Die Gewebe, in welchen das Stärkemehl wandert, reagiren sauer. Die Stärke wird durch verdünnte Säuren in Traubenzucker umgewandelt. Im kleinsten Volumelement solcher Gewebe, welche stärkegefüllt sind, wie die Kartoffelknolle z. B., wird das Stärkemehl, wenn neue Sprosse ernährt

werden, zuerst in denjenigen Orten des Grundgewebes reforbirt und dislocirt, welche von den Gefäßbündeln am weitesten entfernt sind. Das Stärkemehl verschwindet bei der endlichen Erföpfung der Knolle zuletzt in der Nähe der Gefäßbündel. Wir betrachten zuerst die Translocation der Stärke von der Baumkrone nach den tiefer belegenen Schafttheilen, ein Vorgang, der durch die genauen Messungen überfichtlich wird, welche in Figur 449 dargestellt sind.

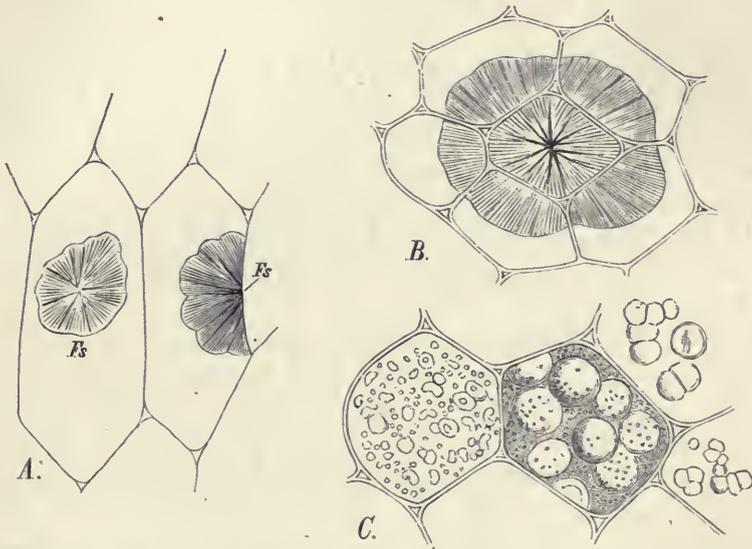


FIG. 450. A. Inulinsphäroide aus dem Stamm von *Helianthus tuberosus* in concentrirtem Alkohol. In der einen Zelle ist das Sphäroid wandständig und seitlich an der Wand abgeplattet. B. Inulinsphäroid in dem Rhizom von *Inula Helenium*. Dasselbe hat sich in sechs Zellen gleichmäßig ausgebildet. Eine von diesen central, die fünf andern im Kreis um die erstere gelagert. C. *Helianthus tuberosus*. Markzellen, welche Inulin führen. (SACHS, Bot. Ztg. 1864 Nr. 12, 13.)

Fig. 449 stellt in der Reihe 0 bis 12 die aufeinanderfolgenden Ringe der Stärke und Zucker führenden Bastparenchymzellen dar. Diese Horizontalreihen sind von oben nach unten am 20. Mai, 4. u. 19. Juli, 18. August und 25. September dargestellt. Vom 20. Mai ab nimmt die Zahl und Größe ab, am 4. Juli ist die Rinde stärkeleer. Die Ueberreste der Celluloseskelette sind jetzt noch nachweisbar. Am 19. Juli tritt zuerst der oxalsaure Kalk auf, noch ehe Stärke nachweisbar ist; von jetzt ab treten wechselnd Stärkekörner auf und verschwinden wieder, bis gegen den 25. September die Anhäufung eine dauernde wird.

Aus den mikroskopischen Aufnahmen konnten genaue Volumberechnungen ausgeführt werden; auf 1000 cmm wurde das Volum in den aufeinanderfolgenden Zeitregionen bestimmt.

Die erste Zeitregion vom 20. Mai bis Anfang Juni ergibt in der

innersten Zelle 1, Fig. 449, 80 cmm auf 1000 cmm der Rinde, in der zweiten 140, in der dreizehnten 279 cmm.

Vierzehn Tage später schon sind in Zelle 1 nur 43, in der 10. Zelle 158 cmm enthalten.

Die zweite Zeitregion können wir rechnen vom 20. Juni bis 19. Juli. Das Wefen dieser Periode läßt sich kurz so definiren:

Das Stärkereservoir ist verbraucht, von jetzt ist der Confus in der Grenzzone so stark, daß es gar nicht mehr zur Bildung der Niederschlagskörper kommt.

Die dritte Region vom 19. Juli bis 18. August zeigt zuerst wieder Niederschlagskörper, welche in der Grenzzone äußerst kleine Kugeln bilden, in der mittleren Zone selbst noch zur vollen Resorption kommen können. Der laufendjährige Zuwachs, Fig. 317 bei der Fichte, wird jetzt verstärkt.

In der nachfolgenden Tabelle ist das Volum in den Zellen 0 bis 12 noch dargestellt für die Daten *b*, *i*, *k*, *l*, welche 14tägige Intervalle von Ende August ab enthalten.

Gesamtvolum der Stärke in cmm auf 1000 cmm der Rinde.				
Zelle.	<i>b</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
0	13	9,4	16	55
1				54
1				
4				41
5	35			
6				37
7			38	
9		57		
10				66
12	93			

Die Messungen, welche in der Fig. 449 graphisch dargestellt sind, wurden durch den ganzen Winter fortgesetzt an der Fichte, der Buche und der Eiche. Für die vierte Zeitregion läßt sich aus denselben das folgende Resultat angeben:

Gegen Ende des November ist die Rinde aller untersuchten Bäume stärkeleer, da dieselbe vollständig von den Zellen des Holzkörpers aufgenommen ist; während der Monate December,

Januar bis Anfang Februar (wohl auch Februar und März bei starkem Frost) verharret die Stärke im Holz, um von da ab durch die Rinde ihre centrifugale Bewegung zu beginnen.

In einer mittleren Stärkezelle der Fichtenrinde sind die Volume auf die Stärkekörner, wie nachfolgend verzeichnet ist, vertheilt:

erste	Zeitregion (a)	121	Volumeinheiten	auf	10	Körper,
zweite	»	0	»	»	0	»
dritte	»	8	»	»	2	»
vierte	»	41	»	»	10	»

Daraus erhellt: An einem bestimmten Orte in der Nähe des Cambiums wird ein Theilchen des plastischen Materials dann noch beschleunigt dadurch, daß 10 Niedererschlagskörper, welche aus dem Material bestehen, von dem Volum 8 nach dem Volum 41, resp. von 41 auf das Volum 121 heranwachsen wollen — wenn selbst in der Grenzzone der Zuwachs erloschen ist, also in dem Zeitraum September bis Mai.

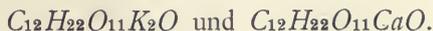
b) Inulin.

Das Inulin ist identisch in der Zusammensetzung mit dem Amylum. Es kommt in der Pflanze gelöst vor, wohl in den höheren Pflanzen allgemein verbreitet, am reichlichsten in dem Grundgewebe der Rhizome und Wurzel der Compositen (Dahlia, Inula u. a. m.), schlägt sich in Alkohol in charakteristischen, starklichtbrechenden Sphäroiden nieder, Fig. 450.

Das Inulin ist in vielen Pflanzen im Grundgewebe in geringer Menge vorhanden, so namentlich in den Rinden der Bäume.

c) Rohrzucker $C_{12}H_{22}O_{11}$.

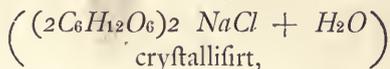
In der Pflanze immer gelöst, diffundirt im Grundgewebe, krystallisirt in monoklinen Säulen, in Alkohol wenig löslich. Der Rohrzucker reducirt die Kupferoxydsalze nicht, bildet aber beim Kochen mit *KOH*, bei Gegenwart von Weinsäure, mit denselben basische lafurblaue Kupfersalze. Der Rohrzucker kommt in den Baumstämmen, Birke, Ahorn, in den saftigen Theilen der Früchte, der Runkelrübe u. a. m. vor. Charakteristische Verbindungen entstehen mit Kali und Kalksalzen, z. B.:



d) Traubenzucker, Glucose $C_6H_{12}O_6$.

In der Pflanze ist der Traubenzucker gelöst, diffundirt in denselben Geweben vorzugsweise in den Früchten, Trauben, auch im Honig. In Alkohol löslich. Der Traubenzucker reducirt Kupferoxydsalze bei Gegenwart von

Kali und Weinfäure beim Kochen zu Kupferoxydul. Er besitzt charakteristische Verbindungen mit Baryt, Bleioxyd und mit Kochsalz



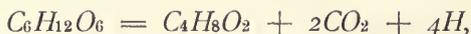
auch mit organischen Säuren. Der Traubenzucker kann aus Cellulose und Amylum unter Einwirkung von Säuren hergestellt werden.

Der Traubenzucker wird unter dem Einfluß der specifischen Gährungserreger in drei verschiedene Gärungen übergeführt, die Alkohol-, Butterfäure- und Milchsäuregärung:

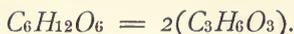
bei der Alkoholgärung entsteht Alkohol und Kohlenfäure¹⁾,



bei der Butterfäuregärung wird Kohlenfäure und Wasserstoff entbunden²⁾,



bei der Milchsäuregärung findet eine moleculare Umlagerung ohne Gasentbindung statt,



Die Lösung des Traubenzuckers dreht die Polarisationsebene nach rechts.

Der Fruchtzucker (neben dem Traubenzucker im Honig) in den Früchten der Amygdaleen, Pomaceen u. a. m. ist linksdrehend.

Melezitose $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$ aus dem Manna der Lärche im südlichen Frankreich gewonnen. Melitose $C_{12}H_{22}O_{11} + 3H_2O$ aus dem Manna des Eucalyptus (Australien). Synanthrose $C_{12}H_{22} + H_2O$ in den Dahlienknollen.

e) Gummiarten (f. früher § 15, S. 95).

Die Gummiarten sind jedenfalls aus der Umwandlung von Cellulose oder doch solchen Körpern entstanden, welche in der Zellhaut ursprünglich fest waren, sie quellen (Traganth) oder lösen sich in Wasser, sind in Alkohol, ätherischen Oelen unlöslich. In der schleimigen Lösung dieser Körper sind zuweilen Oele, Essenzen, Haare emulgirt:

1^o das arabische Gummi der Acacien Nordafrika's ist eine Verbindung der Kalk- und Kalifalze mit der Arabinfäure ($C_6H_{10}O_5$) + $\frac{1}{2}H_2O$, welche durch die Einwirkung anderer Säuren abgeschieden werden kann. Die Entstehung desselben im histologischen Sinne ist noch nicht untersucht. Die Lösung ist linksdrehend;

2^o Bafforin im Traganthgummi (f. oben S. 95, Fig. 113) quillt in Wasser, filtrirt nicht, diffundirt nicht durch Membranen;

1) Glycerin und Bernsteinsäure, f. im Abschnitt Gärung weiter unten.

2) Im gährenden Johannisbrod (*Silva dulcis*).

3^o die Schleime der Quitten-, der Leim-, der Cruciferenfamen entstehen durch Quellung der Zellhäute (f. oben S. 97);

4^o in dem Grundgewebe der Cereusarten befinden sich größere Zellen (Schleimzellen), in Alkohol wird der Schleim fest und zeigt deutlichst die Schichtung, welche den Membranen eigen ist. Aehnliche Zellen kommen vor in den Orchisknollen (Salepfschleim);

5^o Dextrin entsteht durch Erhitzen des Amylum in Wasser bei Gegenwart von Säuren. Geht zuletzt in Traubenzucker über. Die Lösung des Dextrin ist rechtsdrehend.

2. Fette und fette Oele.

Die Fette und fetten Oele sind chemische Verbindungen der höheren Fettsäuren mit Glycerin,

so die Laurinsäure	$C_{12}H_{24}O_2$	im Fette der Cotyledonen
bei den Laurineen, die Myristinsäure	$C_{14}H_{28}O_2$	im Samen der Myristica,
Palmitinsäure	$C_{16}H_{32}O_2$	} in allen Fetten und fetten Oelen,
Stearinsäure	$C_{18}H_{36}O_2$	
Arachinsäure	$C_{20}H_{40}O_2$	} im Samen der Arachis hypogæa.

Diese Säuren sind fest, das Glycerin ist flüchtig, die Verbindung im Fett oder Oel ist flüchtig oder fest, je nach der Temperatur. Die Fette und Oele kommen in der Pflanze mit Protoplasma emulgirt vor, sie finden sich in allen Chlorophyllkörpern und sind dort jedenfalls das Lösungsmittel für das Pigment. Sie werden vorzugsweise gehäuft in den Samen (Coniferen, Cruciferen, Buche, Hasel u. a. m.), sind aber nicht für nahe Verwandtschaftskreise specifisch, z. B. hat die Buche einen Oelfamen, die Eiche einen Mehlfamen. Bei der Keimung der Oelfamen, so z. B. der Buche und der Nadelhölzer, tritt schon nach wenigen Tagen transitorische Stärke auf, welche sehr bald in den Keimtheilen vorwiegt, während das fette Oel verschwindet.

Bei der Keimung von *Allium Cepa*, dessen sämtliche Keimtheile ursprünglich nur fettes Oel oder Fett enthalten, Fig. 451, bilden sich nach einiger Zeit Zucker, Stärke, Proteinkörper, welche mit Hilfe der früher angegebenen Reactionen nachgewiesen werden können. Die Cotyledonen enthalten vorzugsweise das Fett, Zucker befindet sich in dem Grundgewebe in der Nähe der Gefäßbündel. In der Nähe der Wurzelknospe, in der Wurzelhaube und in der Nähe der Stammknospe tritt zuerst transitorische Stärke auf, die Proteinstoffen treten reichlicher in den Leitzellen der Gefäßbündel auf.

Der Vorgang der Entstehung eines Fettes bei der Assimilation ist durch diese Formel veranschaulicht:



(wo $2m + o$ größer als $2m$, m und o ganze Anzahlen von Atomen bedeuten).

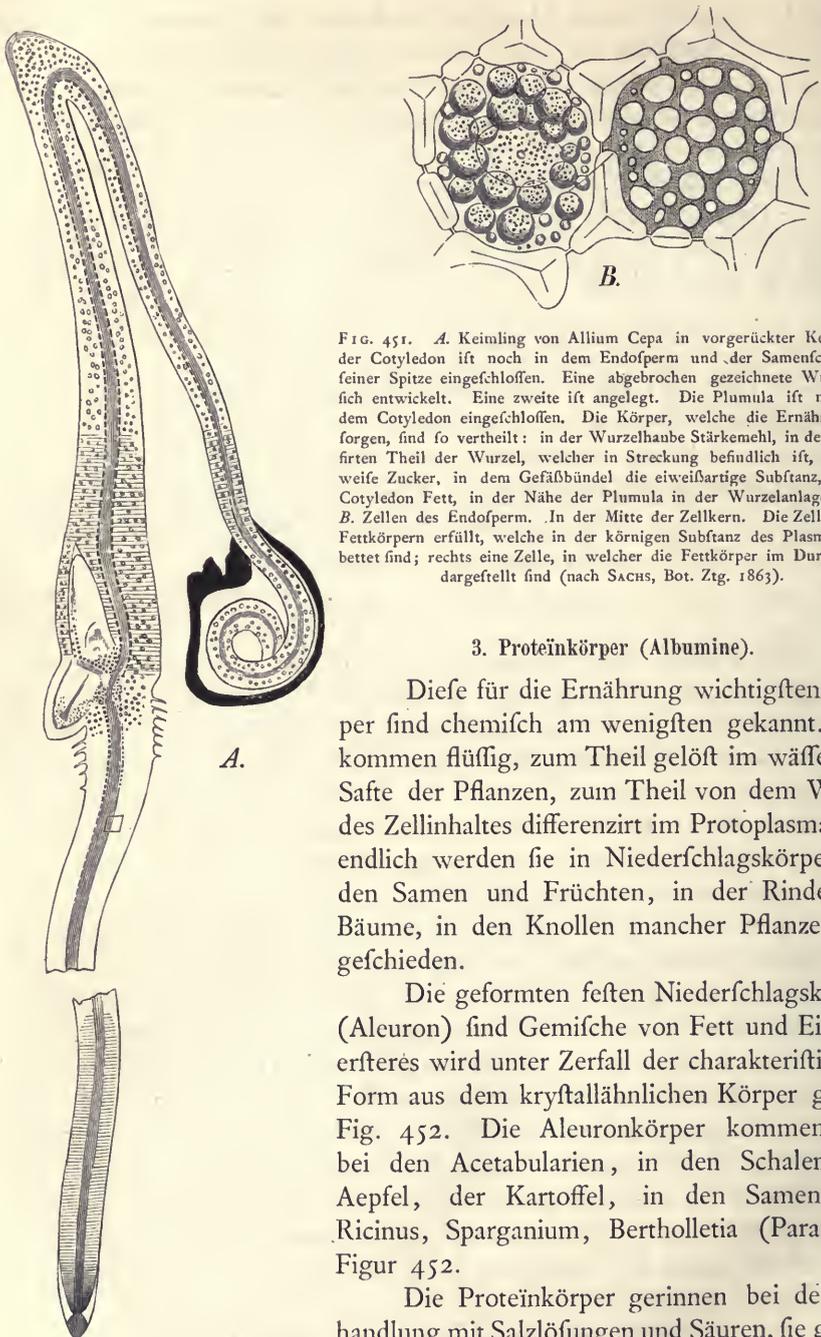


FIG. 451. A. Keimling von *Allium Cepa* in vorgerückter Keimphase, der Cotyledon ist noch in dem Endosperm und der Samenschale mit feiner Spitze eingeschlossen. Eine abgebrochen gezeichnete Wurzel hat sich entwickelt. Eine zweite ist angelegt. Die Plumula ist noch von dem Cotyledon eingeschlossen. Die Körper, welche die Ernährung besorgen, sind so vertheilt: in der Wurzelhaube Stärkemehl, in dem schraffirten Theil der Wurzel, welcher in Streckung befindlich ist, vorzugsweise Zucker, in dem Gefäßbündel die eiweißartige Substanz, in dem Cotyledon Fett, in der Nähe der Plumula in der Wurzelanlage Stärke. B. Zellen des Endosperm. In der Mitte der Zellkern. Die Zelle ist mit Fettkörpern erfüllt, welche in der körnigen Substanz des Plasma eingebettet sind; rechts eine Zelle, in welcher die Fettkörper im Durchschnitt dargestellt sind (nach Sachs, Bot. Ztg. 1863).

3. Proteinkörper (Albumine).

Diese für die Ernährung wichtigsten Körper sind chemisch am wenigsten gekannt. Sie kommen flüssig, zum Theil gelöst im wässrigen Saft der Pflanzen, zum Theil von dem Wasser des Zellinhaltes differenzirt im Protoplasma vor, endlich werden sie in Niederschlagskörpern in den Samen und Früchten, in der Rinde der Bäume, in den Knollen mancher Pflanzen abgetrennt.

Die geformten festen Niederschlagskörper (Aleuron) sind Gemische von Fett und Eiweiß, ersteres wird unter Zerfall der charakteristischen Form aus dem krySTALLÄHNLICHEN Körper gelöst, Fig. 452. Die Aleuronkörper kommen vor bei den Acetabularien, in den Schalen der Aepfel, der Kartoffel, in den Samen von *Ricinus*, *Sparganium*, *Bertholletia* (Paranuß), Fig. 452.

Die Proteinkörper gerinnen bei der Behandlung mit Salzlösungen und Säuren, sie gehen mit Metallsalzen unlösliche Verbindungen ein.

Das Pflanzeneiweiß gerinnt wie das thierische bei Temperaturen von 60 bis 70° C. Es ist unlöslich in Alkohol und Aether, bei Behandlung mit diesen verliert es Wasser. Die Masse schrumpft zusammen. Die Proteinkörper werden aber in Kalilauge gelöst zu einer gelben Flüssigkeit.

In der Pflanze wandern die Proteinkörper vorzugsweise in den Leitzellen (Siebröhren, Gitterzellen) des Cambiforms der Rinde in unferen Bäumen, die Reaction des Saftes in diesen Zellen ist eine alkalische.

Die chemische Constitution der Proteinkörper ist so gut wie nicht bekannt, wahrscheinlich aber ist das pflanzliche Protoplasma, in welchem diese Körper vorkommen, eine gepaarte Verbindung einer flüssigen Celluloseart mit in Wasser löslichem Eiweiß. Die chemische Analyse der Albumine ergibt gegen 55% Kohlenstoff, gegen 7% Wasserstoff, 16% Stickstoff, gegen 24% Sauerstoff und bis zu 2% Schwefel.

Als mikrochemische Reactionen werden angesehen: die Behandlung mit Jod. Das Protoplasma färbt sich braun. Mit concentrirter Schwefelsäure wird eine rosenrothe Färbung erzielt. Desgleichen mit dem MILLON'schen Salz (Salpetersaures Quecksilberoxydul).

In den Keimtheilen, dem Gewebe des Endosperms und Perisperms der Samen sind die Proteinkörper vorzugsweise angehäuft, Fig. 452.

Die Leguminosen führen in dem Grundgewebe ihrer Cotyledonen, Fig. 453, Proteinkörper und Stärkemehl, so die Erbsen, Bohnen, Linfen, während die fetten Oele und Fette zurücktreten. Hier ist die Umwandlung in Zucker auf die Zersetzung von Stärkemehl basirt. Die Stärke und der Proteinkörper wandern von Zelle zu Zelle in den wachsenden Keimtheilen.

Die flüssigen Proteinkörper, die Kohlehydrate, Zucker, Inulin u. s. f. besitzen alle ein großes Moleculargewicht, sie diffundiren alle äußerst langsam oder gar nicht durch fertige Pflanzenmembranen oder künstliche Häute oder thierische Blase. Die flüssigen Fette werden wahrscheinlich zum Theil durch Imbibition oder Durchtränkung in den Wänden fortgeleitet. Dieser

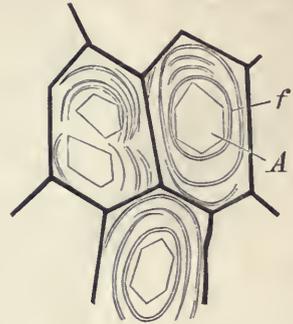


FIG. 452. *Bertholletia excelsa*, Aleuronkryalle im Endospermgewebe des Samens. *f* Fettfichten um den Kryfall *A*, welche in Aether sich auflösen.

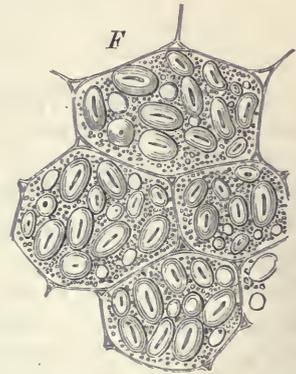


FIG. 453. *Vicia fava*. Kleine Parthy aus dem Gewebe der Cotyledonen. Die größeren Körper sind Amylum. Die feinkörnige Substanz ist Protoplasma.

Vorgang ist jedenfalls ein Diffusionsvorgang im weiteren Sinne, wiewohl diese Körper keine specifischen Anziehungskräfte zu dem wässerigen Saft noch zu dem Imbibitionswasser der Zellmembranen besitzen. Die transitorische Stärke wandert jedenfalls nicht als solche, sondern wird in Zucker

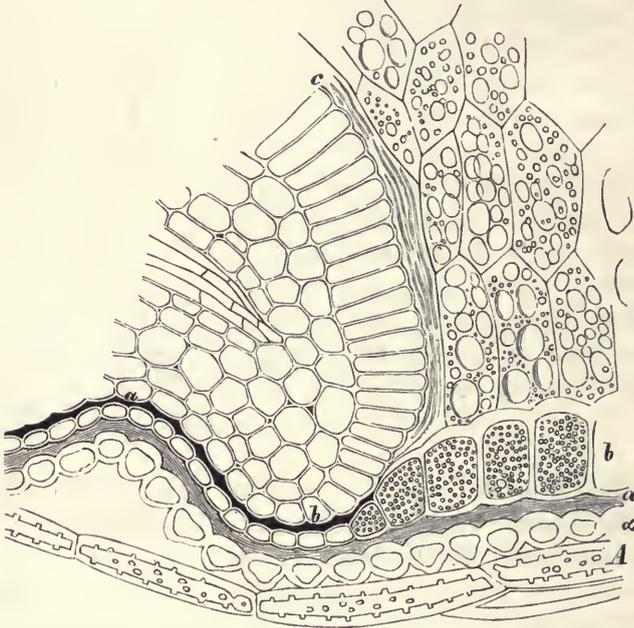


FIG. 454. *Triticum vulgare*. Die obere Spitze des Schildchens am Keimling *abc* das auffaugende Epithel an demselben. *A a a* die Zellschichten der Fruchthaut, rechts von *c* liegen die Streifen, welche den collabirten Häuten der Endospermzellen entsprechen.

umgewandelt. Bemerkenswerth bleibt immerhin der Umstand, daß alle diese Körper bei der Keimung verhältnißmäßig rasch dislocirt werden. Die Keimung der Getreide (man beachte Fig. 454, 455) verläuft so, daß die Wurzel zuerst, die Endospermhülle und die Samenschale durchbrechend, sich streckt. Es folgt die Keimaxe und zuletzt der Cotyledon, man sehe auch Fig. 451. Der Aufwand an plastischem Material für die Streckung dieser Theile wird bei allen Endosperm- und Perispermhaltigen Samen aus den Nährstoffen gedeckt, welche in diesen Geweben angeammelt waren. Bei den Schließfrüchten der Gräser wird selbst das Material herbeigezogen, welches in dem Gewebe des Fruchtknotens abgelagert ist.

Diese Translocation vollzieht sich durch ein eigenthümlich gestaltetes Epithel am Schildchen (Fig. 454 *cb* die gestreckten Zellen). Zur Zeit der Keimung lockern sich diese Zellen, Fig. 456, auf, sie nehmen in erster Linie die Proteine und den Zucker des Endosperms und übermitteln diese Körper

in innere Gewebe des Keimlings, dessen Oberhaut sie endlich am ausgetretenen Keimling an der Stelle der am längsten im Samen verharrenden Cotyledonen schließen.

Dieses auffaugende Epithel kommt wohl allen den Pflanzen zu, deren Ernährungsverhältnisse in der Keimphase die gleichen sind (Fig. 456 *Ep*). Bei der Dattel und vielen andern Palmensamen ist das Endosperm von der Textur des Elfenbeins außerordentlich hart, elastisch mit stark verdickten Wänden, welche mit zahlreichen Porengängen versehen sind, *Ws* Fig. 456. In dem Maß wie die Keimtheile, welche in der Figur 456 jenseits des Epithels *Ep* liegen, sich strecken und ihre Zellen durch Theilung vermehren, wird die Translocation der Nährkörper durch die Zellenschalen *Ep* unterhalten und selbst ein Theil der Zellwände des Endosperms resorbirt, so daß dessen Zellen in der Grenzschicht collabirt erscheinen, *Pz* Fig. 456¹⁾.

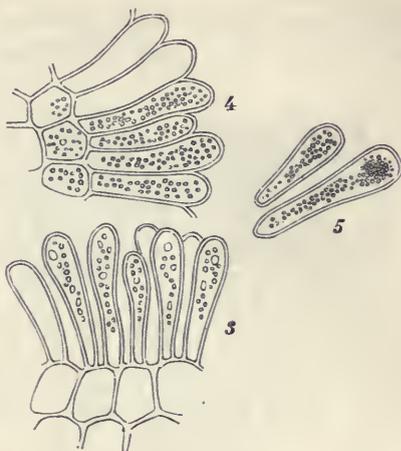


FIG. 455. Epithelzellen der Graskeimlinge zur Zeit der Keimung (nach SACHS, Bot. Ztg. 1862, Keimungsgeschichte der Dattel und Grasfrüchte).

der Nährkörper durch die Zellenschalen *Ep* unterhalten und selbst ein Theil der Zellwände des Endosperms resorbirt, so daß dessen Zellen in der Grenzschicht collabirt erscheinen, *Pz* Fig. 456¹⁾.

II. Gruppe: Secrete.

1. Harze, Gummiharze, Essenzen²⁾. (Terbene, Camphene.)

Was zunächst die Verbreitung dieser Körper angeht, so muß beachtet werden, daß sie für gewisse Pflanzenfamilien, z. B. Coniferen, Terebinthaceen, Umbelliferen, Araliaceen, charakteristische Secrete sind, welche endlich in Intercellularräume des Holzes der Rinde abfließen, oder sie sind in den Zellen der Gewebe vertheilt, z. Th. emulgirt, z. Th. in größeren Massen

1) HARTIG, Ueber das Klebermehl. Bot. Ztg. 55. S. 881. — BADLKOEFER, Ueber Krytalle proteinartiger Körper pflanzlichen und thierischen Ursprungs. 1850. Leipzig. W. Engelmann. — Dr. J. SACHS, Ueber saure, alkalische und neutrale Reaction der Säfte lebender Pflanzenzellen. 257. Bot. Ztg. 62. Zur Keimungsgeschichte der Gräser. 145. Bot. Ztg. 62. Ueber die Keimung des Samens von *Allium Cepa*. S. 57. 65. Bot. Ztg. 63. — Dr. TH. HARTIG, Ueber die Thätigkeit des Siebfasergewebes bei Rückleitung der Bildungssäfte. 287. Bot. Ztg. 63. — FR. SCHREIBER, Entwicklungsgeschichte der Siebröhren und Verbreitung derselben im Pflanzenreich. 321. Bot. Ztg. 64. — W. PFEFFER, Untersuchungen über die Proteinkörner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen der Samen. PRINGSH. Jahrb. Bd. VIII. S. 429.

2) A. VOGL, Ueber den Bau des Holzes von *Ferreira spectabilis* und die Bildungsweise des sogenannten Angelin-pedra-Harzes. PRINGSH. Jahrb. Bd. IX. S. 277.

angefammelt, z. B. Laurineen, Labiaten u. a. m., oder sie sind im alten Stammholz imbibirt. Bei keinem der genannten Körper drückt der Name, insofern die moleculare Constitution in Betracht kommt, einen chemischen Begriff aus. Einige Essenzen sind Kohlenwasserstoffe, andere Spaltungsproducte aus Glucosiden. Die Gummiharze sind wechselnde Gemenge von

Pflanzenschleim (vielleicht Derivate der Cellulose), welcher in Wasser quillt, mit Harzen und ätherischen Oelen, welche in Wasser fast unlöslich sind.

a) Harze in Essenzen oder flüchtigen Kohlenwasserstoffen gelöst (Balsame);

α) in Intercellularräume abgetrennt bei den Abietineen, Juniperineen, Cupressineen (Sandarac u. a. m.), Umbelliferen (Olibanum), Compositen (Arnica, Artemisia) und Verwandten;

β) zum Theil emulgirt in Intercellularräume abgetrennt: Terebinthaceen.

b) Harze mit Gummi oder Schleim emulgirt, in Intercellularräume abgetrennt: Umbelliferen (Ferula und alle gummiharzabsondernde Umbelliferen: Galbanum, Opoponax u. a. m.);

γ) Gummiharze von unbekannter histologischer Vertheilung

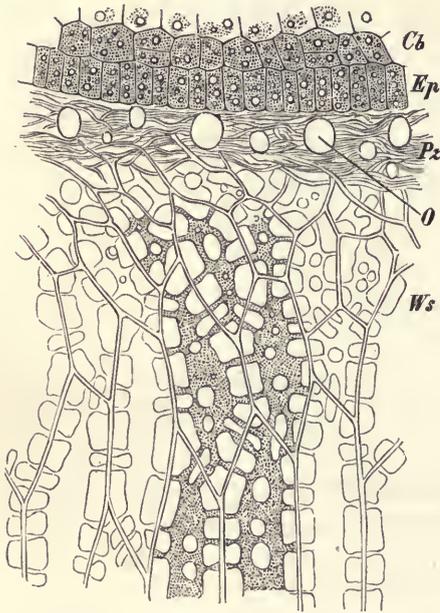


FIG. 456. Kleine Querschnittspartie aus dem Saugorgan des Dattelkeimes, welches mit dem hornigen Endosperm des Dattelfamens in Verbindung bleibt, nachdem der Keimling ausgetreten ist. *Ws*: die erweichte Schicht des Endosperms. *Ep*: die Epithelzellen des Keimes. *Cb*: die in Theilung begriffenen Zellen unter dem Epithel des Keimes. *O*: Oeltropfen. *Px*: die ausgefogenen und collabirten Zelhäute in der Grenze des Endosperms.

find: Myrrha (Balsamodendron), Benzoe (Styrax, Benzoin);

c) Harze im Zellsaft in größeren starklichtbrechenden Tropfen. Hierher gehört das Jalappaharz im Wurzelkörper des Convolvulus Schiedeanus. Im Weingeistauszug befindet sich ein Glucosid, das Convolvulin, welches sich mit Säure in Convolvulinöl und Zucker zersetzt;

d) Harze im Holz imbibirt. Alle Harze werden mehr oder weniger im Stammholz der harzföhrenden Bäume imbibirt. Besonders reichlich wird aus dem Quajakholz (Quajacum officinale Jamaica) ein Harz extrahirt, welches zwei Säuren enthält: Quajacilsäure $C_6H_8O_3$ und Quajakharzsaure $C_{24}H_{26}O_4$;

e) Balsame, welche im Grundgewebe der Rinde vertheilt, nicht in

Intercellularräume abgechieden, wohl aber in einzelnen Zellen in größeren Mengen angefammelt werden. *Myroxylon peruiferum*, ein Baum aus der Familie der Cæsalpinieen (Südamerika) und *M. toluiferum* enthalten aromatische Balsame, in welchen Zimmtsäure und Benzoësäure, sowie Aethylverbindungen dieser Säuren gelöst sind. Solche Gemenge werden in geringer Menge in der Rinde abgechieden. Dahin gehören, in Bezug auf die Vertheilung, jedenfalls auch die Balsame von *Copaifera* und *Liquidambar styraciflua*;

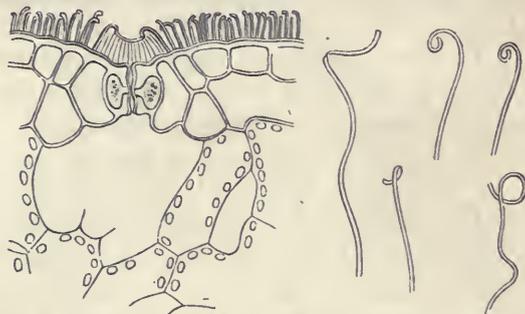


FIG. 457. Querschnittsparthie von der Unterseite des Blattes von *Strelitzia ovata*. Die Epidermis mit Wachsstäbchen besetzt. Daneben isolirte Wachsstäbchen vom Blatte der *Heliconia farinosa* (nach DE BARY, Bot. Ztg. 1871).

f) in Wasser quellbare klare Secrete in Intercellularräume ausgechieden. Hierzu gehören die Secrete in der Rinde der Araliaceen, Tiliaceen und Cycadeen (f. § 25, S. 226).

2. Aetherische Oele, Essenzen.

Diese zum Theil auch chemisch nicht genau gekannten Körper stimmen weder in ihrer Vertheilung noch in ihrer chemischen Constitution so überein, daß man sie in mehrere, nach der Constitution definirte Gruppen zusammenfassen könnte. Ihre Beziehung zur Ernährungsphysiologie ist unbekannt. Allgemeine Züge des Vorkommens sind diese: Die ätherischen Oele entstehen jedenfalls im Mesophyll des Blattes, diffundiren über die ganze Pflanze, verleihen dieser specifischen Geruch und Geschmack:

a) in Secretionsbehälter abgechieden werden die Essenzen der Auranthaceen, Hypericineen, Umbelliferen, Coniferen, Compositen, Rutaceen, z. Th. der Myrtaceen;

b) in allen Zellen der Pflanze mehr oder weniger reichlich vertheilt ohne Abfonderung in Intercellularräume sind die Essenzen der Liliaceen, Labiaten, aller wohlriechenden Blumen, Laurineen (Kampfer).

Die Chemiker unterscheiden in dieser Gruppe von Körpern sauerstofffreie und sauerstoffhaltige ätherische Oele.

I. Sauerstofffreie (Camphene, Terbene).

Terpentinöl $C_{10}H_{16}$. Dieser Kohlenwasserstoff wird durch Destillation aus dem Harz der Abietineen gewonnen, specifisches Gewicht 0,86, Siedepunkt 160° C., klare Flüssigkeit, in Wasser unlöslich (Ozonfammer).

Unter den Verbindungen des Terpentins sind zu nennen: der Terpentinkampfer, krySTALLINISCH $C_{10}H_{20}O_2 + H_2O$, Terpentinsölhydrat, $C_{10}H_{16} + H_2O$. Außerdem eine Verbindung mit ClH . Beim Kochen mit Salzfäure entstehen verschiedene Säuren: Essig-, Propion-, Butter-, Oxal-, Toluilsäure u. a. m.

Zu den Camphenen gehören die Essenzen der Aurantiaceen, Wachholderöl, Kampferöl u. a. m., welche aus den Harzen abdestillirt werden. Rosenöl, Essenzen aus Valeriana, Piper u. f. f.

II. Sauerstoffhaltige ätherische Oele.

Gemenge von solchen unter I und sauerstoffhaltigen Oelen. Bei der Destillation über Kali gehen letztere in eine Säure über, erstere destilliren unverändert.

Laurineen: Zimmtöl (Cinnamomum) in größeren Zellen der Rinde. Saffrasöl.

Umbelliferen: Cuminöl (Cuminum Cyminum) im Schizocarp in Interzellularräume abgeschieden. Fenchelöl (Foeniculum offic.); Kümmelöl (Carum carvi).

Zahlreiche ätherische Oele aus der Familie der Labiäten, der Compositen, der Myrtaceen.

3. Kampfer.

Diese flüchtigen Körper erstarren in krySTALLINISCHEN Massen bei niedriger Temperatur, sie sind in der Pflanze meist in ätherischen Oelen gelöst. Der Laurineenkampfer (Laurus Camphora), in allen Theilen der Pflanze enthalten, wird durch Sublimation gewonnen. $C_{10}H_{16}O$ krySTALLÄHNLICHE farblose Massen. Bei 175° Schmelzpunkt, 205° Siedepunkt. Specificches Gewicht 0,985. (Zahlreiche Verbindungen, s. organische Chemie.) Der Kampfer ist in der Rinde und den Blättern des in Treibhäusern gezogenen Baumes nicht in Interzellularräumen abgeschieden. Er ist gelöst im Kampferöl über alle parenchymatösen Gewebe in feinen Tröpfchen vertheilt. Stearoptene von ähnlicher Beschaffenheit finden sich noch in den ätherischen Oelen vieler Compositen, im Geraniumöl, im Pfeffermünzöl u. a. m.

4. Schwefelhaltige ätherische Oele, Senföl.

In den Samen von Sinapis alba und anderen Cruciferen kommt das flüchtige Senföl vor. Das Allylsenföl C_4H_5NS ist in den Senffamen nicht fertig gebildet. Es entsteht durch Gährung des myronsauren Kalium, bei der Behandlung der Samen mit Wasser unter dem Einfluß eines Fermentes des Myrosins der Chemiker. Hierbei zerfällt das myronsaure Kalium, dasselbe kann sich in Senföl, Zucker und doppeltschwefelsaures Kalium zersetzen.

Das Senföl wird destillirt. Die Senföle sind Verbindungen der Isofulfocyanäure mit verschiedenen Aethern, so das Methylsenföl $CSNCH_3$, Aethylenfenföl $CSNC_2H_5$, Butylenfenföl $CSNC_4H_9$ u. f. f. Das Senföl kann künstlich aus Allyljodid und fulfocyanfaurem Kali dargestellt werden:



5. Wachs¹⁾.

Das Wachs findet sich in allen Epidermen und im Kork imbibirt, in den Pollen der Blütenpflanzen, im Reif der Früchte, in den Drüsen der Birken in größeren Mengen abgechieden. Das Wachs ist im chemischen Sinne ein Gemenge der Alkoholverbindungen mehrerer fester Fettsäuren. In Wasser unlöslich, fettige Textur, höherer Schmelzpunkt wie die gewöhnlichen Fette, löslich in Aether und ätherischen wie fetten Oelen und Fetten. VON DE BARY wurde der Reif der Epidermen der Früchte untersucht; das Wachs wird in zierlichen Schuppen und Fäden, welche in Aether löslich sind, Fig. 456, an den Epidermen abgechieden.

Die Wachsorten sind Gemenge von Alkoholen und Aetherarten der höheren festen Fettsäuren mit freien Fettsäuren (Palmitinsäure, Cerotinsäure z. B.).

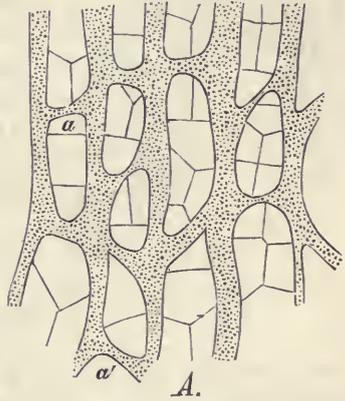


FIG. 458. Scorconera. Milchsaftanastomosen der Rinde. *a a'* die Anastomosen von einer zur andern Röhre.

6. Milchsäfte²⁾.

Die getrockneten Milchsäfte, welche zu technischer oder medicinischer Verwendung in den Handel kommen, sind zum Theil von den Chemikern zu den Harzsecreten gerechnet.

In unserm Sinne sind die Milchsäfte diejenigen Secrete, welche in ein System von Röhren abgechieden werden. Diese communiciren miteinander im Innern der Rinde, des Markes, des Mesophylles, ähnlich dem capillaren Blutgefäßsystem. Die Milchsaftzellen entstehen ursprünglich als Zellenelemente des Bastes der Gefäßbündel. Sie wachsen aber

¹⁾ Dr. TH. HARTIG, Ein Stearopten aus Juniperus virginiana. Bot. Ztg. 53. S. 519. Beobachtungen über die Wachsüberzüge der Epidermis. 769. Bot. Ztg. 71. — A. DE BARY, Ueber die Wachsüberzüge der Epidermis. 128. 145. 161. 566. 573. 589. 605. Bot. Ztg. 71. — Dr. J. WIESNER, Ueber die krystallinische Beschaffenheit der geformten Wachsüberzüge pflanzlicher Oberhäute. 225. Bot. Ztg. 76.

²⁾ Dr. A. WEISS und Dr. J. WIESNER, Beiträge zur Kenntniß der chemischen und physikalischen Natur des Milchsaftes der Pflanzen. 125. Bot. Ztg. 62.

während der Streckung der Organe, fenden feitliche Zweige aus, welche endlich einmünden in benachbarte Milchfaftgefäße. So entsteht ein capilares Gefäßsystem, Fig. 458, 459, welches, unter dem Druck des expansiven Parenchyms stehend, feinen Inhalt aus einem kleinen Einschnitt nach außen ergießt. Der Milchfaft ist eine Emulsion von Kautschuk und harzartigen Körpern in Wasser,

in welchem jedenfalls schleimige oder gummiartige Körper gelöst sind. Außer diesen enthält er die zum Theil giftigen Alkaloide, so bei den Euphorbiaceen, Papaveraceen, Strichneen, Apocyneen, Asklepiadeen, Convolvulaceen u. a. m. Auch die Hartharze, der Gummilack, Gummigutt der Urticaceen, *Ficus indica*, *elastica* und *Isonandra gutta* gehören hierher. Das Kautschuk und die Guttapercha entstehen dadurch, daß die emulgirten, in sehr feinen Tröpfchen vertheilten Massen dieser Körper an der Luft zusammenfließen. Die Milch gerinnt zu fadenziehenden Massen, welche geruch- und geschmacklos, zähelastisch, farblos (das in den Handel kommende ist durch Ruß gefchwärzt), in Wasser, Alkohol, Aether unlöslich, löslich in Benzin, Chloroform, Terpentinöl und Theer sind. Es schmilzt bei 120° C. Geringe Mengen des Kautschuks kommen in allen Milchäften vor.

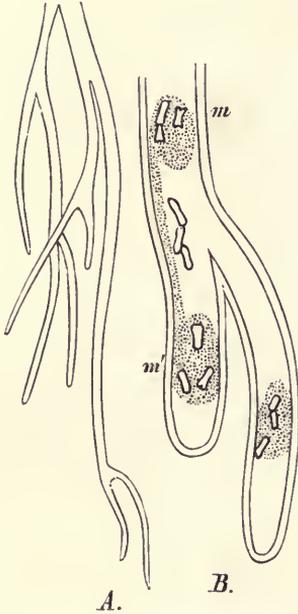


FIG. 459. A. Milchsaftzellen von *Euphorbia splendens*. B. ebenso von *Euphorbia canariensis*, stärker vergrößert.

7. Organische Säuren (Salze der organischen Säuren¹⁾.)

a) Oxalsäure $C_2H_2O_4$.

Als krySTALLINISCHER Niederfchlagskörper kommt in der Pflanze nur der oxalsäure Kalk vor. Die Oxalsäure ist in Wasser, Alkohol löslich, kommt in der Pflanze in Form löslicher Ammon-, Kali- und Natronsalze allgemein vor. Das Kalksalz ist schwer löslich und wird krySTALLINISCH niedergefchlagen in Form von EinzelkrySTALLen, im Grundgewebe der Cacteen, f. auch Fig. 462, in morgensternförmigen Kugeln von KrySTALLen, an welchen nur die Pyra-

¹⁾ SANIO, Ueber die in der Rinde dicotyler Holzgewächse vorkommenden Niederfchläge von kleeaufaurem Kalk. 1857. Monatsber. d. K. Ac. d. Wissenfch. April. — S. ROSANOFF, Ueber KrySTALLdrufen in den Pflanzenzellen. 41. Botan. Ztg. 67. — G. HILGERS, Ueber das Auftreten der KrySTALLe von oxalsäurem Kalk im Parenchym einiger Monocotylen. S. 285. PRINGSH. Jahrb. Bd. VI. 1867—68. — H. Graf zu SOLMS-LAUBACH, Ueber einige geformte Vorkommnisse oxalsäuren Kalkes in lebenden Zellmembranen. 509. 525. 541. Bot. Ztg. 71.

midenendflächen gut ausgebildet sind, in der Mehrzahl der Rinden der Laubbäume, Fig. 460 B, in flachen, tafelförmigen Kry stallen bei den Abietineen, in Raphiden (es sind dieß Büschel einander parallel geordneter, nadelförmiger Säulen, welche größere Zellen des Grundgewebes erfüllen, Fig. 462),

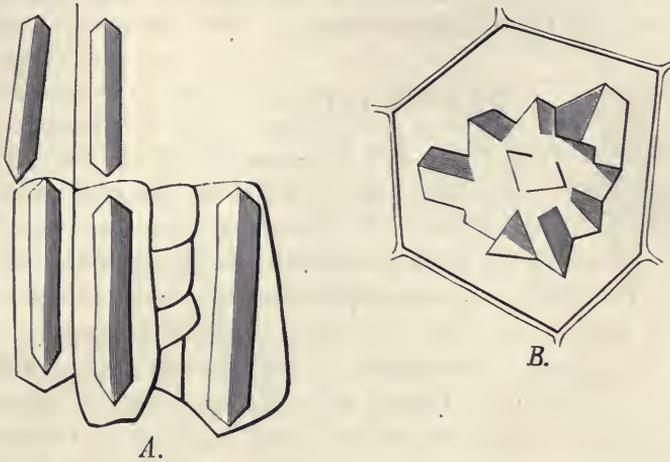


FIG. 460. A. Einzelkryttalle (Gyps) in der Rinde von Quajacum officinale. B. Kryttallgruppe aus dem Rindenparenchym der Cuffonia spicata.

in allen saftigen, vegetativen Geweben der höheren Pflanzen. Als faurer Saft findet sich diese Säure in den Rumex-, Oxalis-, Rheumarten in allen Theilen. Die Oxalsäure zerfetzt sich beim Erhitzen zuerst in Ameisensäure, zuletzt in Kohlenoxyd und Wasser:



Umgekehrt kann durch Oxydation der meisten C, H, O-Verbindungen, aber auch aus Kohlenfäure, durch Reduction mittelst Natrium, Oxalsäure erhalten werden.

Auffällige Verbindungen der Oxalsäure sind der oxalsaure Methyläther $C_2(CH_3)O_4$ und der Aethyloxalsäureäther $C_2(C_2H_5)O_4$.

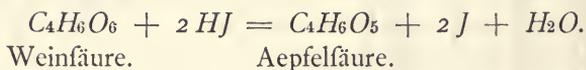
Die Oxalsäurefalte diffundiren vom Blatte rückwärts, erreichen dabei einen Vorsprung vor den Kohlehydraten. Durch vergleichende Untersuchungen über die Translocation der Affimilationsproducte im Baume wurde (Botanische Untersuchungen I., S. 182) festgestellt, daß der oxalsaure Kalk mehrere Wochen vor dem Amylum in dem Stamm ankommt. Nach SOLMSLAUBACH scheiden sich Kryttällchen von oxalsaurem Kalk aus im Holz des Juniperus virginiana, und nach DE BARY in den Sclerenchymzellen der Welwitfchia, Fig. 461. Auch in den Epidermen zahlreicher Pflanzen wird daselbe Salz vermöge feiner Diffusibilität eingelagert und in außerordent-

lich feinen, zahlreichen Kryftällchen niedergefchlagen, Fig. 463. In dem Marke von *Kerria japonica* lagern ſich die Kryftalle an Zellstoffbalken, welche quer durch das Lumen der Zelle gefpannt ſind, Fig. 464.

In der Nähe der leitenden Gewebe der Blattſtielen, aber auch in den Zweig- und Stammrinden finden ſich reihenweiſe geordnete Zellen, jede mit einem Kryftall (Kryftallſchläuche).

b) Dreibaſiſche Säuren.

Die Aepfelfäure iſt in den Früchten der Pomaceen (*Sorbus aucuparia*) am reichſten. Die Salze ſind meiſt löslich. Sie kann aus Weinfäure bei Behandlung mit *JH* erhalten werden:



Durch Verluſt von 1 Molecul H_2O entſteht Fumarſäure.

Die Löſung dreht das polarifirte Licht nach links. Bei der Oxydation zerfällt ſie in Oxalſäure. Durch Reduction geht ſie in Bernſteinfäure über. In den Pflanzenſäften iſt ſie ſtets gelöſt; ſie kann aus Aſparagin dargestellt werden.

a) Rechtsweinfäure $C_4H_6O_6$, rechtsdrehend, in *HO* und C_2H_5O löslich, geht bei der Behandlung mit *JH* in Aepfel- und Bernſteinfäure, durch Fermente in Linkſweinfäure über.

b) Traubenſäure mit der Weinfäure iſomer, optiſch unwirksam.

c) Linkſweinfäure dreht nach links, hemiedriſche entgegengeſetzte Ausbildung der Kryſtallendflächen zu a) Rechtsweinfäure.

c) Fettſäurereihe.

Dieſe Säuren kommen in der Pflanze in Form von löslichen Salzen und in den Fetten und fetten Oelen vor. Im freien Zuſtande ſind bekannt die Ameiſenſäure in den Nadeln der Abietineen, in den Brennhaaren der Urticeen, die Propionſäure in unreifen Weinbeeren.

Ameiſenſäure	$C_2H_2O_2$	in den Nadeln der Abietineen, Urticeenhaar.
Eſſigſäure . .	$C_2H_4O_2$	aus Alkohol, <i>Mycoderma aceti</i> .
Propionſäure	$C_3H_6O_2$	in unreifen Weinbeeren.
Butterſäure .	$C_4H_8O_2$	bei der Gährung der Früchte und der Blätter.
Valerianſäure	$C_5H_{10}O_2$	im Rhizom von Valeriana.
Capronſäure .	$C_6H_{12}O_2$	im Cocosöl, in der Frucht von Gingko u. a. m.
Caprylſäure .	$C_8H_{16}O_2$	im Fufelöl des Weines, im Arnicarhizom.
Pelargonſäure	$C_9H_{18}O_2$	in den Geranien-Blüthen und Blättern.
Caprinſäure .	$C_{10}H_{20}O_2$	im Cocosnußöl.

Die höheren Glieder der Reihe als Glyceride im fetten Oel (f. Fette und fette Oele).

d) Die aromatischen Säuren (Benzoë Säure, Toluylsäure, Cumin Säure).

Diese Säuren sind nicht allgemein verbreitet, wesentlich von chemischem Interesse.

Die Benzoë Säure im Benzoëharz durch Sublimation gewonnen, ist fest, krystallinisch, $C_7H_6O_2$, schmilzt bei $121^{\circ} C.$, siedet bei $249^{\circ} C.$ Synthetisch aus dem Bittermandelöl herstellbar. Sie kann auch aus mehreren Kohlenwasserstoffen erhalten werden.

Bei der Behandlung des Bittermandelöles mit Kalihydrat entsteht Benzylalkohol und benzoësaures Kalium:



Cumin Säure $C_{10}H_{12}O_2$ aus dem Cuminol im ätherischen Oel von Cuminum durch Einwirkung von Kalihydrat dargestellt.

Zahlreiche Verbindungen sind von den aromatischen Säuren bekannt, welche indeß bis jetzt ein geringes pflanzenphysiologisches Interesse bieten (f. organische Chemie).

8. Anorganische Salze¹⁾.

Außer dem kohlenfauren Kalk in den Cyfolithen der Urticaceen kommt es selten zur Abcheidung krystallisirter Massen. Der kohlenfaure Kalk krystallisirt in den Plasmodien der Mixomyceten. Schwefelfaurer Kalk kommt in Einzelkrystallen in der Quajakrinde vor, Fig. 460 A. Sonst sind die anorganischen Salze in molecularer Vertheilung, wie das Aschen skelett beweist (f. oben S. 409).

9. Alkaloide²⁾.

Alkaloide sind meist in minimaler Menge in den Pflanzentheilen vorkommende krystallisirbare oder flüchtig destillirbare, flüssige, alkalisch rea-

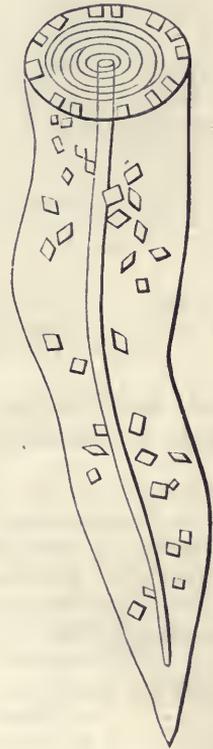


FIG. 461. Sclerenchymfaser aus dem Stamm der *Welwitschia mirabilis* (DE BARY, a. a. O. S. 140).

¹⁾ S. ROSANOFF, Ueber Kiefelsäureablagerungen in einigen Pflanzen. 749. 765. Bot. Ztg. 71.

²⁾ A. WIGAND, Ueber den Sitz der China-Alkaloide. 137. Bot. Ztg. 62. — Prof. WILH. WICKE, Beobachtungen an *Chenopodium vulvaria* über die Ausscheidung von Tri-

girende, mit Säuren Salz bildende Körper. Hinsichtlich ihrer Vertheilung ist zu bemerken, daß sie über die ganze Pflanze vorkommen, reichlicher aber in bestimmten Theilen, oder im Milchsaft abgetrennt werden. So kommt das Morphin (und die Alkaloide des Opium) wohl in der ganzen Mohnpflanze, am reichsten aber im Milchsaft gelöst, das Chinin in den Cinchoneen, vorzugsweise in alten Rinden, Coffein in der ganzen Thee- und Kaffeeepflanze, in letzterer aber reichlicher im Samen, in ersterer reichlicher im Blatte, vor. Ursprünglich waren diese Körper jedenfalls alle gelöst im Zellsafte. In trocknenden Geweben wie die ältere Rinde, das Gewebe der Endosperme der Samen- und Fruchtschale und anderer mehr wird die Lösung in der Zellwand imbibirt, und es haften dort die Salze ähnlich den Pigmenten mehr oder weniger fest

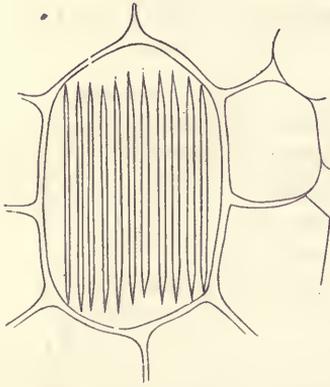


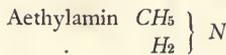
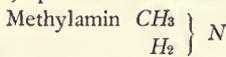
FIG. 462. *Dracæna*. Raphide in dem Parenchymgewebe der Rinde.

gegenüber den künstlich angewandten Lösungsmitteln; namentlich wenn die Alkaloide mit Gerbfäure verbunden sind. Die Bedeutung der Alkaloide in den Ernährungsvorgängen der Pflanze ist unbekannt¹⁾.

methyamin. 393. Bot. Ztg. 62. — N. J. C. MÜLLER, Unterf. über den Sitz der Alkaloide in der Cinchonarinde. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. S. 238. 1866—67. — Dr. W. PFEFFER, Hesperidin, ein Bestandtheil einiger Hesperideen. 529. Botan. Ztg. 74. — KELLERMANN, Asparagin aus *Althæawurzel* und *Scorzonerä*. 381. Bot. Ztg. 74. — E. v. GORUP-BESANEZ, Weitere Mittheilung über das Auftreten von Leucin neben Asparagin während des Keimprocesses der Wicken. 379. Bot. Ztg. 74.

¹⁾ Die Alkaloide schließen sich an die auf synthetischem Wege von den organischen Chemikern hergestellten Aminbasen an:

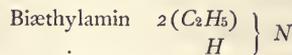
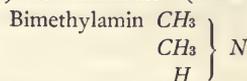
a) primäre Aminbasen.



·
·
·

Caprylamin $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{N}$;

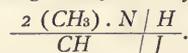
b) sec. Aminbasen (Imidbasen).



·
·
·

c) tertiäre Aminbasen, z. B. $3(\text{C}_2\text{H}_5)\text{N}$, Trimethylamin, in dem nach Heringen riechenden Kraut von *Chenopodium vulvaria*.

Diese werden durch Einwirkung von Jodmethyl, Bimethylamin gewonnen:



Eine secundäre Aminbase ist das Coniin.

Die Chemiker unterscheiden *Ofreie* und *Ohaltige* Alkaloide. Die ersteren sind flüchtig und im condensirten Zustande meist flüchtig. Letztere sind nicht flüchtig und meist krySTALLISIRBAR.

a) Sauerstofffreie Alkaloide, Aminbasen.

Nicotin $C_{10}H_{14}N_2$ in den Blättern der *Nicotiana* (2—7^o/₁₀). Die Blätter werden mit verdünnter Schwefelsäure ausgezogen, die Lösung mit *KHO* übersättigt, das Alkaloid abdestillirt. Es siedet bei 250^o und ist eine wasserklare Flüssigkeit (charakteristische Verbindung mit Platinchlorid, siehe organ. Chemie).

Coniin $C_8H_{15}N$ in der ganzen Pflanze des Schierlings, am reichlichsten in den Samen, wird gewonnen durch Destillation der Pflanzentheile mit *KHO*-Lösung. Es ist eine farblose ölige Flüssigkeit, specifisches Gewicht 0,89. Neben diesem kommt in *Conium maculatum* noch Conhydrin $C_8H_{17}NO$ vor.

Sparteïn $C_{15}H_{26}N_2$ aus den Blättern und Früchten von *Sarothamnus scoparius* durch Destillation erhalten. Die krySTALLINISCHEN Salze enthalten zwei Molecule der Säure.

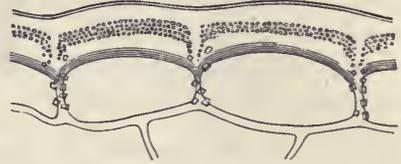


FIG. 463. KrySTALLE von oxalsaurem Kalk in der Epidermis von *Sempervivum calcaureum* (nach SOLMS-LAUBACH).

b) Sauerstoffhaltige, nichtflüchtige Alkaloide
(z. Th. Ammoniumbasen).

Specifische Verbindungen in gewissen Pflanzenfamilien:

1^o Ranunculaceen: Delphinin $C_{24}H_{35}NO_2$, Samen des *Delphinium Staphis agria*;

2^o Solaneen: Atropin $C_{17}H_{23}NO_3$ in allen Theilen, reichlich in den Wurzeln der *Atropa belladonna*. KrySTALLISIRT in feinen Prismen, sehr giftig. Bewirkt die Erweiterung der Pupille;

3^o Strichneen: Strichnin $C_{21}H_{22}N_2O_2$ aus dem Endosperm der Samen von

Strichnos nux vomica, starkes Gift. Brucin $C_{23}H_{26}N_2O_2 + 4H_2O$, in den Rinden einiger Strichnosarten. Curarin $C_{10}H_{15}N$? ein Pfeilgift, Curare, der Javanesen;

4^o die Cinchoneen der Cordilleren Süd-Amerikas enthalten in ihren

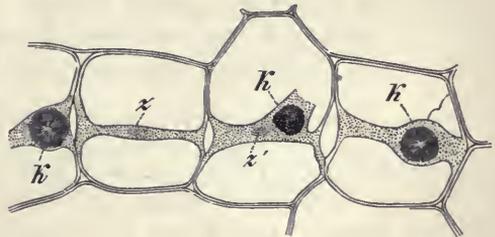


FIG. 464. Ueber die KrySTALLDRUSEN im Marke von *Kerria japonica*. z Zellstoffbalken. K Drusen. z' verzweigter Zellstoffbalken.

Blättern, reichlicher im Bastparenchym der Stammrinden, mehrere dort mit Gerbfäure verbundene Alkaloide, welche durch Auswaschen der Gewebe mit verdünnter SO_4H , Fällern mit $MgCO_3$ gewonnen werden (s. organische Chemie). Chinin $C_{20}H_{24}N_2O_2$ gut krySTALLISIRBARE Salze mit den anorganischen Säuren. Cinchonin

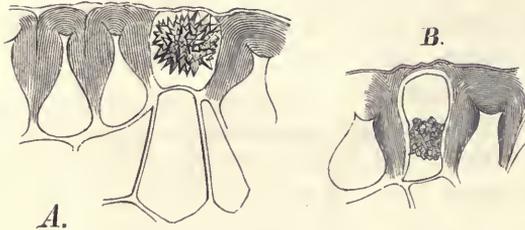


FIG. 465. *Encephalartos Altensteinii*. Epidermiszellen mit KrySTALLDRUSEN (ROSANOFF, Bot. Ztg. 1868).

$C_{20}H_{24}N_2O_1$ schwerer löslich in Aether wie Chinin. (Chinidin $C_{20}H_{24}N_2O_2 + 2H_2O$, Cinchonidin $C_{20}H_{24}N_2O$);

5° Papaveraceen.

Der eingedickte Milchsaft des Papaver somniferum enthält alle Alkaloide, welche

ursprünglich in wässriger Lösung mit emulgirtem Kautschuk und Pflanzenschleim befindlich waren. Diese sind: Morphin $C_{17}H_{19}NO_3 + H_2O$ krySTALLISIRT, in Wasser schwer, in Alkohol leicht löslich und die Salze in Wasser leichter löslich. Narcotin $C_{22}H_{23}NO_7$, Narceïn $C_{23}H_{29}NO_9$, Papaverin $C_{20}H_{21}NO_4$, Thebain $C_{19}H_{21}NO_3$ u. a. m.;

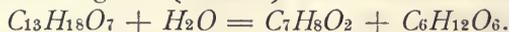
6° Colchicaceen: Veratrin $C_{32}H_{52}N_2O_8$ aus den Früchten des *Veratrum Sabadilla* und in den Rhizomen der *Veratrum*arten. Colchicin $C_{17}H_{10}NO_3$ in allen Theilen, reichlicher in Samen und Knollen von *Colchicum autumnale*.

10. Glucoside.

Diese zum Theil von den Chemikern selbst wenig gekannten Körper kommen jedenfalls ursprünglich im Grundgewebe der Rinde, der Blätter und Früchte gelöst vor. Später werden sie wie die Alkaloide zum Theil in die Membranen imbibirt. Sie zersetzen sich unter dem Einfluß von Säuren, Alkalien und Fermenten, indem sie unter Aufnahme von Wasser in Zucker und einen anderen Körper zerfallen. Dieser kann sein eine Säure oder eine indifferente krySTALLISIRBARE oder amorphe, Nhaltige oder Nfreie Verbindung.

a) Stickstofffreie Glucoside.

1° Salicin $C_{13}H_{18}O_7$, aus den Weidenrinden durch wässrigen Auszug gewonnen, krySTALLISIRT in feinen, bei $198^{\circ} C$. schmelzbaren, in heißem Wasser löslichen Nadeln; spaltet sich unter dem Einfluß des Speichelfermentes in Traubenzucker und Saligenin ($C_7H_8O_2$) nach dieser Formel:



Bei der Behandlung mit Schwefelsäure entsteht Saliretin und Zucker.

2° Populin $C_{20}H_{22}O_8$. In der Rinde der Pappeln; synthetisch dargestellt aus Benzolchlorid und Benzoesäureanhydrit. Das Populin zerfällt

bei der Behandlung mit Barythydrat in Benzoësäure ($C_7H_6O_2$) und Salicin;

3^o Arbutin $C_{12}H_{16}O_7 + 2H_2O$ in den Blättern des *Arbutus uva ursi*;

4^o Phloridzin $C_{21}H_{24}O_{10} + 2H_2O$ in den Rinden der Pomaceen und Amygdaleen;

5^o Frangulin $C_{20}H_{20}O_{10}$ in der Rinde des *Rhamnus Frangula*, krySTALLIFIRT, bei 260^o C. schmelzbar, zersetzt sich durch Säuren in Frangulinsäure ($C_{14}H_{10}O_5$) und Zucker;

6^o Aesculin $C_{21}H_{24}O_{13}$ aus der Rinde der Roßkastanie. Die wässrige Lösung gelbbraun mit ausgezeichnetem Dichroismus (oder grünem Fluorescenzlicht). Verdünnte Säuren zerlegen es in Aesculetin und Zucker;

7^o Rubierythrin säure $C_{26}H_{28}O_{14}$ in der Wurzel (Rhizom) von *Rubia tinctorum*, zerfällt durch Einwirkung von Fermenten in Zucker und Alizarin. Das Alizarin $C_{14}H_8O_4$, ein rothes Pigment, hat sich an der alten Krappwurzel bereits gebildet;

8^o Quercitrin $C_{33}H_{30}O_{17}$ krySTALLIFIRT in gelben KrySTALLCHEN aus der Rinde von *Quercus tinctoria*;

9^o Carminsäure $C_{17}H_{18}O_{10}$ in manchen Blüthen, im Farbstoff der Cochenille (*Coccus cacti*), spaltet sich beim Behandeln mit Säuren in Carminroth $C_{11}H_{12}O_7$ und Zucker;

10^o Convolvulin $C_{31}H_{50}O_{16}$ in der Jalappenwurzel, Jalappin $C_{34}H_{56}O_{16}$ im Rhizom von *Convolvulus orizabensis*;

11^o Digitalin $C_{37}H_{45}O_{15}$ in den Blättern der *Digitalis purpurea* (f. organ. Chemie).

b) Stickstoffhaltige Glucoside.

Unter diesen sind die wichtigeren das Solanin $C_{43}H_{71}NO_{16}$ in den Solanumarten (Kartoffel), Amygdalin $C_{21}H_{27}NO_{11} + 3H_2O$ in Blättern und Samen der Amygdaleen (bittere Mandeln). Das letztere hat besonderes Interesse. Durch Ausziehen der entölten Samen mit kochendem Alkohol gewonnen. Bei der Fermentation mit den im Samen vorkommenden Körpern (Emulfin) zersetzt es sich in Bittermandelöl, Blausäure und Zucker



Myronsäure $C_{16}H_{19}NS_2O_{10}$. Dieser interessante Körper in den Senffamen zerfällt bei der Behandlung mit Kalium in Senföl C_4H_5NS , Zucker und doppeltschwefelsaures Kali.

11. Pigmente¹⁾.

Die chemische Constitution der Farbkörper ist, mit Ausnahme weniger, Anilin, Alizarin, nicht aufgeklärt. Die Mehrzahl kommt in ver-

¹⁾ B. FRANK, Fluorescenzerscheinungen als Ursache der Färbungen von Pflanzentheilen. 405. — ROSANOFF, *Notices sur le pigment rouge des floridées et son rôle physiologique*. — N. J. C. MÜLLER, Handbuch I. 1.

schwindend kleiner Menge in der Pflanze vor. Hinsichtlich ihrer Entstehung hat man gefunden, daß das grüne Pigment, Chlorophyll (siehe S. 491 ff.), ohne den Einfluß des Lichtes (mit Ausnahme der Abietineenkeimlinge und der Farrenprothallien) nicht gebildet wird. Die große Mehrzahl der Blütenfarbstoffe aber wird auch im Dunkeln gebildet. SACHS brachte über den Blütenknospen Papprecipienten an, in welchen die Knospen sich zur Blüthe entfalteteten. Die Blüten zeigten die normale Farbe. Wurden in diesem Versuche die Laubblätter von den Pflanzen abgeschnitten, so unterblieb die Bildung der Blütenfarben.

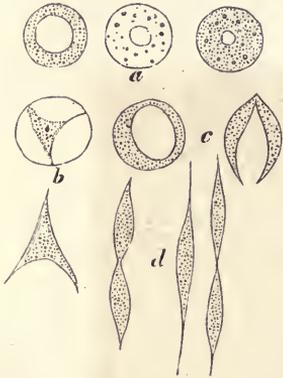


FIG. 466. G. KRAUS, PRINGSH. Jahrb. VIII. Bd., Taf. 10. Entstehung der Farbstoffkörper in den Beeren von Solanum pseudocapsicum. Die grüne Beere enthält Chlorophyllkörper, welche sich allmählig in ein orangefarbenes Pigment umwandeln, die kuglichen Chlorophyllkörper *a* färben sich allmählig gelb und differenzieren sich, indem z. Th. farblose Vacuolen auftreten, als spindelförmige Plasmakörper von gelber Farbe *c d*.

Nach der histologischen Vertheilung kann man die Pigmente in dieser Weise gruppieren:

a) Das Pigment ist an das Protoplasma gebunden, dort in minimalen Mengen (wahrscheinlich im fetten Oel) gelöst. Die Färbung der Gewebe ist, wenn die Plasmakörper im farblosen Zellsaft differenzirt sind, discontinuirlich.

1^o Chlorophyll (f. oben S. 491), in Wasser unlöslich;

2^o Phycoerythrin, ein rothes Pigment in den Florideen, in Wasser löslich, wird durch Kali und Ammoniak olivengrün. In den zum Theil prachtvoll roth gefärbten Florideen findet sich ein grünes, in Alkohol lösliches Pigment, dessen Absorptionsspectrum in Fig. 467 nach PRINGSHEIM dargestellt ist. Dieses Pigment wurde von den früheren Forschern KÜTZING, COHN, ROSANOFF als identisch mit dem Chlorophyll angesehen. PRINGSHEIM zeigt, daß es eine Modification desselben ist und sich durch eine geringere Extinction in den Bändern *I, II, III*, durch eine etwas größere in den Bändern *IV bis VII* unterscheidet. Das Florideenroth, Phycoerythrin, ist eine Modi-

logique. Comptes rendus. 9 Avril 1866. Zur Morphologie der Pflanzenfarbstoffe. 720. Bot. Ztg. 70. — G. KRAUS, Die Entstehung der Farbstoffkörper in den Beeren von Solanum pseudocapsicum. 131. PRINGSH. Jahrb. VIII. — J. REINKE, Beitrag zur Kenntniß des Phycoxanthin. PRINGSH. Jahrb. Bd. X. S. 399. — NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroskop. 1. Aufl. S. 495. Leipzig. Engelmann. 1867. — ED. BORSCHOW, Notiz über den Polychroismus einer alkoholischen Cyaninlösung. 351. Bot. Ztg. 75. — F. HILDEBRAND, Anatomische Untersuchungen über die Farben der Blüten. PRINGSH. Jahrb. Bd. III. S. 59. — Dr. J. SACHS, Wirkung des Lichts auf die Blütenbildung unter Vermittelung der Laubblätter. 117. 25. 33. — Dr. JUL. WIESNER, Einige Beobachtungen über Gerb- und Farbstoffe der Blumenblätter. 389. Bot. Ztg. 62.

fication des Florideengrüns; dieß erhellt aus der Coincidenz der Absoptionsstreifen, Fig. 468. Es ist durch die Löslichkeit in Wasser, die Unlöslichkeit in Alkohol von ersterem unterschieden. Beide unterscheiden sich von dem Phanerogamenchlorophyll durch einen zwischen *III* und *IV* (des letzteren) belegenen Streifen *IV a* und durch eine Verschiebung des Bandes *III*;

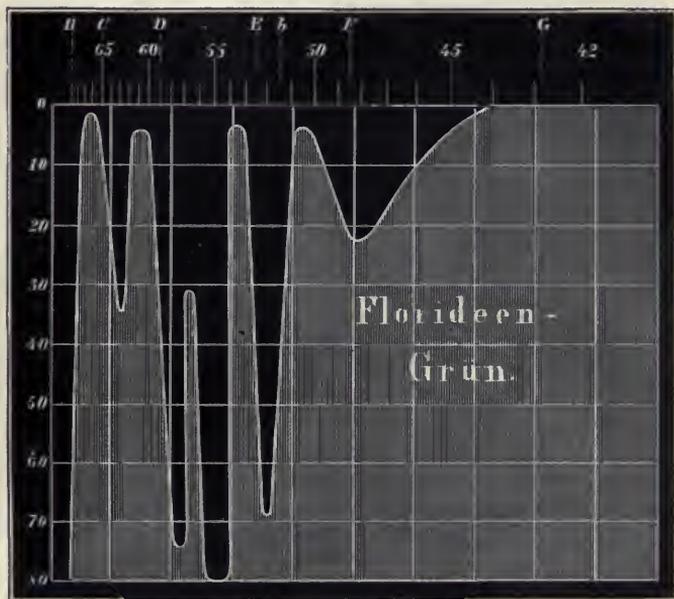


FIG. 467. Absoptionspectrum des Florideengrüns nach PRINGSHEIM. In der Figur sind außer den FRAUNHOFER'schen Linien die Wellenlängen in der Abwärtsrichtung in hunderttauseudtel eines Millimeters angegeben. Die Ordinatenrichtung bedeutet die optische Concentration.

3^o Diatomin, ein braungelbes Pigment in dem Plasma der Diatomeen, wird durch Alkalien grün gefärbt;

4^o Anthoxanthin im Gelb der Compositenblüthen wird durch Schwefelsäure blau gefärbt (f. oben S. 507);

5^o Xanthophyll (Phylloxanthin Frémy), der gelbe Bestandtheil des Blattgrünes, soll identisch sein mit dem Gelb der Herbstblätter (f. oben S. 506);

6^o ein gelbrothes Pigment in den Früchten von Solanum Lycopersicum.

b) Das Pigment ist in dem Wasser des Zellfastes gelöst. Die Färbung ist daher continuirlich. Hierher gehören die rothen, violetten, blauen Pigmente (Erythrophyll, Anthocyan), welche in verschwindend kleiner Menge in den Blütenblättern vorkommen. Die verschiedenen Nuancen der Farbe,

das Roth des Papaver, der Rose, das Blau der Campanula, das Violett der Viola und das Tiefblau der Gentianen sind jedenfalls einerseits verschiedene Concentrationen, andererseits vielleicht verschiedene Zustände eines oder weniger Pigmente, welche, je nachdem sie in saurer oder alkalischer Lösung befindlich sind, nach dem Roth oder Blau hinneigen. Das Blau vieler Blüten wird bei der Behandlung mit Säuren ähnlich dem Lackmus-

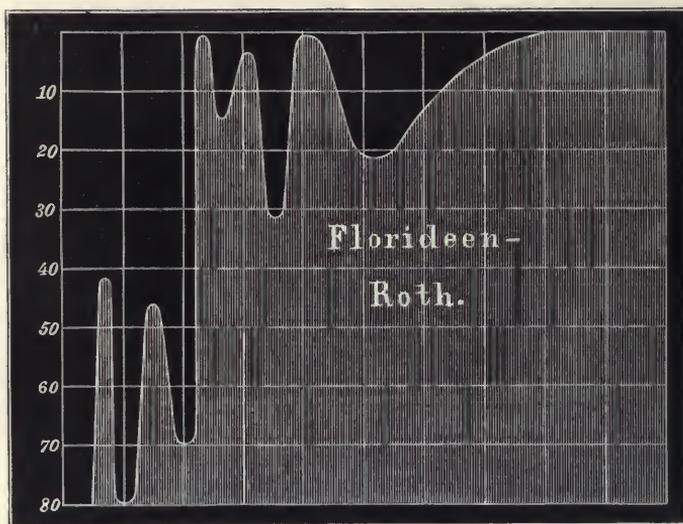


FIG. 468. Absorptionsspectrum des Florideenrothes, nach PRINGSHEIM. (Zur Erklärung siehe die früheren Figuren S. 563.)

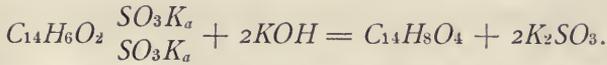
pigment in Roth übergeführt. Das Roth der Rosen und anderer Blüten geht bei der Behandlung mit Alkalien in Violett, Blau und Grün über. Einen geformten Plasmakörper mit blauem Pigment fand HILDEBRANDT bei *Tillandfia amœna* und *Strelitzia*.

c) Pigmente, welche ursprünglich im Zellsaft zum Theil in farblosen Verbindungen gelöst waren, später in die Zellhaut imbibirt werden:

1° Farbstoff der *Rubia tinctorum*, in Lösung gelb, durch Oxydation roth, purpurn mit Säuren, mit Alkalien wieder gelb. Das Alizarin ist in den Rhizomen der *Rubia tinctorum* als ein farbloses Glucosid enthalten; nach dem Tod der Pflanzen erst zersetzt sich dieses in Zucker und Alizarin. Man hat in der Krappwurzel zwei chemisch gut gekannte Verbindungen gefunden:

α) Alizarin, Dioxyanthrachinon $C_{14}H_8O_4$.

Dieser Körper wird jetzt künstlich durch Einwirkung von Kalihydrat auf anthrachinondisulfonsaures Kali erhalten:



In der Krappwurzel ist diese Verbindung als Ruberythrin säure enthalten.

β) Purpurin $C_{14}H_8O_5$ wird aus der Krappwurzel durch Alaunlösung, in welcher das Alizarin unlöslich ist, ausgezogen;

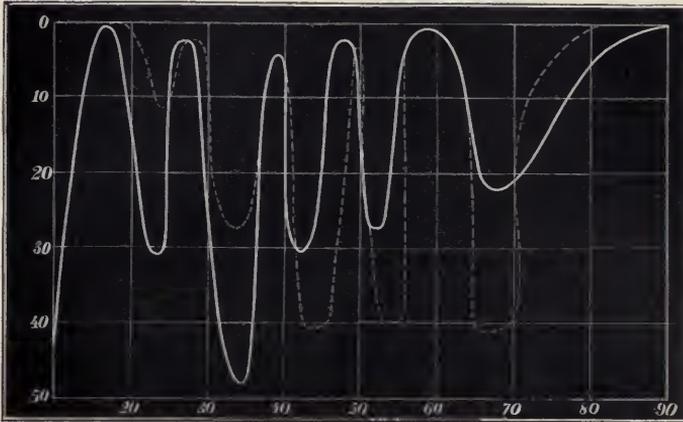


FIG. 469. Die stark ausgezogene Curve ist die Absorption des Phylloxanthin, die schwach punctirte diejenige des Chlorophyllin (nach TIMIRJASEFF).

2° Farbstoffe der Curcumarhizome in Alkalien gelbbraun, mit Säuren gelb gefärbt, entstehen jedenfalls auch erst, nachdem das Rhizom der Curcuma getödtet ist. Das Pigment ist in Aether und Benzol löslich und krystallisirt in orthorhombischen Säulen. Die Chemiker nennen dieses als Reagens dienende Pigment Curcumin $C_{10}H_{10}O_3$;

3° die Farbstoffe der Hölzer. Fast alle Bäume bilden im Kernholz Farbstoffe, welche in den Zellwänden des Holzes imbibirt sind. Reichliche Ablagerungen solcher finden sich im Blauholz (Campecheholz) des Hæmatoxylin Campechianum. Der Farbkörper ist in Aether löslich, krystallisirt in gelben Prismen. Mit Ammoniak geht dieses Hæmatoxylin $C_{16}H_{14}O_6 + 3H_2O$ eine Verbindung ein von rother Farbe: das Hæmateinammoniak $C_{16}H_{12}O_6, 2NH_3$.

Ein ähnliches Pigment kommt im Fernambukholz vor;

4° das Pigment, welches unter dem Namen Lackmus in wässeriger Lösung, mit Alkalien blau, mit Säuren roth als Reagens in der Alkalimetrie Anwendung findet, stammt aus den Gonimonzellen der Roccella, einer Flechte. Es ist ein Zeretzungsprodukt des Chlorophylls dieser Flechte;

5° der Indigo ist in dem Saft der Indigoferaarten, aber auch in einigen Cruciferen und Polygoneen als farblose Verbindung (wahrschein-

lich ein Glucofid) enthalten. Der Saft setzt bei Berührung mit der atmosphärischen Luft den Indigo ab.

Das Indigblau $C_{16}H_{10}N_2O$ wird durch Sublimation gewonnen. Es ist fest, krystallinisch, unlöslich in Wasser, Alkohol, Aether; löslich in Terpentin, Paraffin, Petroleum, Chloroform.

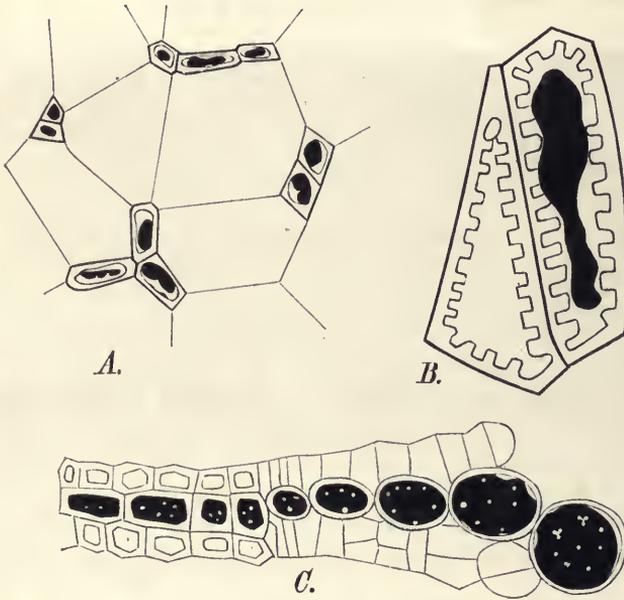


FIG. 470. A. Kleine Markpartie der Rofa caninia mit Eisensalz behandelt. Die Gruppen von zwei bis drei kleineren Zellen vorzugsweise reich an Gerbfäure. B. Stark vergrößerte Partie der Gerbfäurezellen aus A. C. Markstrahl von Prunus Laurocerasus mit faurem chromfaurem Kali tingirt. Die dunkeln Zellen sind gerbfäurereicher.

Indigweiß $C_{16}H_{12}N_2O_2$, durch reducirende Substanzen aus dem Indigblau entstanden, geht durch Oxydation an der Luft wieder in Indigblau über.

(Die Verbindungen dieser Pigmente mit Schwefelsäure s. organische Chemie.)

12. Gerbstoffe¹⁾.

Die Gerbstoffe kommen ursprünglich in der Zellflüssigkeit gelöst, Fig. 470, häufig in besonderen Zellengruppen reichlicher, so im Marke der Rofe, sonst in dem Grundgewebe aller Baumrinden vor.

¹⁾ A. WIGAND, Ueber das Verhalten der Zellenmembran zu den Pigmenten. 129. Bot. Ztg. 62. Einige Sätze über die physiol. Bedeutung des Gerbstoffes und der Pflanzenfarbe. 121. 200. Bot. Ztg. 62. — Dr. C. SANIO, Einige Bemerkungen über den Gerbstoff und seine Verbreitung bei den Holzpflanzen. 17. Bot. Ztg. 63.

In der Rinde der Eiche wächst der Gerbstoffgehalt mit dem Alter, d. h. mit der Zunahme der secundären Rinde, sinkt aber wieder in ganz alten Rinden, in welchen die Borkenmasse überwiegt. Während der Jahresperiode beobachtete TH. HARTIG eine Zunahme im Gerbstoffgehalt im Sommer, eine Abnahme im Winter, umgekehrt wie sich die transitorische Stärke verhält, welche in der Rinde in dem ersten Theil der Sommerperiode ab-, in der zweiten und gegen den Winter hin zunimmt.

Die Gerbfäure (Tannin) $C_{17}H_{22}O_{17}$, in Alkohol und Wasser löslich, bildet mit Leim eine in Wasser unlösliche Verbindung. Eine charakteristische Reaction entsteht mit Fe_2Cl_3 , blaufschwarzes Salz, auch mit Säuren, chromsaurem Kali, braunrothe Färbung.

Die mit Gerbstoff getränkten Pflanzengewebe nehmen aus verdünnten Pigmentlösungen den Farbstoff leichter auf als die gerbstofffreien.

§ 39. Zusammenstellung der äusseren Erscheinungen.

Bei dem Studium aller Lebenserscheinungen wird es darauf ankommen, die Gleichzeitigkeit zahlloser Functionen im Auge zu behalten. Je nach dem Einfluß der Hilfsdisciplinen hat sich die Vorstellung von dem Leben verschieden gestaltet. Bald war es mehr der Einfluß der Chemiker, bald derjenige der Physiker, welche im Forschungsgebiet der Physiologie maßgebend wurden. Kaum läßt sich nach dem in den vorstehenden Abschnitten dargelegten Lehrgebäude sagen, wie sich die Physiologie weiter ausbauen wird; sie ist abhängig von dem Fortschritt der physikalischen und chemischen Disciplinen. Eine rein mechanische Theorie der Lebenserscheinung ist, wenn man von dem Weg absieht, welchen die neueren, insbesondere die deutschen Forscher in der Entwicklungslehre eingeschlagen, nicht vorhanden. Die Coincidenz der Symptome des Lebens zu studiren und zu suchen, ist in der That bis jetzt das Einzige, was den Pflanzenphysiologen neben der beschreibenden Entwicklungsgechichte gelungen ist.

A. Alter der Bäume¹⁾.

Das Alter der Bäume hat von jeher die Forscher zu Betrachtungen über das Leben angeregt. Die Baumriesen sind die auffälligsten Beispieler

¹⁾ v. HUMBOLDT, Ansichten der Natur. Bd. II. S. 398. — MIELK, Die Riesen der Pflanzenwelt. C. F. Winter. Heidelberg und Leipzig 1863. — Dr. H. R. GÖPPERT, Ueber die Riesen der Pflanzenwelt. Berlin 1869.

continuirlicher vegetativer Verjüngung und Reproduction. Nach GÖPPERT fand das Maximum der Massentwicklung einzelner Baumpflanzen wahrscheinlich nicht in früheren Erdperioden statt, sondern in der gegenwärtigen; wenigstens sind in der Steinkohlenformation und den darauf folgenden Erdperioden bis jetzt keine Stämme aufgefunden worden, welche sich mit den noch jetzt lebenden Riesen messen könnten. Unter den größten der jetzt lebenden, oder doch erst in jüngster Zeit abgestorbenen Baumriesen nennt derselbe folgende:

Der im Jahre 1867 vom Sturm zerstörte Drachenbaum von Orotava auf Teneriffa hatte nach HUMBOLDT im Jahre 1799 eine Höhe von 65 F. Der Umfang einige Fuß hoch über dem Boden betrug 45 F. Das Alter wird auf 4000—6000 Jahre geschätzt.

Unter den einheimischen Nadelhölzern erreichen:

Abies pectinata DC. im Böhmerwald 200 F. Höhe, 25—30 F. Umfang;

Picea excelsa Lk. am selben Ort 150 F. Höhe, 16—20 F. Durchmesser;

Taxus baccata L. bis 60 F. Umfang, bei einem Alter von 2500 bis 3000 Jahren.

Unter ausländischen Nadelhölzern erreichen:

Cupressus fastigiata auf dem Berge Athos 4 F. über dem Boden einen Umfang von 12—15 F. bei 1000jährigem Alter;

Cedrus Libani einen Umfang von 35—45 F. bei einem Alter von 2500 Jahren;

Cedrus Deodara Loud. auf dem Himalaya 150 F. Höhe und einen unteren Umfang von 38 F.;

Araucaria excelsa R. Br. in Australien 220 F. Höhe, unterer Stammdurchmesser 10—12 F.;

Taxodium sempervirens Lamb. (*Sequoja gigantea* Endl.) in der Graffchaft Calaveras in Californien 250 bis 450 F. Höhe und über der Wurzel 110 F. im Umfang bei einem Alter von etwa 1500 Jahren.

Unter den Laubhölzern erreichten:

eine Eiche, *Quercus pedunculata* W. in der Nähe von Breslau die Höhe von 78 F., einen Umfang von 42 F. (2 F. über dem Boden), bei einem Alter von nur 700—800 Jahren;

Castanea vesca am Aetna 60 F. Umfang (der berühmte Kastanienbaum von Cento Cavalli soll mehr als 180 F. im Umfang gemessen haben);

Linde von Neustadt a. d. Kocher 32 F. Umfang, 700—800 Jahre, andere, noch stärkere bei Baireuth und Dresden;

Platanus orientalis L., Platane von Bujukdereh bei Constantinopel, 90 F. hoch, 150 F. im Umfang;

Hymenæa Courbaril auf La Terniste und Portorico 20 F. Durchmesser bei einem Alter von 1400 Jahren;

Adansonia digitata, Affenbrodbaum in Senegambien, Stamm nur 15—30 F. hoch, Durchmesser 30—34 F., Gesamthöhe 60 F., Kronendurchmesser über 160 F.;

Ficus indica bei Madras, Mittelstamm 28 F. Durchmesser, von 27 Nebenzweigen umgeben, die aus Luftwurzeln entstanden sind, diese besitzen zum Theil 11 F. im Durchmesser;

Eucalyptus amygdalina soll nach S. W. ROBINSON 500 F. Höhe und in der Höhe von 4 F. einen Umfang von 81 F. haben.

Derartige riesenhafte Ausbildung können indeß nur Individuen erreichen, welche während ihrer ganzen Lebensdauer besonders begünstigt waren. Das Durchschnittsalter, sowie die Dimensionen der Bäume ganzer Wälder sind viel geringere; doch lassen sich bestimmte, allgemein gültige Angaben darüber nicht machen.

Unsere einheimischen Waldbäume theilt GAYER¹⁾ nach dem Alter, welches einzelne begünstigte Individuen erreichen können, in folgende Gruppen:

Ein Alter von mehr als 500 Jahren	{ Erle, Eiche, Linde, Ulme, Edelkastanie.
Ein Alter von 300 Jahren und darüber	{ Ulme, Tanne, Buche.
Eine Stufe tiefer stehen	{ Esche, Ahorn, Fichte, Lär- che, Kiefer, Hainbuche.
Selten über 100 Jahre erreichen	{ Aße, Birke, Schwarzerle, Weißerle, Weide.

Im forstlichen Betrieb werden die Eiche selten über 200 Jahre, Buche und Tanne selten über 150 Jahre, Kiefer und Fichte selten über 120 Jahre alt genutzt, während die gewöhnlichen Umtriebe noch viel niedriger sind und z. B. bei der Kiefer nicht selten unter 70 Jahre heruntergehen.

B. Ist der Tod in dem Organismus des Baumes begründet?

Auch der Baumriese im Alter von 1000 Jahren erliegt der Altersschwäche. Während die Verjüngung in der Zweigregion kaum ein Nachlassen der vegetativen Thätigkeit zeigt, sterben die dominirenden Aeste, der Schaft und die Wurzeln ab. Der Tod tritt ein in Folge der Schwierigkeiten, welche die Translocation über immer größer werdende Flächen und Volume mit sich bringt, und in Folge zahlloser Verwundungen, parasitärer Eingriffe, äußerer Beschädigungen durch Sturm, Frost. Jeder Ab-

¹⁾ CARL GAYER, Der Waldbau. Berlin. Wiegandt, Hempel u. Parey. 1878.

leger, jede Knospe aber trägt in sich die gesunde Triebkraft der Jugend. Studien über das Nachlassen der vegetativen Kraft, so weit sie in der Race vererbt wird, liegen bis jetzt nicht vor. Es ist z. B. nicht bekannt, ob eine gegebene Baumform durch Jahrhunderte lang dauernde Verjüngung durch bloße vegetative Sprossung, Stockausschlag bei sonst gleichen klimatischen und Bodenverhältnissen geschwächt wird, gegenüber dem waldbildenden Baum gleicher Form (Species), welcher sich durch geschlechtliche Vermehrung verjüngt. An und für sich liegt der endliche Tod des Baumes nicht in seiner vegetativen Kraft begründet.

C. Asymptotische Bewegung in der Pflanzenwelt.

So viel ist aus den vorstehend abgehandelten Bewegungsercheinungen leicht zu überschauen:

Der Baum repräsentirt in seinem Wachstum eine asymptotische Bewegung in der Anhäufung fester Theile in einem Lebewesen. Er strebt, diesen Vorgang durch sehr große Zeiträume continuirlich auszuführen. Das Wachstum muß sich asymptotisch der Null nähern, ohne diesen Werth indeß in großen Zeiträumen je zu erreichen. Dieß ist darin begründet, daß die Medien (Bodentiefe und Atmosphäre) in ihrer chemischen Zusammensetzung bestimmt und unwandelbar und begrenzt sind, ferner darin, daß das Gewicht der Zuwachsmasse von der Keimpflanze ab wächst, nach mehreren oder vielen Jahrzehnten dann einmal culminirt, längere Zeit constant bleibt, oder stetig wächst oder sinkt. In allen diesen Fällen ist das Wachsen des Volums eine asymptotische Bewegung. Um diese Sache auf dem Boden der nächstliegenden Verhältnisse zu behandeln, discutiren wir den Fall: Das Gewicht der Zuwachsmasse wächst, culminirt einmal und sinkt endlich; d. h. mit andern Worten, die Function des Zuwachses in der Zeit (mit Hilfe der Waage bestimmt) ist eine periodische. Da sich diese Masse über ein stets wachsendes Volum vertheilt, muß der sichtbare Zuwachs im Lauf der Jahrhunderte sich der Null nähern. Auch im aller günstigsten Fall, daß die Zuwachsmasse stetig größer würde, ist doch nichts Anderes zu erwarten, denn nun würde die Function, welche durch den zweiten Differentialquotienten dargestellt ist, in der Zeit immer kleinere Incremente erfahren. Auch jetzt muß sich der sichtbare Zuwachs der Null nähern.



Neunte Abtheilung: Einwirkung der Wärme.



Wir sind oben (S. 474) zu dem Resultat gekommen: Die Pflanze ist als eine Maschine anzusehen, in welcher sich zwei antagonistische Prozesse abspielen. Der eine ist die Athmung, der andere die Reduction. Indem wir zur Einwirkung der Wärme übergehen, stellen wir an die Spitze der folgenden Discussion diesen Satz:

Für einen bestimmten Vegetationsproceß, z. B. die Reduction der Kohlenäure, oder den Stoffumsatz beim Wachsen der Organe, oder die Osmose von Zelle zu Zelle, oder die Strömung der Protoplasmen, ist der Uebergang von niederen nach höheren Temperaturgraden, oder umgekehrt, und die Beschleunigung oder Verzögerung der gedachten Bewegungen wohl immer eine Folge des Temperaturwechsels, niemals aber ist der Temperaturzuwachs oder -Verlust eine Ursache dieser Bewegungen. Hierbei muß indeß die Temperatur nicht so weit sinken, daß das Wasser im Innern der Zellen gefriere. Mit anderen Worten, der Wärmezuwachs, welchen eine Masse erfährt, indem ihre Temperatur zunimmt, kann nicht in die Bewegung umgesetzt werden, welche wir Leben nennen. Wohl aber wird die bereits herrschende Bewegung durch den Temperaturzuwachs vergrößert. Wir haben es hienach mit zwei Dingen zu thun: Die strahlende Wärme ist die Ursache, die Temperatur ist eine Bedingung der organischen Bewegungsformen, so weit es sich um die Vegetation handelt.

§ 40. Strahlende Wärme.

1. Methode der Beobachtung¹⁾.

Die sämtlichen Pflanzen leiten die Wärme schlecht und strahlen dieselbe außerordentlich rasch aus; das wesentlich für die Strahlung angepaßte

¹⁾ Methode der Beobachtung. In einem absolut verfinsterten Zimmer wurden alle nöthigen Apparate für feine Wärmemessung aufgestellt und mit Hilfe des Heliofaten ein paralleles Lichtbüschel hereingeleitet. Die Thermofaule wurde mit Hilfe zweier mit heißem Wasser gefüllter Blechwürfel zunächst von beiden Seiten bestrahlt, um den mecha-

Organ ist das Blatt. Der Grad der Auslöschung dunkler Wärmestrahlen im Laubblatte ist abhängig:

1^o von dem Chlorophyllgehalt;

2^o von der Dicke;

3^o von der Textur und anatomischen Beschaffenheit.

Zur Untersuchung der Aborption der strahlenden Wärme, welche normal auf die Blattfläche in einem parallelen Strahlenbüschel der Sonne auftritt, wurde die Thermofäule angewandt.

I.

Die Thermofäule wurde 2 mm hinter die Blätter so aufgestellt, daß der Schatten derselben die Löthstellen traf. Die directe Bestrahlung ergab einen Ausschlag von 70, der Schatten der Buche ergibt 60, und es wurden ganz ähnliche Verhältnisse gefunden für Ahorn, Hainbuche, Ulme, Eiche und Pappel.

Bei derselben Intensität der Sonnenstrahlung sank der Ausschlag der Nadel auf 23, wenn die Thermofäule auf 4 cm von dem bestrahlten Blatte entfernt wurde.

II.

Bei allmäliger Entfernung der Säule von dem bestrahlten Blatte wurden für dieselbe Intensität (von 81^o bei directer Bestrahlung) gefunden:

4 cm 27^o; 5 cm 23^o; 10 cm 13^o; 15 cm 9^o.

nischen Werth des Ausschlages der statischen Nadel auch für so große Intensitäten wie in einem Büschel des intensivsten Sonnenlichtes zu bestimmen. In dem Nachfolgenden die Angaben dieser Bestimmungen:

Distanz der beiden Würfel von der Säule.	Die Säule bestrahlt			
	von vorn,	von hinten,	von beiden Seiten	
			Differenz I,	Differenz II.
2 mm	70,5	82	32	12,5
13 »	43	23	23	20
31 »	24	39,5	20	15,5
67 »	21	8	13	14
109 »	5	11,5	6,5	6,5
146 »	3	9	6,5	6

Hieraus ließ sich nach bekannten Regeln eine Calibrationstabelle berechnen;

E. EBERMAYER, Die Temperatur der Waldbäume, vergl. mit der Luft- und Bodentemperatur des Waldes. 436. Bot. Ztg. 73. — LAMANSKY, Ueber das Wärmespectrum des Sonnen- und Kalklichtes. Monatsber. d. königl. Acad. d. Wissensch. Berlin. 17. Decbr. 1871. — ASKENASY, Ueber die Temperatur, welche die Pflanzen im Sonnenlicht annehmen. 441. Bot. Ztg. 75.

III.

Das Laubblatt zerstreut die Wärmestraahlen in einem parallelen Sonnenstrahlenbüschel. Die Zerstreung kann in dieser Weise berechnet werden: wenn das parallele Büschel von Sonnenstrahlen direct auf die Thermosäule fällt und den Ausschlag von 70° hervorbringt, so nimmt das Laubblatt in der directen Nähe der Säule $\frac{10}{70}$ der stromerregenden Kraft hinweg, und wenn die Zerstreung des austretenden Strahlenbüschels nicht erfolgte, so müßte der Ausschlag am Thermomultiplicator unabhängig von der Entfernung sein. Da nun das Strahlenbüschel in einiger Entfernung auf eine größere Fläche zerstreut ist, so sinkt die Intensität sehr rasch mit der Entfernung der Thermosäule von der durchstrahlten Blattfläche. Setzen wir die Intensität in einer unmittelbar hinter dem Laubblatt belegenen Ebene gleich eins, so ist in einiger Entfernung diese Intensität ein Bruchtheil der eingestrahlenen. In der nachfolgenden Tabelle sind verzeichnet:

- 1^o das Verhältniß der durchgegangenen Wärme zur eingestrahlenen;
2^o jenes Verhältniß der Zerstreung für eine Distanz von 4 cm.

	Verhältniß der durchgefrahlten Wärme, die Intensität der eingestrahlenen gleich eins gesetzt.		Verhältniß der Zerstreung in 4 cm Distanz hinter dem Blatt.
Buche	0,857	Carpinus	0,211
Eiche	0,857	Buche	0,324
Ulmus	0,859	Aesculus	0,309
Ahorn	0,871	Ulmus	0,338
Carpinus	9,879		

Die größte Zerstreung zeigt das glatte, aber gefaltete Blatt der Hainbuche, die geringste zeigt die Ulme.

IV.

Die Wärmemenge, welche ein Laubblatt absorbiert, ist nicht eine constante Größe, sondern abhängig von der Phase, in der das Blatt steht, von dem Chlorophyllgehalt, und bei verschiedenen Bäumen von der Dicke der Blätter. Von Interesse ist der Vergleich dieser in dem Blatte der immergrünen zu unseren periodischen und dünnblättrigen Laubbäumen. Wir betrachten zunächst im Anschlusse an die vorstehenden Messungen die Wärme in den dicken lederartigen Blättern der südlichen und der gemäßigten Zone Afriens.

An einem und demselben sonnigen Tage (9. Juni 1875) konnten die nachfolgenden Messungen ausgeführt werden:

Ausschlag der Galvanometernadel.

	2 mm von der Säule.	Directe Beftrahlung.	4 cm von der Säule.	Directe Beftrahlung.
<i>Ficus elastica</i>	71	83	26	83
<i>Camellia japonica</i> . .	63	88	10	88
<i>Nerium Oleander</i> . .	67	83	25	83

Das Verhältniß der Auslöschung des Wärmestrahles nach derselben Weise wie in der vorhergehenden Colonne ist:

	Verhältniß der durch- gefrahlten Wärme in einer 2 mm hinter dem Blatte liegenden Ebene, die eingefrahlte gleich eins gesetzt.		Verhältniß der zer- streuung Wärme in 4 cm Entfernung hinter dem Blatte, die eingefrahlte gleich eins gesetzt.
<i>Camellia</i>	0,716	<i>Camellia</i>	0,113
<i>Nerium</i>	0,807	<i>Ficus elastica</i> . .	0,313
<i>Hemerocallis fulva</i> .	0,843	<i>Saxifraga</i>	0,337
<i>Ficus elastica</i> . . .	0,855	<i>Hemerocallis</i> . . .	0,457

Im Vergleich zu unseren Waldbäumen ist die durchgegangene Wärme etwas kleiner, ebenso ist die Zerstreung eine etwas geringere. Dieß aber rührt daher, daß das Blatt eine größere Temperatur erhält und somit in seinem Schatten eine größere Wärme ausstrahlt.

Die Durchstrahlung ist abhängig von dem Gehalte an absorbirenden Pigmenten. Gerade hier liegt das Wesen der grünen Farbe. Zwei Bäume eignen sich besonders gut zu diesem Studium, Buche und Blutbuche, der Ahorn und der panachirte Ahorn. Stellt man sich vor, daß der Baum in Hinsicht der Farbe variirt, so aber, daß das nützliche vortheilhafte Pigment erhalten bleibt und zur Steigerung kommt, so hat er es in der Gewalt, für die einfallenden Wärmestrahlen seine Capacität zu steigern oder zu schwächen, so absorbirt die Blutbuche mehr wie die Stammform, zu welcher sie als Varietät gehört. Umgekehrt lassen die panachirten Ahorne (*Acer Negundo*, *A. pseudoplatanus*) mehr Wärmestrahlen hindurch wie die grünen Stammformen.

V.

Irdische Wärmequellen zeigen bekanntlich eine geringere Strahlung. Ich bediente mich einer (in Paris construirten, unter dem Namen der Lampe éolienne käuflichen) Petroleumlampe, welche so beschaffen ist, daß die Flamme ohne Glascylinder rußlos brennt. Diese Lampe besitzt ein Uhr-

werk, welches ein Windrädchen treibt, so daß um die flache Flamme ein stetig gleicher Luftstrom unterhalten wird. Hinter der Flamme wurde ein Kugelreflector von Neufilber aufgestellt, von welchem ein divergentes Strahlenbüschel nach dem Schlittenapparat geworfen wird, auf dem die Thermofäule verschiebbar ist. In diesem Strahlenbüschel, welches am Thermomultiplicator den Ausschlag von 52° hervorbringt, wurden allmählig eins, zwei, drei u. s. f. Blattlagen eingeschaltet. Der Ausschlag im Schatten sinkt jetzt bei:

	1 Blatt.	2 Blätter.	3 Blätter.	4 Blätter.	5 Blätter.
Buche . .	$23,5^{\circ}$	$17,25^{\circ}$	15°	11°	4°
Blutbuche .	$25,5^{\circ}$	17°	13°	$10,5^{\circ}$	

Mit steigender Blattzahl sinkt die Ausstrahlung, aber nicht proportional dem Widerstand.

Für dieselbe irdische Wärmequelle wurde die Intensität des Strahles gefunden, welcher das Blatt durchsetzt hatte.

Ursprüngliche Wärme = 1,00.	Nach dem Durchgang durch das Blatt der
	Hainbuche = 0,514
	Ahorn = 0,490
	Blutbuche = 0,472
	Eiche = 0,461
	Buche = 0,435
	Ulme = 0,400.

Die einheimischen Laubbäume verhalten sich nach dem Vorstehenden ziemlich übereinstimmend. Gleichwohl machen die Bäume ganz ungleiche Ansprüche in Hinsicht des Schattens. So sind ganz besonders lichtkronig die Esche, die Wallnuß, die Roskastanie, die Ulme, während die Buche, Eiche verhältnißmäßig dicht beblättert und beaftet sind.

Schon oben S. 514 ff. bei Besprechung der Assimilation wurde darauf aufmerksam gemacht, daß das Material der gewöhnlichen meteorologischen Untersuchungen nicht zur Basis für die Vergleichung pflanzlicher Entwicklung benutzt werden kann, weil in ihnen genaue Messungen über die Größe der Strahlung fehlen. An einer meteorologischen Anstalt, welche dem Interesse der Land- und Forstwirtschaft dienen soll, müßten mindestens fortlaufende Beobachtungen über die Strahlung an dem BUNSEN'schen Photometer, dem POUILLET'schen Pyrheliometer und dem CROOKES'schen Radiometer gemacht werden. Für die Bestimmung der Relationen im Waldschatten, wo die Sonnenstrahlen beträchtlich gedämpft sind, wird der CROOKES'sche Radiometer jedenfalls gute Dienste thun. Dieß Instrument construirte CROOKES, um die direct mechanische Wirkung der Strahlen zu messen. Es erlaubt hinlänglich genaue Ablefung, um die Relationen der Schattengrade in verschiedenen Bestandsorten zu bestimmen. Der Apparat besteht aus

einem spindelförmigen Glasrecipienten von beliebiger Größe, welcher so weit wie möglich evacuirt ist. In diesem Recipienten ist eine Windmühle aus leichtem Metall angebracht, deren Flügel auf der einen Seite mit glänzenden Stanniolplättchen belegt, während die andere Seite geschwärzt ist. Die Mühle geräth in Bewegung bei der geringsten Befahrung mit leuchtender oder dunkler Wärme. Aus der Zahl der Umdrehungen kann die Relation der Intensität bestimmt werden¹⁾.

¹⁾ Literatur über den Radiometer. POGGENDORFF, Annal. 1875. II. S. 488. POGGENDORFF, Der Radiometer von CROOKES'. Die Untersuchungen CROOKES' über den von ihm construirten Radiometer führten ihn zu der Anschauung, daß es die directe mechanische Wirkung der Strahlung sei, welche die Mühle in Bewegung setzt. POGGENDORFF weist darauf hin, daß es wahrscheinlich Luftströme seien, welche die Bewegung verursachen. In höchst verdünnter Luft, sagt CROOKES, scheinen die Wärmestrahlen gleich abstoßend auf schwarze und auf weiße Flächen zu wirken, allein die Lichtstrahlen verhalten sich anders; sie stoßen die schwarzen stärker ab als die weißen. Gestützt auf diese Thatsachen hat CROOKES das bekannte Instrument in der ersten Ausgabe construirt, dessen Einrichtung wir hier als bekannt voraussetzen dürfen. Einer Lichtquelle ausgesetzt rotirt es, indem die schwarzen Flügel abgestoßen werden. Aus den Messungen CROOKES' ergibt sich, daß das Instrument für verschiedene Strahlengattungen empfindliche Unterschiede zeigt. Die Erklärung, welche POGGENDORFF giebt, lautet: Die schwarzen Flächen werden vom Lichtstrahl stärker erwärmt als die weißen und erfahren durch die in dem Apparat noch befindliche Luft einen Rückstoß. Diese von mehreren Physikern getheilte Anschauung hält er für die wahrscheinlichste, wiewohl es etwas Widersprechendes hat, einen derartigen Rückprall in einem so verdünnten Medium voraussetzen, besonders da daselbe bei außerordentlich diffusivem Tageslicht noch reagirt. Unterstützt wird die obige Anschauung dadurch, daß die Wirkung des Lampenlichtes außerordentlich geschwächt wird, wenn man eine 20 mm dicke Wasserschicht einschaltet. Sonnen- und Magnesiumlicht erfordern selbstredend eine dickere Wasserschicht. Der Apparat rotirt auch im Dunkeln, wenn man ihn hinter eine Platte jenes undurchsichtigen, schwarzen Glases stellt, welches man zum Polarisiren des Lichtes benutzt, und diese Platte mit einer Kerzenflamme bestrahlt. Solches Glas ist nach MELLONI nur diatherman für wirklich dunkle Wärmestrahlen. Dieselbe Wirkung ist auch von CROOKES selbst constatirt für die dunkeln Wärmestrahlen, welche durch eine concentrirte Jodlösung gegangen sind.

Die Erklärung POGGENDORFF's hat eine Bestätigung durch Versuche gefunden, welche FINKNER anstellte: Der Radiometer steht still, wenn der innere Widerstand (durch den Druck der Gase) gleich dem Ueberdruck ist, welcher auf die schwarzen, stärker erwärmten Flächen stattfindet. Bei anderen Dimensionen des Instrumentes ist es denkbar, daß selbst bei größeren Drucken, ja selbst in verdünnter Luft noch Bewegung eintritt. Der Verfasser stellt, um sehr große erwärmte Flächen zu besitzen, Glimmerscheiben von 162 mm Durchmesser in 200 mm Entfernung vom Mittelpunkt des Kreuzes her. Die eine Seite wird geschwärzt, die andere mit Papier beklebt. Eine Oellampe mit Reflector, welche 60 cm von dem Instrument entfernt ist, bewirkt die Bewegung von einer Drehung in der Minute. Die schwarzen Flächen gehen voraus, also entgegengesetzt der gewöhnlich beobachteten Richtung. Um den Luftzug der Lampe bei der beschriebenen Aufstellung auszuschließen, wird eine Glasplatte eingeschaltet. Bisher ist das Instrument ohne Glashülle. Wird nunmehr das Instrument von drei Seiten mit Brettern eingeschlossen, von der vierten Seite bestrahlt, nach oben durch ein Brett abgeschlossen, so tritt bei derselben Stellung der Lampe

Die Ausstrahlung in einer Baumkrone oder in einem Complex vieler, dem Waldbestand, wird, bezogen auf die einfache Erdoberfläche, jedenfalls verlangsam, da die Waldluft, zwischen den Blattschirmen abgesperrt, sich durch Strahlung unter der ersten Blätterlage erkaltet, und von der nächsten Schicht getrennt ist durch eine zweite Blätterlage, welche einen beträchtlichen Widerstand gewährt. So wirkt der Laubbaum, beziehentlich der Wald, als ein Wärmerefervoir gegenüber der nackten oder mit niedern Pflanzen bedeckten Erdoberfläche.

die gewöhnliche Drehung ein, indem die weißen Flächen vorausgehen. Verfasser denkt sich den Einfluß des Gefäßes so, daß bei bestimmter Entfernung der Gefäßwand von den Flügeln zuerst die eine Richtung, die schwarze Seite voraus, eingehalten, daß mit wachsender Entfernung die Bewegung Null wird, um endlich in die entgegengesetzte Richtung überzugehen.

POGGENDORFF, Ann. d. Physik. 1876. Radiometrische Versuche. Von Dr. A. SCHUSTER. Verf. hängt das Instrument bifilar in einem größeren Glasgefäß auf, welches er darauf auspumpt. Er befestigt einen Hohlspiegel an einer Glashülle, um eine etwaige Bewegung beobachten zu können, läßt dann plötzlich Hydrooxygengaslicht auf das Instrument fallen, welches sich darauf 200mal herumdreht. Dabei wich die Glashülle aber in entgegengesetzter Richtung mit der Richtung des Kreuzes ab. War die Geschwindigkeit der Mühle constant geworden, so kehrte die Hülle in ihre Lage zurück. Nahm man das Licht plötzlich fort, so gerieth die Hülle wieder in Bewegung, aber in entgegengesetzter Richtung zur vorhergehenden. CROOKES kommt zu ähnlichen Resultaten. Er läßt den Radiometer in Wasser schwimmen. Erst drehte sich die Hülle, dann stand sie still und nahm darauf entgegengesetzte Drehung an, endlich nahm sie eine langsame Drehung an und zwar gleichlaufend mit dem Kreuz.

Ähnliche Einwürfe gegen die directe Wirkung des Lichtes und der strahlenden Wärme erscheinen begründet bei G. SALET, *Compt. rend. T. 82. S. 1500. Compt. rend. T. 83. S. 273.* Ein Radiometer, welcher aus Silber und durchsichtigen Glimmerplatten conftruirt ist, bewegt sich mit der Glimmerseite nach vorn, die Silberfläche wird unter dem Einfluß des Lichtes zurückgestoßen. Dieser Radiometer zeigt im Wasser von 30—40°, wo er nur dunkle Strahlen erhält, die umgekehrte Richtung (die Silberfläche voraus). Im Eis zeigt er dieselbe Richtung wie in dem Licht. Ein Radiometer aus Aluminium und geschwärzten Glimmerplatten bewegt sich im Licht so, daß das Metall vorangeht. Dunkle Wärme und noch so intensives Licht ändern diese Richtung nicht. In Eis aber tritt eine Umkehrung der Richtung ein. Ein Radiometer aus Aluminium und nicht geschwärztem Glimmer bewegt im Licht die Glimmerfläche voran, im Eis wie im Lichte. Die dunkle Wärme bewirkt, daß die entgegengesetzte Richtung eingehalten wird. Ein Radiometer, dessen Flügel aus Silber und Aluminium gebildet waren, wurde auf 440° erwärmt, während die Evacuation der Hülle erfolgt. Er wird unempfindlich, er reagirt aber, wenn das Vacuum bei gewöhnlicher Temperatur hergestellt wird. Unter den gleichen Bedingungen der Erwärmung (440°) tritt die Unempfindlichkeit nicht ein, wenn man die Hälfte der Flügel mit Metall, die andere mit Glimmer bedeckt. Endlich zeigten Radiometer, deren Flügel aus Glimmer und roth, grün, blau gefirnißten Kupferplatten gebildet waren, keine Unterschiede.

BÖTTGER, Bericht der deutschen chemischen Gesellschaft. Bd. IX. S. 798. Der Radiometer zeigt keine Reaction im Licht der GEISSLER'schen Röhren, ebenföwenig im Licht der Gasflammen, wenn Alaunkrystalle eingeschaltet sind, ebenso wenn zwischen dem

Andererseits muß die Waldluft auch bei der Einstrahlung sich beträchtlich langsamer erwärmen wie die Luft über der nackten Erdoberfläche. Von Blattschicht zu Blattschicht verliert der Strahl an Intensität. Selbst schon die einfache Blattlage mindert dieselbe beträchtlich herab. Im Allgemeinen ist darin der regulirende Einfluß großer Waldmassen auf die thermischen Verhältnisse eines Landes begründet, daß der Ausgleich durch Strahlung verlangsam wird, weil die Luft durch athermane Blattlagen in Schichten gefondert ist, welchen der Ausgleich durch Strömung erschwert ist.

Ganz anders gestaltet sich die Sache im Winter in dem unbelaubten Wald. Tritt bei nasser Luft plötzlich klares Wetter ein, so strahlen die

Radiometer und der Lichtquelle eine 3 cm dicke Wasserficht eingeschaltet wird. Das directe Tageslicht stößt die schwarzen Seiten ab, im Wasser tritt die umgekehrte Bewegung ein, bis er stillsteht.

G. WARTMANN setzt einen empfindlichen Radiometer aus polirten Aluminiumplatten und geschwärztem Glimmer in einem Glaszylinder zusammen und leitet Wasserdampf hindurch. Sofort tritt rasche Bewegung ein, die Aluminiumflächen gehen voran. Die Bewegung verlangsam sich. Bei constanter Temperatur tritt Ruhe ein. Sofort tritt wieder Bewegung ein, sobald das Einleiten des Dampfes aufhörte und zwar in umgekehrter Richtung. Ein stillstehender Radiometer wird ebenso zur Bewegung in umgekehrter Richtung gebracht, wenn er in kaltes Wasser eingetaucht wird.

E. WARTMANN (*Arch. des scienc. phys. et nat.* Bd. 55. S. 313. 1876) wandte zwei Radiometer zu Differenzversuchen an: der eine (*A*) besitzt kreisförmige, der andere (*B*) besitzt quadratische Flügel. Beide rotiren bei höherer Temperatur, so daß die schwarzen Flügel abgestoßen erscheinen. Ein vollkommener Gegensatz tritt zwischen *A* und *B* ein, wenn man die schwarzen Flächen verdeckt und die anderen der Sonne aussetzt. *A* rotirt direct, *B* in entgegengesetztem Sinne. Soll auch *A* umgekehrt rotiren, so muß das Licht mittelst einer Linse auf die unbedeckten Flächen concentrirt werden. Verf. macht darauf aufmerksam, daß die größte Geschwindigkeit bei senkrechtem Einfall auf die schwarzen Flächen eintritt. Mittelst zweier Lampen, welche auf die entgegengesetzten Seiten eines Flügels wirken, zeigt Verf., daß vollständige Neutralität eintreten kann. Die Rotation tritt ein, wenn das Instrument durch einen glühenden Ring bestrahlt wird, dessen Ebene mit der Ebene der Flügelarme zusammenfällt. Das Einschalten einer Alaunplatte schwächt die Bewegung beträchtlich.

CROOKES fand für das Sonnenspectrum die größte Wirkung im Ultraroth, die kleinste im Ultraviolett. Bezüglich der Wirkungen können Ultraroth mit 100, Aeußerer Roth mit 85, Roth mit 73, Orange mit 66, Gelb mit 57, Grün mit 41, Blau mit 22, Indigo mit 8,5, Violet mit 6, Ultraviolett mit 5 dargestellt werden.

POGGENDORFF, *Annal.* 1876. 7. S. 483. Notiz zur Geschichte des Radiometers. Von Dr. G. BERTHOLD (Ronsdorf).

POGGENDORFF, *Annal.* 1876. 8. S. 572. Ueber den Radiometer von CROOKES. Von R. FINKNER. Verfasser untersucht das Verhalten der Radiometer bei verändertem Drucke der Gase und Bestrahlung und stellt eine Theorie der Bewegung auf. Er verbindet den Recipienten mit einer Quecksilberluftpumpe und bestimmt die Drehungsgeschwindigkeit unter dem Einfluß einer Gaslampe ohne Reflector und Linse, indem er die Entfernung der Lampe und den Druck verschiedener Gase variirt. Aus den Versuchen ergibt sich: Bei

blattlosen Zweige rasch die Wärme aus, gleichzeitig leiten sie die Wärme aus tieferen Theilen des Baumes so schlecht, daß mächtige Eisniederschläge in dem Zweigsystem gebildet werden.

VI.

Die Erwärmung der pflanzlichen Blätter, Zweige und fleischiger Theile ist bei directer Bestrahlung durch die Sonne eine sehr beträchtliche. Durch Versuche wurde die Erwärmung der isolirten Blätter verglichen mit solchen Blättern gleicher Art, welche, an dem Zweige befindlich, während der Bestrahlung Wasser verdunsteten: das abgesechnittene Blatt von Castanea wurde um das Gefäß eines Thermometers gewickelt und dieser an einem klaren Augusttag bestrahlt (t), zu gleicher Zeit wurde der Kastanienzweig in Wasser gestellt, eines feiner Blätter um das Gefäß eines zweiten Thermometers (t^1) gewickelt, die Temperaturzuwächse wurden mit den Schwankungen eines freien bestrahlten Thermometers (t^2) verglichen. Die Thermometer waren von gleicher Construction und waren innerhalb der Temperaturgrade 0 und 100 calibrirt. Nach 40 Minuten zeigten sie:

$$t \ 37,1^0, \quad t^1 \ 33,6^0, \quad t^2 \ 30,6^0.$$

Das verdunstende Blatt hatte somit eine um $3,5^0$ C. niederere Temperatur wie das abgesechnittene. Innerhalb dieser 40 Minuten war ein ganz ähnlicher Thermometer (t^3) in einen ausgehöhlten unreifen Apfel gesteckt (die Dicke der zu durchstrahlenden Apfelmasse betrug 3 cm), und ein weiterer (t^4) in einen ausgehöhlten Hollunderzweig. Diese zeigten:

$$t^3 \ 35,5^0, \quad t^4 \ 32,5^0.$$

nicht zu weit getriebener Verdünnung findet bei gleicher Erwärmung dieselbe Bewegung bei einem specifisch leichteren Gase bei größerem Drucke statt, als bei einem schweren Gase. Das Drehungsmoment, welches durch eine Flamme ausgeübt wird, wächst unter übrigen gleichen Umständen zunächst mit der Verdünnung der Gase, nimmt aber bei weiterer Verdünnung wieder ab. Das Maximum der Bewegung tritt für Wasserstoff bei höherem Drucke ein als bei Luft und Kohlenäure. Verf. bringt nun den Radiometer mit einem Sauerstoffentbindungsapparat in Verbindung, évacuir, spült den Raum mit Sauerstoff aus, absorbirt den Rest dieses Gases mit Kupfer und erreicht somit eine möglichst vollständige Evacuation, und führt aus den Beobachtungen der Drehungsgeschwindigkeit den Nachweis: Die strahlende Wärme wirkt nicht direct abstoßend auf die beruhten Flügel, so daß dadurch die Bewegung zu Stande käme; sie bedarf eines Gases zum Uebertragen dieser Wirkung. Die Bewegung kommt, so lange das Gas mäßig verdünnt ist, durch einen auf die Ränder der Flügel ausgeübten Einfluß zu Stande; dieser Einfluß wächst, wenn die Scheiben durchbrochen sind. Bei dem Radiometer mit vollen Flügeln bei gleicher Bestrahlung und gleichem Druck erfordert die Drehung 40 Secunden, während sie für die durchbrochenen nur 21 Secunden bedarf. Der Unterschied in der Drehung in dem einen und andern Fall ist derartig, daß er nicht erklärt werden kann durch die Abnahme des Widerstandes in Folge des geringeren Flächeninhaltes. Das Drehungsmoment ist bei dem durchbrochenen größer geworden.

Die Dicke der durchstrahlten Rinden und Holzschicht betrug 4 mm. Nachdem selbst nach einstündiger Bestrahlung die Temperaturen nur noch wenig schwankten, wurden alle fünf Thermometer mit den anhaftenden Pflanzentheilen in den Schatten gebracht. Nach 52 Minuten sank die Temperatur in:

$$t \text{ } 28,9^{\circ}, \quad t^1 \text{ } 27,5^{\circ}, \quad t^2 \text{ } 28^{\circ}, \quad t^3 \text{ } 31,5^{\circ}, \quad t^4 \text{ } 28,2^{\circ}.$$

Der Pyrheliometer zeigte während der Verfuhszeit an zwei Ablefungen zuerst bei directer Bestrahlung von 3 Minuten einen Temperaturzuwachs von 2° C. und darauf eine Abnahme von 0° während der Beschattung von 3 Minuten. Im zweiten Verfuhs während 2,5 Minuten der Bestrahlung, Zuwachs von $1,3^{\circ}$ C. und Abnahme während 3 Minuten der Beschattung von $0,5^{\circ}$ C.

VII.

Draußen im Laubwald machen sich dem constanten Einfluß der Strahlung gegenüber individuelle Ungleichheiten geltend, welche nicht direct auf die gegenseitige Beschattung zurückgeführt werden können. So entwickeln sich die Knospen der unterdrückten Buchen im Frühling etwas rascher wie diejenigen der stärkeren Bäume. An einem und demselben Baume werden die Blätter mehrere Tage früher an der Innenseite entwickelt gegenüber der Außenseite, Fig. 471. Auch an sehr hohen Parkbäumen eilen die unteren Aeste in der Frühlingsperiode merklich gegenüber den höheren voraus. Dieß ist zum Theil darin begründet, daß gerade vor der vollen Belaubung die unteren Bäume, beziehentlich die unteren Aeste eines Baumes, besser gegen die Ausstrahlung geschützt sind, zum anderen Theil vielleicht darin, daß die flachbewurzelten Individuen rascher die höhere Temperatur der äußeren Schalen des Bodens genießen, wie die tiefer bewurzelten.

A. Grenzen der Temperatur¹⁾.

Die Vegetation der Erde breitet sich aus von dem Aequator nach den beeißten Polen, von den Tiefebenen bis zu den höchsten Zinnen des Hochgebirges. Die höchsten aus den Eis- und Schneemänteln hervorragenden Felszähne unserer Hochalpen sind noch besiedelt von niederen Flechten. In den meilenweiten Gletschern des Finsteraarhorngebietes, des Monte-Rosa und des Montblanc finden sich in dem Eise, auf dem feinsten Gletscherfchlamm, noch Chroococcaceen. Die arctischen Rhododendren, Salices, Bryaceen u. a. m. ertragen eine Kälte bis -40° , ohne daß die Raçen in ihrer Existenz wesentlich gefährdet sind. Andererseits sind Oscillarien und

¹⁾ H. R. GÖPPERT, Höhe der Kältegrade, welche die Vegetation überhaupt erträgt. 49. 65. Wann stirbt die durch Frost getödtete Pflanze, zur Zeit des Gefrierens oder im Moment des Aufthauens? 399. Bot. Ztg. 71.

Diatomen in den Thermen Californiens existenzfähig bei 70° C. Es ergibt sich somit für die Gefammtheit der Vegetationsproceffe an der Erde ein Temperaturintervall von 110° C.

B. Geringere Biegsamkeit wie beim Thier.

Nun findet man an jenen Orten der Temperaturextreme (Thermen, heiße Himmelsstriche einerseits; für unendliche Zeiträume vereiste Gegenden der Pole, der Gletschergebiete andererseits) das Thierleben einmal so vertreten, daß man annehmen muß, die in dem Eise vorkommenden niederen Thiere, Infusorien und Eier höherer Insecten sinken in der That mit ihrer Körperwärme auf die Temperatur des umgebenden Medium. Im Großen und Ganzen macht sich aber doch ein in der Eigenwärme begründeter Zug für beide Reiche in durchschlagender Weise geltend:

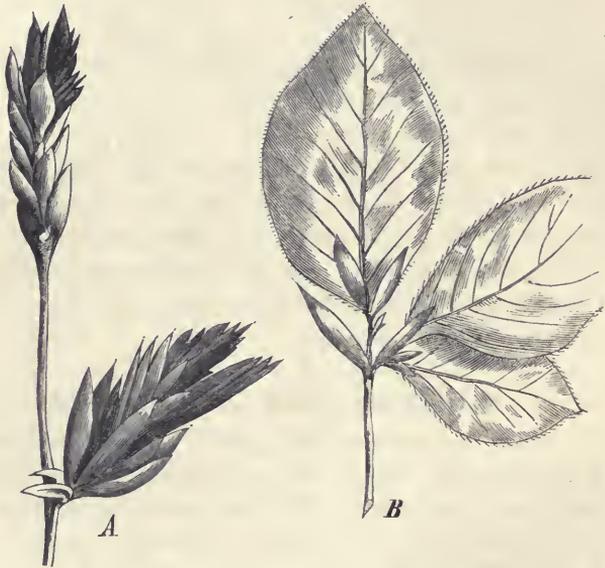


FIG. 471. A. Knospe an der äußeren Seite eines Astes, B. an der innern Seite desselben Astes im April.

Die höheren Thiere ertragen nicht eine Schwankung von mehreren Graden in der Blutwärme und bringen es gleichwohl dahin, daß sie die arctische und hochalpine Region bewohnen. Die höheren Pflanzen ertragen aber eine Temperaturschwankung aller ihrer Theile von mindestens 30 bis 50° C. (innerhalb welcher der Gefrierpunkt des Wassers liegt) und dringen nicht so weit vor wie das Thier.

Dieß aber ist lediglich in mechanischen Hindernissen begründet. Gletscher, Eis und Schnee, nackte Felsmassen machen eben die Existenz wurzelnder Pflanzen an sich unmöglich. In der That ist die Eisregion¹⁾

¹⁾ Für uns ganz nahe belegene Studienreviere sind: Rhonegebiet, die Gletscherarme des Aletschgletschers, die Eisregion von Chermontane im Bagnothal mit dem Uebergang nach Aosta, Zermatt und Einfluchtal mit dem Uebergang über das Weißthor nach Val

unferer hochalpinen Gegend nur von Flechten und niedersten Algen über meilenweite Strecken allein bewohnt. Von höheren Thieren ist im Glettschereis nur die *Desoria glacialis* heimisch, wenn von den gelegentlichen Wanderungen der Säugethiere aus der Region der Baumgrenze und den durch Wind verflagenen Insecten, wie selbstredend, abgesehen wird.

C. Schutz gegen die Strahlung, Haare.

Ein dicht filzig behaartes Laubblatt läßt den Wärmestrahle nur sehr geschwächt hindurch, umgekehrt schützt die Behaarung gegen die Erkältung durch Ausstrahlung. Eine große Anzahl unferer Waldbäume schützt die jugendlichen Blatt- und Zweigorgane, so lange sie in der Knospe verharren, durch dicht gestellte Haare, welche bei der Streckung auf eine größere Fläche gebracht werden und bei vielen schließlich abfallen. Eine große Anzahl hochalpiner Pflanzen zeichnet sich durch dichte Behaarung aus, in erster Linie die Compositen. Gerade in den Hochalpen bewirkt die Strahlung den raschesten Temperaturwechsel in den weitesten Grenzen. Man wird nicht zu hoch greifen, wenn man das Temperaturintervall, welches die bestrahlten Glettscherpflanzen in hoher Lage innerhalb weniger Minuten erfahren können, auf 30—40° C. annimmt.

D. Durchstrahlung und Diffusion der Wärmestrahlen.

Die verhältnißmäßig große Undurchlässigkeit des Laubblattes für Wärmestrahlen zwingt die baumartigen Pflanzen, die absorbirenden Flächen möglichst gleichmäßig über den gewonnenen Raum so zu vertheilen, daß die Extreme der Beschattung vermieden werden. Viele Bäume, welche dieß nicht erreichen, so als ganz in die Augen springende Beispiele die großblättrigen Catalpen, Paulownia, Pavia, Aesculus, zeichnen sich durch ganz lockere Beftung und Beblätterung aus, das mittlere Verhältniß erreichen die gefelligen Laubbäume der gemäßigten Zone, die Nadelhölzer, durch die äußerste Kleinheit und größte Zahl der Blätter (Nadeln) bei vortheilhaftester Vertheilung.

Bei der directen Bestrahlung der Thermofäule mittelst einer Lampe und eines Kugelreflectors erhielt ich den Aufschlag der Nadel zu 85°. Die Einschaltung eines Laubblattes von *Viburnum Tinus* ergibt 42°,

eine Glasplatte	an Stelle des Blattes	65°,
zwei Glasplatten	» » » »	55°,
drei	» » » »	44°.

d'Anzasca und dem Lago Maggiore. Das Studienrevier von der Rhonemündung in den Lemanfee aufwärts bis zu den Eisregionen des Weißthors und hinab nach der Lombardischen Ebene giebt den besten Ueberblick über Vegetationsgrenzen nach dem Temperaturminimum zu.

Es gehören somit etwa 3 Glascheiben dazu, um denselben Effect in der Aborption zu erzielen, wie in einem einzigen Laubblatte.

E. Beschattung und Grösse des Laubblattes.

Die Beschattung der Pflanze, insbesondere der Baumkrone in sich selbst, bewirkt, daß die tieferen Blattgebilde in der Ausbildung beeinträchtigt werden. Jedes tieferstehende Blatt steht in gewissem Sinne im Kampf

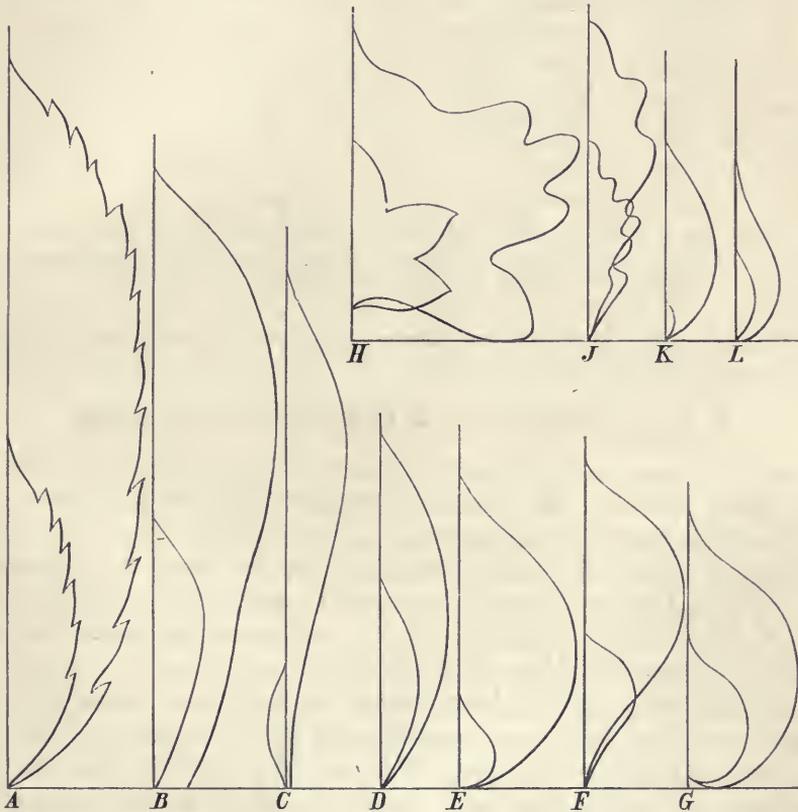


FIG. 472. Verhältniß der größten und kleinsten Blattfläche. *A* *Castanea vesca*. *B* *Aesculus hippocastanum*. *C* *Pavia lutea*. *D* *Fagus sylvatica*. *E* *Alnus incana*. *F* *Alnus glutinosa*. *G* *Tilia europæa*. *H* *Acer platanoides*. *J* *Quercus pedunc.* *K* Ulme. *L* *Betula alba*.

um Licht und Existenz mit dem höheren schattenwerfenden. Die verschiedenen Baumarten zeigen in dieser Hinsicht eine verschiedene Empfindlichkeit, welche wohl herausgefunden werden kann, wenn man an zahlreichen Zweigen den mittleren Werth der größten und kleinsten Blattfläche vergleicht. Solche Messungen sind in der Figur 472 veranschaulicht. Es ist die größte und die kleinste Blattfläche dort verzeichnet:

Zunächst schwanken die Gewichte der Blätter in weiten Grenzen. Setzen wir in der nachfolgenden Tabelle das Gewicht der kleinsten Fläche gleich eins, so verhalten sich die Gewichte der größten Fläche wie:

Pappel	1,16,
Birke	2,50,
Eiche	2,6,
Kaſtanie	3,43,
Buche	3,72,
Alnus viridis	4,00,
Linde	4,10,
Alnus glutin.	4,67,
Spitzahorn	4,71,
Alnus incana	6,00,
Hainbuche	6,42,
Roßkaſtanie	7,23,
Pavia	17,11,
Ulme	23,33.

Ulme und Roßkaſtanie haben das Extinctionsvermögen von 2,166 für die Strahlen-*gruppe BC*, bezogen auf die Buche als Einheit (f. oben S. 499). Es wirkt hier alfo vorzugsweiſe das Licht und wohl erſt in zweiter Linie die dunkle Wärme.

§ 41. Temperatur als Bedingung des Lebens.

Wenn einem Körper dunkle Wärme zugeführt wird, ſo wird dieſe in zwei Arten von Arbeit verwandt:

1^o der Körper dehnt ſich aus, d. h. die Anziehungskräfte zwifchen den kleinsten Theilchen werden überwunden; äußere Arbeit;

2^o die kleinsten Theilchen werden in Bewegung geſetzt, es möge dieſe eine ſchwingende Molecularbewegung ſein.

Es giebt nun, wie aus der mechanischen Theorie der Wärme bekannt iſt (und wie aus den früheren Abhandlungen, f. oben S. 480, erhellt), keine Methode, die innere Arbeit durch Wärmeeinheiten auszudrücken; mit Ausnahme derjenigen Wärmemengen, welche bei den Uebergängen eines und deſelben Körpers durch die drei Aggregate zum Vorfchein kommen (latente Wärme). Wählen wir als Beiſpiel das Waſſer als die Subſtanz, welche in der Pflanze in allen drei Aggregatzuſtänden vorkommt.

Führen wir die gegebene Waſſermiſſe durch die Temperaturen von 0 in der Richtung nach $+100^{\circ}$ C., ſo erreichen wir, daß ſie proportional der zugeführten Wärmemenge dünnflüſſiger wird, daß ihre Theilchen ſich gegenseitig leichter verſchieben, ſich gegenseitig raſcher bewegen. Außerdem aber vermag ſie dieſe Bewegung an das Instrument zu übertragen, welches wir benutzen, um die Temperatur zu beſtimmen: das Queckſilber

des Thermometers nämlich geräth in einen ähnlichen Zustand, wenn wir es in das erwärmte Wasser bringen wie dieses selbst. Die äußere Arbeit besteht in der Volumvergrößerung der gegebenen Wassermasse. Beide Zuwächse molecularer Bewegung stellen sich die Physiker als genau proportional der zugeführten Wärmemenge vor. Bei hundert Grad angekommen steigt die Bewegung des Thermometers nicht mehr, trotzdem nun stetig

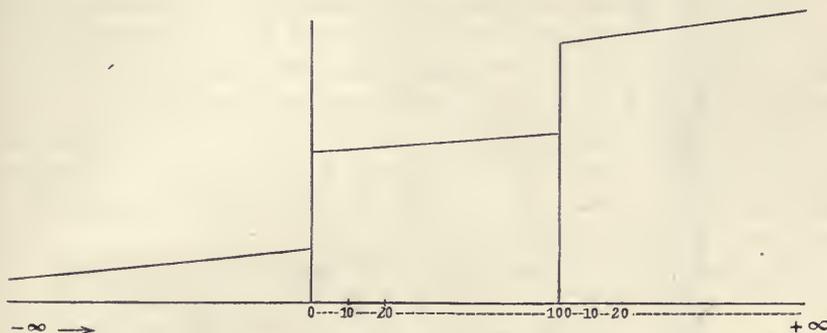


FIG. 473. Schema der Function der Wärmezufuhr zu einer begrenzten Wassermasse. Von $-\infty$ nach 0° des Celsius-thermometers soll der Wassermasse aus einem sehr großen Wärmerefervoir positive Wärme zugeführt werden. Diese Wärmezufuhr ist proportional dem in der Masse wahrnehmbaren Temperaturzuwachs bis 0° . Von nun ab tritt für die gleiche Wärmezufuhr kein Temperaturzuwachs ein, was dadurch dargestellt ist, daß der Ordinatenwert plötzlich steigt. Ebenso verhält es sich bei 100° .

noch Wärme zugeführt wird. Das Wasser bleibt aber auch nicht mehr flüchtig, es geht in den Gaszustand über. Die Theilchen stoßen sich gegenseitig ab, die zugeführte Wärmemenge verschwindet für die thermometrische Wahrnehmung. Sie wird nach derselben Vorstellung wie oben verbraucht, um die Cohäsion der kleinsten Theile aufzuheben (Wärme wird latent). Wärme verrichtet äußere Arbeit.

Führen wir umgekehrt die Wassermasse von 100° nach 0° C. hin, so ist selbstredend, daß daselbe Maß Wärme, welches auf dem Hinweg nach 100° C. zugeführt wurde, jetzt aus der Masse herausgezogen werden kann. Je mehr dieß geschieht, um so schwerflüssiger wird die Masse und desto weniger vermag sie die innere schwingende Bewegung der Molecüle an die Quecksilbermasse des Thermometers zu übertragen.

A. Geringe Eigenwärme.

Die Pflanze besitzt eine geringe Eigenwärme. Entsprechend der Ansammlung strahlender Wärme und der Umsetzung derselben in die chemische Spannkraft der verbrennlichen Assimilationsproducte ist ihre Verbrennung außerordentlich klein. Die bei uns einheimischen Pflanzen vereisen vollständig in strengen Wintern. Dieß zeigt sich namentlich bei unseren Waldbäumen. In dem Zeitintervall von 4 Wochen können beide Bewegungen,

Vereifung und Translocation der Stärke, liegen. Ein Unterschied von 20 bis 30° C. im Innern der Bäume im Zeitraum weniger Tage der Frühlingsperiode ist kein feltenes Vorkommniß.

Die vegetativen Organe zeigen im ausgewachsenen Zustand, wenn sie nicht bestrahlt sind, meist die Temperatur der Umgebung oder eine etwas niederere.

Bei der Keimung, der Knospenentwicklung und während der Blüthezeit steigt die Verbrennung und dementsprechend die Temperatur an solchen Orten, wo sie zusammengehalten wird, wie in den Knospen, den Blüten-scheiden der Colocasien, Caladien und in großen Blütenhüllen.

Im Uebrigen gilt für alle höheren Pflanzen: So unvollkommen in dem Apparat die Einrichtung ist für die Einstrahlung, eben so vollkommen ist er für die Ausstrahlung. Alle Pflanzengewebe aber sind schlechte Wärmeleiter.

Die Temperatur in dem Kolben eines *Arum maculatum* beträgt:

Zeit.	T. Luft.	T. Kolben.
3 Uhr Nachm.	15,6 ⁰	16,1 ⁰
5 » »	14,7 ⁰	17,9 ⁰
5 ³ / ₄ » »	15,0 ⁰	19,8 ⁰
6 ¹ / ₄ » »	15,0 ⁰	21,0 ⁰
6 ³ / ₄ » »	14,9 ⁰	21,8 ⁰
7 » »	14,3 ⁰	21,2 ⁰ .

Bei *Caladium* ist der größte Unterschied der Temperatur im Innern der Pflanze und der Luft etwa 6° C.

Zu Messungen über die Eigenwärme kann man die Vorrichtung Fig. 473 in Anwendung bringen. In *A* wurde in einen künstlichen Einschnitt an einer raschwüchsigem Daturapflanze eine Thermofäule eingesetzt, mit Gypsfuck befestigt. Die Ausschläge am Thermomultiplikator sind sehr klein.

B. Athmung¹⁾.

Die Lebenserscheinungen sind abhängig von dem Vorgang der Verbrennung. Das einzige Verbrennungsproduct, welches für die Analyse zugänglich, ist die Kohlenäure. Die Athmungsgröße wird in der Kohlenäuremenge bemessen, welche in der Zeiteinheit von lebenden Pflanzen ausgefchieden wird. Im Allgemeinen ist dieselbe bei ausgewachsenen Pflanzentheilen schwächer, sie steigt bei solchen, welche in Streckung befindlich sind. Die Athmung wächst bis zu gewisser Grenze mit der Temperatur.

1) Prof. Dr. Jos. BÖHM, Ueber die Respiration von Landpflanzen. Abdr. aus dem Sitzungsber. d. k. Acad. d. Wissensch. 1873. — WOLKOFF und AD. MAYER, Beiträge zur Lehre über die Athmung der Pflanzen. Landw. Jahrb. III. — J. BÖHM, Respiration der Wasserpflanzen. Abdr. a. d. Sitzungsber. d. k. Acad. d. Wissensch. Wien 1875.

Sie ist wohl unabhängig von dem Lichte, dafern bei der Beleuchtung nicht ein Temperaturzuwachs eintritt und dafern nicht die Assimilation in grünen Pflanzentheilen, welche den umgekehrten Proceß, die Reduction der Kohlenäure, herbeiführt, eine Rolle spielt. Der Sauerstoffbedarf ist für die Blüten am größten. In diesen sind wieder die Geschlechtsapparate diejenigen, welche am meisten Sauerstoff verbrauchen, so wurden für daselbe Volum der Organe von *Hibiscus speciosus* verbraucht an Sauerstoff:

Blüte 11,0 ccm, Blätter 4 ccm,
Geschlechtsorgane 18 ccm.

WOLKOFF und MAYER bedienten sich zu einem eingehenderen Studium über die Athmung eines Apparates von dieser Beschaffenheit: statt der einfachen Absorptionsröhren wandten sie U-förmige Röhren an; der eine Schenkel derselben ist erweitert und dient als Recipient für die Pflanzentheile, welche in kleinen Glasgefäßen eingeführt werden, der andere Schenkel ist getheilt und calibriert. An ihm wird die Absorption der Kohlenäure abgelesen. Diese Röhren werden in einer Quecksilberwanne aufgestellt, der Recipient wird unten luftdicht verschlossen. In die calibrierte Röhre wird etwas Natron oder Kalilauge gegeben. Der Apparat wird in einem Wasserbad auf die gewünschten Temperaturen gebracht¹⁾.

Man kann sich auch der nachfolgend beschriebenen Vorrichtung bedienen:

Der Theil des Apparates, welcher die analytischen Arbeiten wesentlich erleichtert, besteht in sechs

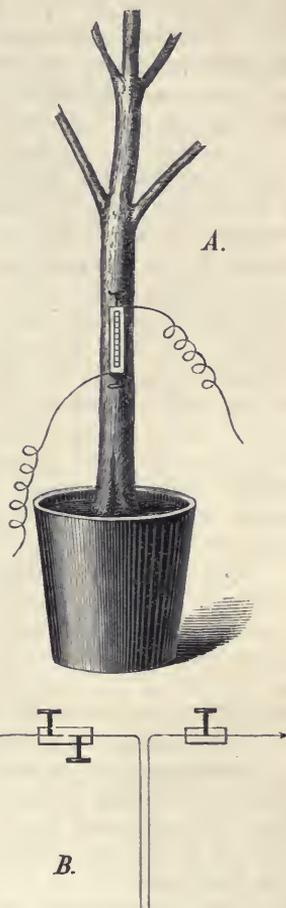


FIG. 474. A. Eine Thermoäule, am Stamm einer Daturapflanze eingelassen. B. Eine Nadel, welche aus einem Antimon- und Wismuthstreifen zusammengelöthet ist, in Richtung der Pfeile mit dem Multipliator verbunden.

¹⁾ TH. SAUSSURE (*Ann. des scienc.* 1834. II. S. 270. *Altération de l'air* u. s. f.) untersuchte die Veränderung des Gases, in welchem Pflanzensamen keimen. Schon SCHEELE hatte bei keimenden Erbsen gefunden, daß das Volum der Gase nicht verändert wird durch die Absorption (Verbrennung) des Sauerstoffes. SAUSSURE kommt zu demselben Resultat. ELLIS aber findet, daß das verschwindende Volum Sauerstoff größer ist als das auftretende Volum Kohlenäure. Keimungen in atmosphärischer Luft weichen ab von Keimungen in Sauerstoff; in den letzteren ist die Absorption von Sauerstoff größer als die Auschei-

Glashähnen, jeder Hahn mit dreifacher Durchbohrung. Durch einen dieser Hähne ist man in der Lage, in Verbindung zu bringen:

- 1° den Recipienten, welcher die Versuchspflanzen enthält, mit dem Abforptionsrohr, in welchem die Ablefung gemacht wird;
- 2° das Abforptionsrohr mit der Röhrenleitung, welche nach einem luftverdünnten Raume führt. Diefes wird durch eine Queckfilberluftpumpe hergestellt und erhalten;
- 3° erlaubt der Hahn, ein rechtwinkliges Abzugsrohr mit den Recipienten für die Versuchspflanzen zu verbinden.

Die sechs Hähne ruhen in der Rinne eines Holzgestelles, in welcher sie durch Queckfilber an dem unteren Ende von der Atmosphäre abgeperrt sind. Die Hülfe von Glas, in welche die beiden rechtwinklig gebogenen Röhren in dem Buge des U-Rohres einmünden, wo sie mit den Durchbohrungen des Hahnes in Verbindung gebracht werden können, erlaubt, daß man durch eine mit Queckfilberfublimatlöfung bedeckte Queckfilbermaffe auch den oberen Theil des Hahnes von der Atmosphäre abschließt.

Die Recipienten, welche die Versuchspflanzen aufnehmen, sind Glaszylinder von 30 ccm Inhalt. Sie führen durch einen Kautschukpfropfer nach zwei Röhren. Die eine ist das mit dem Hahn in Verbindung stehende Abforptionsrohr, die andere rechtwinklig gebogene besitzt an seinem Ende ein BUNSEN'Sches Ventil, welches mit einem der Röhren in der gemeinschaftlichen Gasleitung verbunden werden kann. Diese letztere führt nach einem gegen 50 l haltenden Gasometer. Mit dieser Batterie kann man sechs Gasanalysen ausführen, während die Versuchspflanzen in den Recipienten athmen. Durch die Analyse der Gase ist der Versuch nicht unterbrochen. Eine Versuchsreihe mag in dem folgenden Sinne verlaufen:

Die Recipienten werden mit den sechs Versuchspflanzen beschildet und durch den Kautschukpfropfer geschlossen. Die BUNSEN'Schen Ventile werden mit der gemeinschaftlichen Gasleitung in Verbindung gebracht, die Hähne werden so gestellt, daß die Luft aus den Recipienten nach den rechtwinkligen Röhren ausströmen kann. Der Glashahn wird geöffnet, nun strömt aus dem Gasometer das Gasgemisch so lange durch das System, bis alle atmosphärische Luft verdrängt ist. Jetzt werden die BUNSEN'Schen Ventile geschlossen und die sechs Glashähne so gestellt, daß die Durchbohrungen mit keinem Theil des Apparates in Verbindung stehen. Während der Dauer des Versuches wird das Queckfilbertrommelgebläse in Bewegung gesetzt und stellt einen von der Röhrenleitung durch einen Hahn getrennten luftverdünnten Raum her, welcher mit einem Manometer in Verbindung steht. Es möge die Evacuation desselben auf 500 oder 600 mm Queckfilberstand in dem Manometer vorgeschritten sein, so ist das Volum der Flasche, in welchem das Vacuum hergestellt ist, so gewählt, daß, wenn die Luft aus den Abforptionsröhren in das Vacuum strömt, der Stand am Manometer nur wenig geändert wird. Soll nun zur Analyse der Gase geschritten werden, welche von den Pflanzen in dem Recipienten in einem bestimmten Sinne verändert wurden, so werden die Glashähne so gestellt, daß die Abforptionsröhren mit den Röhren in Verbindung gerathen, welche nach dem Vacuum führen. Ist dieß für eine beliebige

dung von Kohlen säure. In den Versuchen findet BOUSSINGAULT, daß in verschiedenen Phasen der Keimung zum Theil das Volum des CO_2 über das des O (I. Phase), oder umgekehrt (II. Phase) überwiegt bei der Keimung in Luft. Keimende Bohnen, Roggen und andere in reinem Sauerstoff gaben die folgenden Resultate: Alle angewandten Samen abforbiren durch die Keimung Sauerstoff, sowohl in reinem Sauerstoff wie in der Luft. Diese Abforption in der Luft kann nicht immer beobachtet werden, weil sie maskirt ist durch den Sauerstoff und die Kohlen säure, welche durch die Verbrennung des Sauerstoffs erzeugt wird. Im Ganzen sind die Schwankungen der Volume klein.

oder für alle Röhren gefchehen, so wird der Glashahn geöffnet, und die Abforptionsröhren füllen sich mit Queckfilber. Jetzt wird der Glashahn nach dem Vacuum zu geschlossen, und die Hähne werden so gestellt, daß die Recipienten mit dem queckfilbergefüllten Abforptionsrohr in Verbindung stehen. Es tritt etwas Gas aus den ersteren in die letzteren über, und die Glashähne werden wieder außer Verbindung mit allen Hohlräumen gebracht. Das so übergeführte Gasvolum kann nunmehr analysirt werden, ohne daß der Versuch in den Recipienten unterbrochen wird. Es muß bemerkt werden, daß das Volum der Recipienten so gewählt ist, daß eine für den Zweck der Analyse genügende Menge Gas nach dem Abforptionsrohr übertreten kann.

Als Beispiele für die Athmungsgröße mögen diese Angaben der WOLKOFF- und MAYER'schen Abhandlung entnommen sein:

I.

Die Keimpflanzen von vier Buchweizenkeimlingen im Gesammtgewicht von 0,12 g verbrauchten bei den Temperaturen von 19—20° C. in drei Tagen aus einem Volum Luft von nahezu 25 ccm 2,4 ccm Sauerstoff.

II.

Die Abhängigkeit von der Temperatur ergab sich bei einer Keimpflanze von *Tropæolum majus*:

in der Stunde bei	16,2° C.	zu	0,53 ccm
» » » »	25,4° C.	»	0,76 »
» » » »	32,8° C.	»	1,00 » .

III.

Ein rascher Temperaturwechsel beeinflusst die Keimpflanzen nicht wesentlich anders, als daß sehr bald die Athmungsgröße, welche der neuen Temperatur entspricht, eingehalten wird. Bis in die Nähe von 35° C. steigt dieselbe nahezu proportional der Temperatur.

IV.

Die Athmung oder besser gesagt die Kohlenäurebildung rasch getödteter Pflanzentheile ist wenigstens für kurze Zeit nach dem Tod verschwindend klein gegenüber dem lebenden Zustande.

V.

In Folge der Athmung wird die Luft im Holz der Bäume wesentlich kohlenäurereicher. So enthält die aus lebenden Zweigen ausgepumpte Luft, nach BÖHM, 30% Kohlenäure, während der Sauerstoffgehalt geringer ist. Auch BÖHM macht darauf aufmerksam, daß im Zeitraum von 6—7 Stunden in getödteten Zweigen nur unbedeutende Mengen Kohlenäure gebildet werden. Auch in gefrorenen, vereisten Zweigen ist die Luft sauerstoffärmer und kohlenäurereicher als die Atmosphäre.

VI.

AD. MAYER¹⁾ weist nach, daß die Sauerstoffausscheidung unabhängig von der Kohlenfäureaufnahme erfolgen kann, da der Pflanze noch die Reduction der organischen Säuren zur Verfügung steht, welche zum Theil in krySTALLINISCHEN Salzen niedergeschlagen sind. Umgekehrt wird von demselben Forscher und von BÖHM auf die innere Athmung aufmerksam gemacht. Bei diesem Vorgang wird Kohlenfäure bei Abschluß von Sauerstoff ausgeschieden.

§ 42. Phosphorescenz²⁾.

Die Beobachtungen über Ausstrahlung von Eigenlicht an anorganen Körpern bei den Schwefel- und Phosphorverbindungen des Calcium, Strontium, Barium haben ergeben, daß die Phosphorescenz von einer vorherigen Inflation abhängig ist.

An organischen Körpern wurde das Leuchten beobachtet an faulen Fischen, an gehacktem Schweinefleisch, faulem Holz, an den Rhizomorphen. Luftzutritt ist die wesentliche Bedingung einer hier vor sich gehenden Verbrennung. Unter der Luftpumpe verschwindet die Phosphorescenz.

§ 43. Keimung³⁾.

Bei der Keimung sind zwei Aufgaben im Auge zu behalten:

1^o der morphotische Vorgang der Entwicklung, und dieser gehört in die allgemeine Morphologie, und

¹⁾ Sauerstoffabsccheidung bei Abwesenheit von Kohlenfäure. Heidelberg. Naturhist. Verein. 4. Aug. 1875.

²⁾ TH. HARTIG, Leuchten des weißfaulen Holzes. Bot. Ztg. 55. S. 148.

³⁾ JULIUS SACHS, Physiologische Untersuchungen über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur. PRINGSH. Jahrb. Bd. II. S. 338. — LINSSER, Die periodischen Erscheinungen des Pflanzenlebens in ihrem Verhältniß zu den Wärmeerscheinungen. *Mémoires de l'acad. impér. des scienc. de St.-Petersbourg. VII. Sér. T. XI. No. 7. 1867*, und zweiter Theil: *T. XIII. No. 8 et dernier. 1869*. — KIENITZ, Vergleichende Keimversuche mit Waldbaumsamen aus klimatisch verschiedenen gelegenen Orten Mitteleuropas. Botanische Untersuchungen von Dr. N. J. C. MÜLLER. II. 1. — Dr. JOS. BÖHM, Ueber das Keimen von Samen in reinem Sauerstoffgase. Abdr. a. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. 1873. — Prof. Dr. JUL. WIESNER, Experimental-Untersuchungen über die Keimung der Samen. Abdr. a. d. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. 1871.

2^o die physikalischen Bedingungen der Keimung.

Zu diesen letzteren gehören die geeigneten Temperaturen der Umgebung, Feuchtigkeit und sauerstoffhaltige Atmosphäre. Bei der großen Mehrzahl der Samen erfolgt die Keimung unmittelbar nach der Ausfaat und nachdem die äußeren Samenhüllen, das verhärtete Integument oder die Fruchtschale gequollen sind. Die Behandlung mit verdünntem Chlorwasser beschleunigt die ersten Vorgänge der Keimung sehr beträchtlich. Die Früchte von *Carpinus* und *Fraxinus* keimen erst im zweiten Sommer nach der Ausfaat, ebenso im Allgemeinen die Samen von *Pinus Cembra* unter den gewöhnlichen Bedingungen der Ausfaat im Freien. Dieselben können indeß durch Einbetten in feuchte Erde und häufiges Begießen mit warmem Wasser auch im nächsten Sommer nach der Erndte zur Keimung gebracht werden. Von Interesse ist, daß die Keimlinge in reinem Sauerstoffgas unter dem gewöhnlichen Druck nicht fähig sind, auf Unkosten ihrer Reservennährkörper zu wachsen. Wird die Sauerstoffatmosphäre aber durch die Luftpumpe oder mit Wasserstoffgas verdünnt, so daß nahezu derselbe Partialdruck des Sauerstoffes herrscht wie in der Atmosphäre, so erfolgt die Keimung in normaler Weise.

Die Ergebnisse der Forschungen LINSSEr's sind kurz folgende: die Reihenfolge der Entwicklung (Belaubung, Blüthe etc.) ist für eine Reihe derselben Pflanzenarten nicht an allen Orten dieselbe, weil die Agentien des Klimas verschieden auf verschiedene Arten einwirken. Es kann z. B. an einem Orte eine Pflanze früher blühen als eine andere, an einem anderen Orte können sich beide umgekehrt verhalten. Bei der Prüfung der feither über die Form des Zusammenhanges der Erscheinungen der jährlichen Temperatur mit den Lebenserscheinungen der Pflanzen aufgestellten Hypothesen, verwirft LINSSEr nicht nur die Voraussetzung, daß zur Erreichung eines bestimmten Zustandes in der Vegetation eine ganz bestimmte Temperatur in der Jahreszeit erreicht sein müsse, sondern auch die Hypothesen, welche die aus den Factoren Temperatur und Zeit gebildeten «Temperatursummen» als Maßstab für die klimatischen Ansprüche einer Pflanzenart an allen Orten annehmen. LINSSEr stützt sich hiebei auf zuverlässige Zahlenangaben, welche durch vieljährige phänologische Beobachtungen an verschiedenen Orten Europas gewonnen wurden. Aus der Vergleichung derselben Zahlen findet er folgende Gesetze:

«Die an zwei verschiedenen Orten den gleichen Vegetationsphasen zugehörigen Summen von Temperaturen über 0^o sind den Summen aller positiven Temperaturen beider Orte proportional», d. h. «ein jedes Pflanzenindividuum besitzt die Fähigkeit, seinen Lebenskreis so zu durchlaufen, wie es die Wärmesumme seines Heimathortes erfordert, und wie es seine vorausgegangenen Generationen gewohnt geworden sind, indem Individuen gleicher

Art an verschiedenen Orten zu gleichen Entwicklungsstufen gleiche Portionen der ihnen gewohnten Wärmefumme verwenden.»

LINSSER sucht Anwendung seiner Ergebnisse für die Samenverfetzung und Akklimatifikation der Pflanzen; er stellt sich vor, beim Keimling sei die Geschwindigkeit der Entwicklung gleich den einwirkenden Temperaturen, dividirt durch die gewohnten jährlichen Wärmefummen der Mutterpflanzen. Er stützt sich auf die Erfahrungen, daß im Norden erzeugte Pflanzen, nach Süden verfetzt, den hier erzeugten voreilen, während südliche Pflanzen, nach Norden verfetzt, hinter den hier erzeugten zurückbleiben; ferner daß im Gebirge erzeugte Pflanzen, in die wärmere Ebene verfetzt, den hier erzeugten voreilen, in der Ebene erzeugte Pflanzen, in's kältere Gebirge verfetzt, hinter den hier erzeugten zurückbleiben. Als Beweise hierfür dienen ihm vorzugsweise die Ergebnisse der Ausfaaten noch nicht akklimatirter Getreidearten aus verschiedenen Gegenden.

Die erblich gewordenen Verschiedenheiten der Entwicklung betrachtet LINSSER als eine allmälige Anpassung, nicht als eine directe Beeinflussung durch das Klima.

In der zweiten Abhandlung vom Jahre 1869 veröffentlicht LINSSER die Resultate einer eingehenden Bearbeitung des europäischen Materials an Beobachtungen der Holzpflanzen in Bezug auf Wärme und Regenmenge. Von der Voraussetzung ausgehend, daß die Wärme die Hauptkraft, das Wasser das Hauptmaterial für das Pflanzenwachsthum sei, folgert er, daß das Verhältniß beider zu einander hauptsächlich die Eigenthümlichkeiten der Pflanzenentwicklung in verschiedenen Klimaten bestimme. LINSSER bemüht sich, eine ganz bestimmte, durch eine einfache Formel auszudrückende Beziehung zwischen Regen- und Wärmemenge zu finden, und stellt in dieser Richtung das reiche Beobachtungsmaterial zusammen. Als sicheres Ergebnis stellt sich heraus, daß in Gebieten mit regenarmen Sommern die Wärmealiquoten für eine bestimmte Entwicklungsphase kleiner sind, als die entsprechenden in Gebieten mit regenreichen Sommern; d. h. «die Pflanzen beeilen sich in jenen, in letzteren hingegen leben sie gemächlicher». Es folgen nun Schlüsse aus diesem Ergebnis über Akklimatifikation und natürliche Verbreitungsbezirke der Pflanzenarten. Als Hauptregulatoren für das Leben jeder Pflanze gelten LINSSER die individuelle Gewöhnung und das Princip der Sparsamkeit.

Als unmittelbar an die Resultate der LINSSER'schen Beobachtungen und Berechnungen anschließend können die Ergebnisse der vergleichenden Keimversuche mit Waldbaumsamen von M. KIENITZ betrachtet werden. Experimentell wird hier die Richtigkeit eines Theiles der Folgerungen LINSSER's bewiesen. Samen der *Picea excelsa*, *Pinus silvestris*, *Abies pectinata*, *Fagus silvatica*, *Acer pseudoplatanus*, aus verschiedenen Lagen vieler Orte Mitteleuropas

stammend, wurden auf Keimplatten unter gleichen Bedingungen ausgefät und je eine Reihe einem Wärmegrad in der Nähe des Minimums der Keimtemperatur (bei den angewandten Arten zwischen 5 und 11° C.), eine zweite derselben Samennummern einem solchen in der Nähe des Optimum bis Maximum (d. h. einer Temperatur von durchschnittlich 19° C.) ausgesetzt. — Innerhalb der Arten zeigten die Samen aus kälteren Gegenden ein geringeres Wärmebedürfnis als die aus wärmeren Lagen. Erstere vermochten bei niedrigerer Temperatur zu keimen als letztere, diese dagegen eine höhere Temperatur zu ertragen, resp. mit Vortheil zu verwenden als jene. Selbst Samen, auf Südseiten der Gebirge gereift, hatten ein höheres Wärmebedürfnis als solche von Nordseiten unter sonst ähnlichen Bedingungen. Um die Vergleichung der Samen aus verschiedenen Gegenden zu ermöglichen, wurde das verticale Verbreitungsgebiet der Holzarten in Mitteleuropa in überall gleichbreite Schichten getheilt, die, untereinanderliegend gedacht, die obere Verbreitungsgrenze der Holzarten als Grundlage haben. Alle Samennummern aus einer jeden Schicht wurden zusammengefaßt und die Durchschnittswerthe der Keimresultate aus den verschiedenen Schichten einander gegenübergestellt. Die Voraussetzung, daß die den Bäumen gebotenen klimatischen Bedingungen in jeder dieser Schichten innerhalb Mitteleuropa's annähernd gleiche sein würden, fand durch den Erfolg der Versuche ihre Bestätigung, doch muß die Methode, in den Erzeugnissen einfach das Gesamtproduct der klimatischen Einflüsse als verkörpert zu betrachten, mit großer Vorsicht und Sachkenntnis angewandt werden, wenn sie einen besseren Anhalt gewähren soll als die Beobachtung der einzelnen Factoren, welche stets mangelhaft bleiben wird, da es kaum möglich ist, ihren absoluten sowohl als ihren relativen Werth zu bestimmen.

Die Vergleichung der Samen verschiedener Arten mit einander ergab, daß nicht die Wärmesumme, welche die Mutterpflanze genießt, in hervorragender Weise die Ansprüche des Keimlings bedingt, sondern daß diese letzteren sich vorzugsweise der Temperatur angepaßt haben, welche in den vergangenen Generationen der Samen bei der Ausfaat geboten wurden. Die Samen der Tanne und Buche, d. h. der Arten mit höheren Ansprüchen an die Wärme keimen bei geringerer Temperatur als die der härteren Fichte und Kiefer. Die ersteren werden vor dem Winter ausgestreut und keimen, sobald der Boden frostfrei ist, die letzteren fliegen erst im Frühling auf den schon erwärmten Boden.

§ 44. Protoplasmabewegung abhängig von der Temperatur.

Die Protoplasmaströmung in den Stammzellen der Charen, in den Tradescantiahaaren eignet sich zu Messungen über die Geschwindigkeit der in dem Stamm fortbewegten festen Theilchen.

Man bedient sich zu diesen Beobachtungen der heizbaren Objecttische¹⁾. Nach den dießbezüglichen Untersuchungen NÄGELI's nimmt die Stromgeschwindigkeit mit der Temperatur nach dem in der Figur 475 verzeichneten Gesetze zu. Trägt man nämlich die Temperatur in die Abscissenaxe, die zugehörigen Zeiten in die Ordinaten, so erhält man eine Curve, welche nach der Abscissenaxe convex ist. Die Beschleunigung der Strömung nimmt mit der Temperatur stetig zu, bis in der Nähe von 30° C. plötzlich Stillstand eintritt.

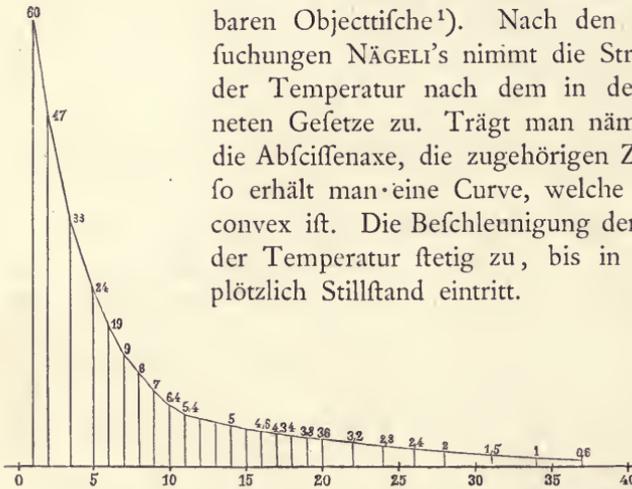


FIG. 475. Die Zeit, welche von einem Plasmakörnchen gebraucht wird, um die constante Weglänge von $\frac{1}{10}$ mm zurückzulegen, als Function der Temperatur dargestellt. Die Abscisse ist in Intervalle von 5° C. getheilt, die zugehörigen Ordinatenwerthe sind Secunden.

Bezüglich des weiteren Verlaufs der Curve von dem Punkt ab, wo die Geschwindigkeit ihr Maximum erreicht, waren die Forscher über diesen Gegenstand verschiedener Ansicht. Einigen (SACHS z. B.) erschien es wahrscheinlich, daß die Geschwindigkeit mit wachsender Temperatur wieder abnehme. Hienach würde unsere Curve ein Maximum besitzen, welches dem Temperaturoptimum entspricht in derjenigen Curve, welche die Wachstumsintensität der Keimpflanzen als Function der Temperatur bei constantem Zeitintervall darstellt.

Nach der NÄGELI'schen Anschauung der Sache hingegen sollte die Geschwindigkeit mit der Temperatur stetig wachsen, bis zu dem Temperaturgrad, bei welchem also die Bewegung im Maximum der Geschwindigkeit plötzlich aufhört. Es schien mir von Interesse, zu entscheiden, ob die eine oder die andere Ansicht richtig sei.

Ich bediente mich einer objectiven Bilddarstellung, eine Methode, welche mir die größte Genauigkeit in der Messung der relativen Strom-

Ich bediente mich einer objectiven Bilddarstellung, eine Methode, welche mir die größte Genauigkeit in der Messung der relativen Strom-

¹⁾ Dr. O. W. THOMÉ, Vorrichtung, um die Einwirkung der Wärme auf mikroskopische Objecte leicht beobachten zu können. 107. — Prof. MAX SCHULTZE, Ein heizbarer Objecttisch. 172. Bot. Ztg. 65.

geschwindigkeit erlaubte und welche gleichzeitig die Temperaturbestimmung unnötig machte. In dem Dunkelzimmer des physiologischen Laboratoriums stellte ich ein Sonnenmikroskop mit HARTNACK'schen Systemen auf und entwarf das Stromsystem einer Ecbaliumzelle als objectives Bild bei etwa 800facher Vergrößerung. Die Bahnlänge eines Plasmatheilchens konnte sehr leicht durch eine Zeichnung festgehalten werden. Die Bewegung verlief immer so, daß sie stetig beschleunigt ward, bis plötzlich alle Strömung aufhörte. Dieß traf stets in dem Zeitpunkt ein, wo die Geschwindigkeit die größte war.

§ 45. Wachstumsintensität von der Temperatur abhängig¹⁾.

Nach zwei Richtungen würde in der neueren Zeit die Abhängigkeit der Entwicklung von der Temperatur untersucht. BOUSSINGAULT sucht für den ganzen Cyklus der Lebenserscheinungen an einer gegebenen Pflanze eine Temperaturconstante, indem er die mittleren Tagestemperaturen addirt für alle Tage, welche der vegetative Proceß in Anspruch nimmt. Die Summe dieser Temperaturen oder, was daselbe ist, das Product aus der mittleren Tagestemperatur in die Anzahl der Tage, ist die Wärmeconstante der betreffenden Pflanzenart.

Der zweite Weg wurde zuerst von SACHS eingeschlagen. Hier wird der Zuwachs eines gegebenen Organes, insbesondere der Keimtheile, als Function der Temperatur bestimmt. SACHS stellt sich vor, daß für jeden vegetativen Proceß drei wesentliche Temperaturgrade zu beachten sind: eine niederste Temperatur, bei welcher soeben der in Frage kommende Proceß stillsteht, oder doch so langsam verläuft, daß er sich der Messung entzieht, dieß ist das Minimum der Temperatur für den in Frage kommenden Proceß; bei steigender Temperatur muß ein zweiter Temperaturgrad erreicht werden, bei welchem der Proceß sistirt wird, weil die Wärmebewegung jetzt zu groß ist, dieß ist das Maximum der Temperatur; zwischen diesen beiden muß ein Temperaturgrad liegen, wo der Proceß am raschesten verläuft: das Optimum der Temperatur. So liegt z. B. für die Streckung der Keimwurzeln bei dem Mais das Minimum bei 13,7°, das Optimum bei 27° und das Maximum in der Nähe von 34°. Für Phaeolus,

¹⁾ H. HOFFMANN, Untersuchungen zur Klima- und Bodenkunde mit Rücksicht auf die Vegetation. Bot. Ztg. 65. S. 1—124. — HUGO DE VRIES, *Matériaux pour la connaissance de l'influence de la température sur les plantes*. 1870. — WLADIMIR KCEPPEN, Wärme und Pflanzenwachstum. Moskau 1870. Kaiserl. Universitäts-Buchdruckerei. — HUGO DE VRIES, *Sur la mort des cellules végétales par l'effet d'une température élevée*. 1871.

die Bohne, liegt das Optimum bei 21° . Das Maximum liegt bei den unterfuchten Getreidefrüchten bei $22,8^{\circ}$ R.

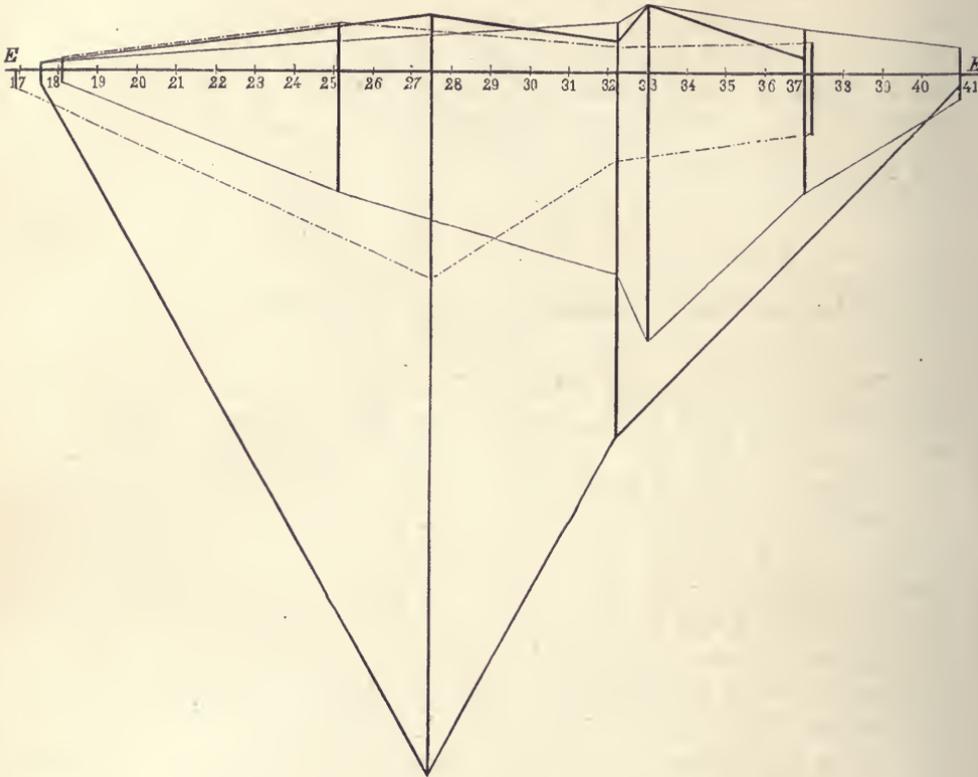


FIG. 476. Zusammenstellung der Zuwachse an dem Keimling als Function der Temperatur bei constantem Zeitintervall. Die in den Curven liegenden Ordinaten sind die Längen der Zuwachse bei den in der Abscissenaxe angegebenen Temperaturen (Celsius), unter der Axe *EE* für die Wurzel, über derselben für den Stamm. Die grob ausgezogene Curve gilt für die Gerste, die fein ausgezogene für den Mais, die punktirte für die Erbsen.

Die Fig. 476 veranschaulicht die Methode der Beobachtungen und deren Zusammenstellung. Die Abscissenaxe bedeutet die Temperatur der Orte, wo die Ausfaat der unterfuchten Pflanzen erfolgte. Die Ordinaten über der Abscissenaxe bedeuten die nach 48 Stunden erreichten Längen der Stämme, während die Ordinaten unter der Axe die Längen der Wurzeln darstellen. Der Uebergang in der Zuwachsfuction, Fig. 476, zwischen dem Minimum und dem Maximum wird im Allgemeinen eine stetige Function sein, deren absolutes Maximum im Optimum liegt.

§ 46. Bestimmung der Wärmemenge¹⁾.

Die oben angegebene Methode BOUSSINGAULT's²⁾ beruht auf der Voraussetzung, daß innerhalb engerer Grenzen eine höhere Temperatur den in Frage kommenden Vegetationsproceß beschleunigt, während die niedere Temperatur ihn verzögert.

¹⁾ A. DE CANDOLLE, *Sur la méthode des sommes de température appliquée aux phénomènes de la végétation*. Derf. «Des effets différents d'une même température sur une même espèce au nord et au midi. *Compt. rend. de l'acad. des sciences. Genève. Juin 1875.*

²⁾ In Bezug auf die Cerealien hat BOUSSINGAULT eine Reihe von Beispielen gegeben, so bei dem Sommerweizen:

	Zahl der Tage.	Mittlere Temp.	Ausfaat.	Erndte.	Wärmesumme.
Elfaß	131	15,8	—	—	2069
Kingston (New-York) 41,5° n. Br.	106	20	—	—	2120
Cincinnati (Ohio) 39,6° n. Br. Cinjaca (Bogota) 4,5° n. Br. 7000 F. ü. M.	137	15,7	Ende Febr.	Mitte Juni	—
Quinchuqui (Quito) 0° n. Br.	147	14,7	Februar	Ende Juli	2160
Venezuela 10,13° n. Br.	181	14	Anfang Febr.	“ “	—
Truxillo 9° n. Br.	92	24	—	—	2208
	100	22,3	—	—	—

Die Wärmeanprüche der Getreide gehen für lange Zeit in die späteren Ausfaatgenerationen über. Die Landwirthe wechseln mit dem Saatkorn zum Theil, um auf geringerm Boden mit ausländischen härteren Racen größere Resultate zu erzielen wie mit dem heimischen Saatkorn.

Nach BOUSSINGAULT braucht der Mais von der Ausfaat bis zur Erndte in

Bechelbronn 1. Juni bis 1. Oktober 122 Tage } mittlere Temp. 20° C.

Elfaß Ende April « Ende Sept. 153 « }

Languedoc } 1. Mai « 10. Sept. 135 « « 22,7° C.

44,7° n. Br. } Kingston Ende Mai « September 122 « « 22° C.

Der Mais braucht aber an den Ufern des Magdalenenflusses auf urbar gemachten Boden unter 10° n. Br. nur 92 Tage bei 27° mittlerer Temperatur und an der oberen Grenze in den Anden (Bogota 4 1/2° n. Br., 7000 F. ü. M.) 183 Tage bei 15° C. mittlerer Temperatur.

Nach SCHÜBLER (Pflanzenwelt Norwegens) schwankt die Anzahl der Tage für die wichtigsten Getreide in Skibotten (69,28° n. Br., 38° o. L.) in Norwegen zwischen 20. Mai und 3. Juni als den Tagen der Keimung, und 9. Mai und 28. Mai als den Tagen der Ausfaat. Die Erndte fällt zwischen 12. August und 12. September. Die Zahl der Tage für die Entwicklung schwankt zwischen 79 und 124. Die Vegetationszeiten waren im Durchschnitt:

Als Minimum der jährlichen Baumvegetation werden drei Monate der möglichen Vegetationsdauer und eine mittlere Temperatur von 8° C. gefordert. Die Nadelhölzer sind gegenüber den Laubhölzern im Vortheil, da die Blattentfaltung bei ihnen eine weniger gefährliche Krise in dem ganzen Leben darstellt wie bei den Laubhölzern. Die Abietineen beherrschen in Wirklichkeit aus diesem Grunde den nordischen und hochalpinen Waldgürtel fast ausschließlich bis zur äußerst möglichen Grenze des Baumwuchses.

vierzeilige Gerste	98 Tage.
nackte "	109 "
Mandschurei "	109 "
Sommerroggen	116 "
Sommerweizen	115 "

Der Victoriaweizen von Eldena schwankte in drei Jahren zwischen 117, 99 und 77 Tagen; ebenso der Toskanaweizen zwischen 99 und 103 Tagen.

Die Gerste macht die geringeren Ansprüche, sie reicht höher in's Gebirg und weiter nach Norden; sie braucht in:

Bechelbronn, Elsaß	92 Tage, Temp. 19;
am Nil	90 " " 21;
Sta Fé di Bogota, 7000 F. ü. M. . . .	122 " " 14,7.

Die Jerusalemergerste braucht in Norwegen 85—88 Tage.

Einen ganz durchschlagenden Beweis für die Anpassung der Varietäten an die klimatischen Verhältnisse bieten die Maiskulturen SCHÜBLER's in Christiania. Die Zahl der Tage schwankt dort zwischen 90 und 145. Wir geben hier eine Uebersicht über die wichtigeren Daten. Die Aussaaten geschahen sämmtlich am 22. Mai. Die Zahl der Tage sind diese:

	Herkunft.	Dauer Tage.
Gelber Hühnermais . .	Christiania	90
Ungarischer Mais . . .	Breslau	102
Großer gelber Mais . .	Kärnthen	108 und 112
Turgano "	Lucca	114
Adamskorn	Stuttgart	132
Sugar "	Philadelphia	145

Der Erndtekolben war in Christiania häufig größer wie der Ausfaatkolben.

DE CANDOLLE, *Géographie botanique raisonnée. Paris. Échenelle. 1854.* Der Gang der Temperatur während eines Tages kann mit großer Genauigkeit durch diese Formel nach M. RITTER gefunden werden:

$$t = a + b \sin (15^\circ h + \alpha) + c \sin (30^\circ h + \beta) + d \sin (45^\circ h + \gamma);$$

hierin bedeutet *t* die Temperatur, *h* die Stunden von Mittag an gerechnet, und zwar vor Mitternacht negativ, nach Mitternacht positiv bis Mittag. *a, b, c, d; \alpha, \beta, \gamma* sind die aus den Beobachtungen fließenden Constanten, *a* ist die mittlere Temperatur des Tages. Der zweite Ausdruck ist periodisch einmal subtractiv, einmal additiv während des Tages. Er stellt ein Maximum und ein Minimum dar und wird in zwei Zeitpunkten Null. Der dritte Ausdruck ist ebenso periodisch, wird aber viermal in einem Tage Null, hat zwei

Ein Vergleich der Wärmefummen hat nur Bedeutung bei Bäumen, die nahezu gleiche Breiten, beziehentlich Höhenlagen, bewohnen; so braucht die Fichte bis zur Blattentfaltung die Summen 316, 404, 288, 336, 388 vom 1. Januar gerechnet; die Birke 381° C. in Brüssel, 235° C. in Riga, 288° C. in Christiania. Die Lärche, welche den Vortheil ihrer Verwandten nicht beibehalten hat, braucht bis zur Blattentfaltung dagegen 1672° C. Die Kiefer mit dem weitesten Wohnsitz erträgt innerhalb desselben ein Temperaturintervall von —40° C. im Winter an ihrer Nordgrenze und 26° Juliwärme an ihrer

Maxima und zwei Minima. Er ist eine Correction des vorhergehenden Ausdrucks, welche nöthig ist, weil die Maxima und Minima nicht durch 12stündige Intervalle geschieden zu sein brauchen. Der vierte Ausdruck wird sechsmal Null, hat drei Maxima und drei Minima, die übrigen Correctionen können vernachlässigt werden, da die Fehler jetzt schon innerhalb 0,1 bis 0,2° C. liegen.

1° Wenn während des Tages die Temperatur sich über den Temperaturgrad stetig erhoben hat, welcher für die Vegetation nützlich ist, so giebt die mittlere Temperatur genau das gewünschte Resultat, da die Temperaturen über diese mittleren durch diejenigen darunter compensirt werden;

2° wenn während des Tages die Temperatur sich stetig unter der nützlichen erniedrigt hat, so ist klar, daß man aus dem Product der obigen Formel Null erhält;

3° hat sich die Temperatur nur während einer gewissen Zeit des Tages über den nützlichen Temperaturgrad erhoben, so kann das erwünschte Resultat nur durch eine langwierige Rechnung, als Product aus der Dauer in die Temperatur, gefunden werden.

Der Zusammenhang zwischen Zeit und Temperatur bei BOUSSINGAULT, *Compt. rend. 1837. pr. sem. 179* und *Écon. rur.* Bd. II. S. 659. 1844, und bei M. LUCAS für die Getreidearten. *Bot. Ztg.* 1849. S. 300.

Nach der Auffassung DE CANDOLLE's liegen in der BOUSSINGAULT'schen Rechnung die Ursachen mehrerer Irrthümer, ganz unabhängig von der Methode, welche im Ganzen und Großen die Unterschiede in den Zahlen erklären, wie sie den einzelnen Arten zukommen:

1° die Wahl des Zeitintervalles mit Berücksichtigung der einzelnen Proceße der Reife, des Wachstums u. f. w. Im Allgemeinen können die Irrthümer in der Wahl der Zeit bis zu drei und vier Tagen gehen. Dieß ergibt im Maximum Fehler von etwa 100° für die Wärmefumme;

2° die für die Vegetation zu niedrigen Temperaturen an einem Beobachtungsorte unter Null können an einem anderen über Null sein (nach unserer Auffassung liegt hier das Wesen der Unanwendbarkeit);

3° es wird auf die chemische und calorische Wirkung der Strahlung, welche in verschiedenen Ländern verschieden ist, keine Rücksicht genommen. Auch die langen Tage im Norden und die Höhen, sowie die Durchlässigkeit der Atmosphäre sind ganz vernachlässigt u. f. w.;

4° die Spielarten der Getreide können außerordentlich differiren. Es ist nicht gewiß, daß man in einem gegebenen Land immer die «mittlere Race» (*variété moyenne*) cultivirt (die Energie der Race);

5° der Modus der Cultur, Tiefe der Saatlage unter dem Boden, Quantität des Düngers, künstliche Bewässerung, die Localität ändern die Resultate unabhängig von der Wärme.

Südgrenze. Nun ist leicht einzusehen, daß dieselbe Baumart sowohl in der Form wie in ihren Ansprüchen an die Temperatur, an die bewohnte Gegend sich anpaßt. Es müssen sich daher innerhalb des Wohnbezirkes, wenn dieser in Nord und Süd, Ost und West sehr verschiedene klimatische Verhältnisse bietet, auch verschiedene Racen einer Art ausbilden. An und für sich ist

Von all' diesen ist die bedeutendste, um welche es sich am meisten handelt, die Nichtberücksichtigung der directen Sonnenstrahlung.

In Upfala und den nordischen Ländern überhaupt erscheinen die Temperatursummen sehr niedrig, weil die außerordentlichen Sommertagelängen einen wichtigen Einfluß besitzen. Zieht man die Sonne und die zu niedrige Temperatur in Betracht, so werden die Ziffern schon viel ähnlicher. So beginnt nach Herrn GASPARIIN der Roggen merklich zu wachsen, wenn die mittlere Temperatur + 6 erreicht:

in Orange . . . 1. März	}	die Erndten finden	{	25. Juni;
Paris . . . 20. "				1. Sept.;
Upfala . . . 20. April				20. "

Die Temperatursummen, welche aus diesen Angaben berechnet werden, sind in

Orange 1601,

Paris 1944,

Upfala 1546;

doch in Orange ist die Sonne heißer wegen der Breite, in Paris ist der Himmel bewölkerter, in Upfala sind die Tageslängen des Sommers außerordentlich viel größer u. s. f.

Nach den Physikern BABINET u. QUETELET soll eine andere Methode angewendet werden, welche, wie sie selbst sagen, auf einer Hypothese beruht. Sie vergleichen die Wirkung der Temperatur mit der Wirkung derjenigen Kräfte, welche, wie die Schwere, proportional der Intensität der Ursache und direct proportional dem Quadrat der Zeit wirken. — Kennt man j die Anzahl der Vegetationstage, t die Anzahl der Temperaturgrade und berechnet i die Temperatur im Zeitpunkt des Beginnes, so setzen sie voraus, daß die Wirkung nach der Formel erfolgen soll

$$j(t - i)^2.$$

In diesen Formeln ist $t - i$ die Temperatur, welche BABINET die nützliche genannt hat. Letzterer bemerkt, daß man den Werth von i mit Hilfe der Formel berechnen kann, indem man für eine gegebene Pflanze aufeinanderfolgende Entwicklungen beobachtet, zuerst während einer Zeit j und einer Temperatur t , sodann während der Zeit j^1 und der Temperatur t^1 . Man hätte nach der ersteren Methode $i = \frac{j t - j^1 t^1}{j - j^1}$ und nach dem System des

Herrn QUETELET $i = \frac{t \sqrt{j} - t^1 \sqrt{j^1}}{\sqrt{j} - \sqrt{j^1}}$; nach dem System des Herrn BABINET $i = \frac{j^2 \cdot t - j^{12} \cdot t^1}{j^2 - j^{12}}$.

Herr BABINET hat von seiner Hypothese keine Anwendung gemacht, und Herr QUETELET glaubt, daß sie nicht richtig sein kann. In der That sagt er, es wären die Wirkungen

für 2 Tage mit 10° C. = 4 · 10 = 40

" 1 Tag " 20° C. = 1 · 20 = 20

" 4 Tage " 5° C. = 16 · 5 = 80.

DE CANDOLLE a. a. O. erwähnt noch Beobachtungen, welche nöthig wären, um direct die Temperatursummen über jedem Grade zu erhalten (S. 58).

Geogr. Vertheilung der nützlichen Temperatursumme (S. 60).

daher ebenso wie bei den einjährigen Cerealien zu erwarten, daß Temperaturconstanten für alle Abkömmlinge einer Species nicht existiren.

A. Das Aussaat-Ernteintervall

schwankt je nach der Herkunft in weitesten Grenzen. DE CANDOLLE¹⁾ machte hierüber einige genauere Aufnahmen mit einjährigen Pflanzen von allgemeiner Verbreitung.

Am 22. Mai 1869 säte DE CANDOLLE in Genf *Senecio* aus. Die Samen stammten von

Edinburg, Moskau, Montpellier, Palermo;

am 27. Mai waren alle aufgegangen, die Blüthe aber fiel resp. am

3. Juli, 8. Juli, 8. Juli, 14. Juli.

Früchte gab es am 4. August in Edinburg und Moskau reichlich, in Montpellier und Palermo wenige. Die in Genf geernteten Samen wurden gleichzeitig am 1. Oktober 1869 ausgesät in Florenz:

	Aufgehen.	Blüthe.
Moskau	5. Oktober.	8. Februar.
Edinburg	20. „	20. „
Montpellier	30. „	14. „
Palermo	22. „	2. März.

Es eilen somit die nördlicheren härteren Racen ganz merklich gegenüber den südlichen voraus.

B. Belaubung und Blattfall.

Auch bei diesen Beobachtungen treten große Schwierigkeiten entgegen wegen des Standortes, des Alters der Bäume, deren Befchattung und anderes mehr.

	Dauer der Blätter in Tagen.	Blattentfaltung.	Blattfall.
<i>Juglans regia</i>	179	19. April	15.—29. October
<i>Acer platanoides</i>	181	21. „	19. „
» <i>campestre</i>	182	25. „	24. „
<i>Populus tremula</i>	184	3. Mai	3. November
<i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Quercus cerris</i>	188	23.—25. April	24.—30. October
<i>Quercus pubescens</i>	190	24. „	31. „
<i>Fraxinus Ornus</i>	196	28. „	10. November
<i>Pirus communis</i>	197	13. „	27. „

¹⁾ DE CANDOLLE, *Arch. des scienc. phys. et nat. Genève. Juin 1872.*

	Dauer der Blätter in Tagen.	Blattentfaltung.	Blattfall.
<i>Ulmus effusa</i>	200	15. April	1. November
<i>Corylus</i>	202	6. »	25. »
<i>Tilia parvifolia</i>	202	21. »	9. »
» <i>grandifolia</i>	204	13. »	3. »
<i>Robinia</i>	205	23. »	14. »
<i>Betula alba</i>	206	7. »	30. »
<i>Aesculus hippocastanum</i>	206	11. »	3. »
<i>Prunus spinosa</i>	206	20. »	12. »
<i>Fagus silvatica</i>	206	21. »	13. »
<i>Carpinus betulus</i>	211	9. »	6. »
<i>Ulmus campestris</i>	225	14. »	25. »
<i>Alnus glutinosa</i>	228	9. »	23. »
<i>Larix europæa</i>	247	28. März	1. December.

Unter den immergrünen Nadelhölzern* ist die Zirbelkiefer der Hochalpen die früheste, 4. Mai, sodann kommt die gemeine nordische Kiefer, 14. Mai, die Weymouthskiefer, 21. Mai, und zuletzt die Bergkiefer (*Mughus*), 23. Mai.

C. Blüthe und Frucht.

Die größere Schwierigkeit ist hier die Feststellung des Zeitpunktes der Fruchtreife, da hiefür feste Kriterien im Allgemeinen nicht vorhanden sind, namentlich dann nicht, wenn es sich um sehr große Früchte der Pomaceen, Amygdaleen u. v. a. handelt.

Die hier folgenden Angaben aus dem reichen Material, welches POKORNY für Wien gesammelt hat, haben eher ein Interesse für Systematik und Pflanzengeographie.

	Wärmesumme.	Erste Blüthe.
<i>Daphne Mezereum</i>	36,1 ± 11	25. Januar ± 10
<i>Corylus avellana</i>	72,7 » 5,5	1. März » 7
<i>Alnus glutinosa</i>	97,6 » 5,2	11. » » 6
<i>Populus tremula</i>	137,5 » 6,9	26. » » 3
<i>Salix daphnoides</i>	141,0 » 9	31. » » 1
<i>Daphne laureola</i>	150,3 » 0,7	28. » » —
<i>Ulmus effusa</i>	162,5 » 6,5	31. » » 3
» <i>campestris</i>	163,8 » 9,3	30. » » 3
<i>Populus alba</i>	179,0 » 9,7	4. April » 3
<i>Taxus baccata</i>	194,6 » 4,7	28. März » 4

	Wärmefumme.	Erste Blüthe.
<i>Larix europæa</i>	215,5 ± 16	14. April ± 3
<i>Populus dilatata</i>	220,3 » 7,2	9. » » 3
<i>Salix purpurea</i>	229,0 » 7,3	14. » » 1
<i>Pop. nigra</i>	236,5 » 10,6	12. » » 3
<i>Carpinus betulus</i>	279,3 » 11,3	20. » » 3
<i>Picea excelsa</i>	353,2 » 18,7	28. » » 4
<i>Juniperus communis</i>	372,8 » 27	30. » » 4
<i>Fagus silvatica</i>	380,6 » 40	3. Mai » 1
<i>Ostrya vulgaris</i>	381,0 » 14,3	3. » » 3
<i>Hippophaë rhamnoides</i>	383,0 » 9,4	10. » » 1
<i>Quercus pedunculata</i>	420,6 » 19,2	6. » » 3
<i>Daphne alpina</i>	432,0 » 14,9	8. » » 2
<i>Quercus cerris</i>	475,6 » 15,2	12. » » 2
<i>Pinus silvestris</i>	517,5 » 9,3	17. » » 1
» <i>Laricio</i>	565,6 » 13,4	20. » » 2
» <i>Pumilio</i>	630,8 » 16,0	24. » » 2
<i>Eleagnus angustifol.</i>	814,6' » 15,5	7. Juni » 2

Bei der Betrachtung der Wärmefummen für die Fruchtreife treten noch größere Schwierigkeiten entgegen. Selbstredend haben diese Rechnungen für solche mit zweijähriger Dauer der Reife, so namentlich für die Kiefern und Cedrus, keine Bedeutung.

	Wärmefumme.	Zahl der Tage zwischen Blüthe und Frucht.	Fruchtreife.
<i>Populus tremula</i>	418,7 ± 27,6	43	8. Mai ± 3
<i>Salix purpurea</i>	525,1 » 16,3	35	19. » » 6
<i>Ulmus campestris</i>	540,3 » 20,4	49	18. » » 2
» <i>effusa</i>	574,7 » 23,8	50	20. » » 3
<i>Populus nigra</i>	683,6 » 24,8	48	30. » » 3
» <i>dilatata</i>	703,7 » 17,8	52	31. » » 2
<i>Daphne Mezereum</i>	804,2 » 18,16	134	8. Juni » 2
» <i>alpina</i>	1011,4 » 15,9	25	21. » » 2
<i>Fagus silvatica</i>	1617,5 » 58,5	97	2. August » 1
<i>Carpinus betulus</i>	1836,6 » 18,7	153	20. September » 0
<i>Taxus baccata</i>	1873,1 » 55,3	143	18. August » 5
<i>Juniperus communis</i>	2025,2 » 87,4	119	26. » » 1
<i>Quercus pedunculata</i>	2236,2 » 27,8	131	14. September » 5
<i>Eleagnus angustifol.</i>	2267,3 » 47,4	98	12. » » 3
» <i>cerris</i>	2335,2 » 57,8	132	21. » » 8
<i>Alnus glutinosa</i>	2404,2 » 29,0	196	23. » » 5

Eine Vergleichung sehr nahestehender Arten einer Gattung führt schon zu außerordentlichen Unterschieden in der Temperatur, welche beansprucht wird. So entfaltete sich die erste Blüthe der Loniceren:

bei <i>L. Caprifolium</i>	am	1. Juni,	die Wärmesumme	701;
« « <i>Periclymenum</i>	«	11. «	«	863;
« « <i>tatarica</i>	«	6. Mai,	«	414;
« « <i>Xylosteum</i>	«	7. «	«	421.

Die beiden ersten sind großblättrig und großblüthig, beanspruchen einen höheren Temperaturgenuß wie die kleinblüthigen beiden letzten Arten.

In ähnlichem Sinne haben die beiden *Viburnum*-arten ein Interesse. Der nacktknoselige *Viburnum Lantana* zeigt die erste Blüthe am 3. Mai und erfordert die Summe von 389° C., die erste Frucht am 2. August mit der Wärmesumme von 1662. Die beiden Summen sind für *Viburnum Opulus* aber 507 und 1482.

Die beiden Hollunder (*Sambucus*) differiren:

<i>S. nigra</i>	erste Blüthe	22./v.	W.-S.	579° C.;	erste Frucht	7./viii.	W.-S.	1692;
<i>S. racemosa</i>	«	1./v.	«	350° C.;	«	22./viii.	«	1004.

Die beiden Eschen *Fraxinus excelsior* und *Fraxinus Ornus* bedürfen für die Blüthe 248 und 597. Die erstere ist eine nordische, die letztere eine südliche Art.

Cornus mascula mit früher Blüthe bedarf 145° C. gegenüber *Cornus fanguinea* mit der Wärmesumme von 729° C. Für die Fruchtreife sind beide nahezu gleich.

Bei den Linden macht die nördliche *Tilia parvifolia* für die Blüthe den Anspruch von 1021, die südliche *Tilia argentea* aber braucht 1225. Die erstere verlangt für die Frucht 1609, die letztere 2138.

Es sind hier also bei nahen Gattungsverwandten schon Unterschiede, welche den Schluß nahe legen, daß auch von den Individuen einer und derselben Art mit weitem Wohnbezirk ganz verschiedene Anforderungen gestellt werden.

HOFMANN¹⁾ hat eine große Anzahl von Beobachtungen über den Einfluß der Witterung veröffentlicht. Er mißt die Lufttemperatur im Schatten, die Temperatur des Bodens in der Tiefe von 1 F., die Temperatur der Quellen in der Nähe der Versuchsfelder, die Regenmenge und den Barometerstand. Parallel mit diesen Aufnahmen gingen die Beobachtungen über die Entwicklung der Pflanzen, den Zuwachs, die Fruchtreife u. f. f. Aus diesen Forschungen kann das Folgende resumirt werden:

¹⁾ HERMANN HOFFMANN, Witterung und Wachstum, oder Grundzüge der Pflanzenklimatologie. Förstner. Leipzig 1857.

1^o eine «Witterungslinie», welche ein Gesamtbild der klimatischen Momente darzustellen vermöchte, giebt es nicht;

2^o eine Combination von Witterungsfactoren ist gleichzeitig an jeder Wirkung theilhaftig;

3^o eine höchst mannigfaltige Compensation der einzelnen Witterungsfactoren durch andere findet statt;

4^o derselbe Factor wirkt zu verschiedenen Jahreszeiten verschieden, ebenso verschieden je nach Eigenart, Alter der Pflanze, endlich nach Verschiedenheit des Organs.

Doch haben einzelne Factoren höhere Bedeutsamkeit als andere. Dieß sind: Wärme, Licht und Feuchtigkeit; es kommt weniger auf die absolute Größe derselben, als vielmehr auf eine gewisse Vertheilung an.

Für den Pflanzenphysiologen (entgegengesetzt dem Meteorologen) sind die Extreme der Witterungsercheinungen wichtiger als die Mittel. Die Extreme nämlich, nicht aber die Mittel, bedingen Gedeihen und Fortkommen der Pflanzen, insoweit überhaupt das Klima bei beiden theilhaftig ist.

D. Wärmeconstante.

Die Energie, welche aus einem gegebenen Keime entwickelt wird, ist nicht allein eine Folge der während dieser Entwicklung einwirkenden äußeren Agentien, sie ist auch eine Wiederholung der Evolution aller früheren Descendenten und daher von deren Energie abhängig. Man hat sich vorgestellt, daß für diese Entwicklung eine unwandelbare Temperaturconstante erforderlich sei. Nach unserer Vorstellung ist die Massenanhäufung in der Pflanze gleichmäßig abhängig von zwei Momenten, von den äußeren Agentien und von der Energie, welche in dem Keimling der Race angehäuft lag. Zwei Eicheln gleichen Gewichtes können bei gleicher Phase der Evolution, gleichen Mengen von Licht, Wärme, bei gleicher Unterlage, gleicher Dauer des Vorganges ungleiche Production, ungleiche Energie in der Evolution zeigen, eben ungleiche Eichbäume hervorbringen¹⁾. Genauere Prüfung wird zeigen, daß die Richtung und die Wege der Untersuchung durchaus von solchen Betrachtungen abhängen müssen; denn wandelbar werden stets die morphotischen Vorgänge sein, welche der Race als eigenthümlich zugeschrieben werden, unwandelbar können nur die einfachen Molecularwirkungen sein.

Aus bekannten physiologischen Erfahrungen könnte man herleiten, daß für jeden Proceß in der Evolution eines Eichbaumes z. B. eine bestimmte Wärmemenge von dem Baume aus der Masse seiner Eigenwärme verbraucht

¹⁾ Man vergl. Dr. M. KIENITZ, Ueber Formen deutscher Waldbäume. Forstliche Zeitschrift von BERNHARDT. 1879. Berlin. Springer's Verlag.

wird, daß ferner eine bestimmte Temperatur und Zeit nöthig ist, um diesen Proceß auszuführen. Innerhalb zweier Temperaturgrenzen (dem Temperaturminimum des Proceßes und Temperaturmaximum der Proceße) wird die Zeit der herrschenden Temperatur umgekehrt proportional sein.

Stellt man nun für alle Proceße, Fig. 477, welche ein gegebener Keimling ausführt, Curven auf, welche die Intensität des Proceßes als Function der Zeit darstellen, während die Temperatur constant sein soll, so wird man eine Curvenschaar erhalten, deren Beginn und Verlauf in verschiedene Zeiten fällt. Auch ihre

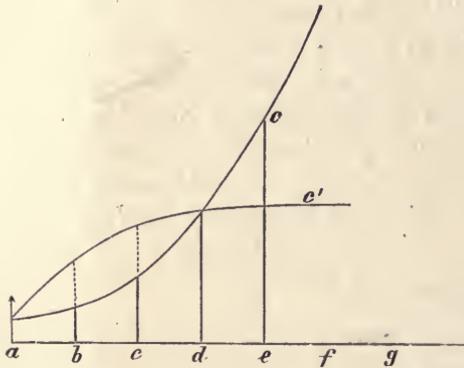


FIG. 477.

Incremente werden verschieden fein, weil eben eine Temperatur nicht das Optimum für alle hintereinander liegenden Proceße fein kann. Schon hieraus erhellt, daß eine Wärmeconstante aus Zeit und Temperatur über den ganzen Cyklus von Proceßen, welche an einem Keimobject sich abspielen, bedeutungslos ist.

Stellen wir uns vor, es sei ein gegebener Wachstumsproceß zu studiren und zunächst die Wachstumscurve als Function der Zeit zu bestimmen. Die Temperatur möge, als einfachste Voraussetzung, für die Dauer des Proceßes constant sein.

Zunächst kann als Ordinate sowohl die Länge, das Volum, als auch die Masse des Organes oder Pflanzentheiles gesetzt werden. Der Vorgang des Wachstums, welcher jeder pflanzlichen Entwicklung zu Grunde liegt, ist damit aber offenbar nicht erschöpfend studirt. Es müssen noch die Einwirkungen von außen als die formbedingenden erkannt sein, und es muß der Wachstumsproceß physikalisch begreiflich sein. Bei constanter Temperatur, Ernährung und Strahlung selbst wird die Wachstumsfunction nicht eine lineare Function der Zeit aus diesen Gründen:

1^o streben alle Organe und Elementarorgane (Zellen, hier kommen zunächst die vegetativen Gewebe in Betracht) von dem kleinsten Anfangszustand nach dem größten Endzustand. Sie wachsen dabei erst langsam, dann rascher und zuletzt wieder langsamer;

2^o trotzdem die äußeren Verhältnisse als constante vorausgesetzt wurden, verändert sich ihre Gesamtwirkung auf die in der Entwicklung begriffene Pflanze, weil sich das Volum verändert, oder weil sich die aufnehmende und die bestrahlte Fläche verändert gegenüber der Masse, welche angehäuft

ift. So ift z. B. im jugendlichen Zustand der perennirenden Pflanze die Fläche kleiner, im mittleren Zustand größer für die Einheit der Masse, gegen den Endzustand aber wachsen wiederum die Massen aller Theile, die Fläche wird für die Einheit der Masse wieder kleiner. Dieses Verhältniß kann zu

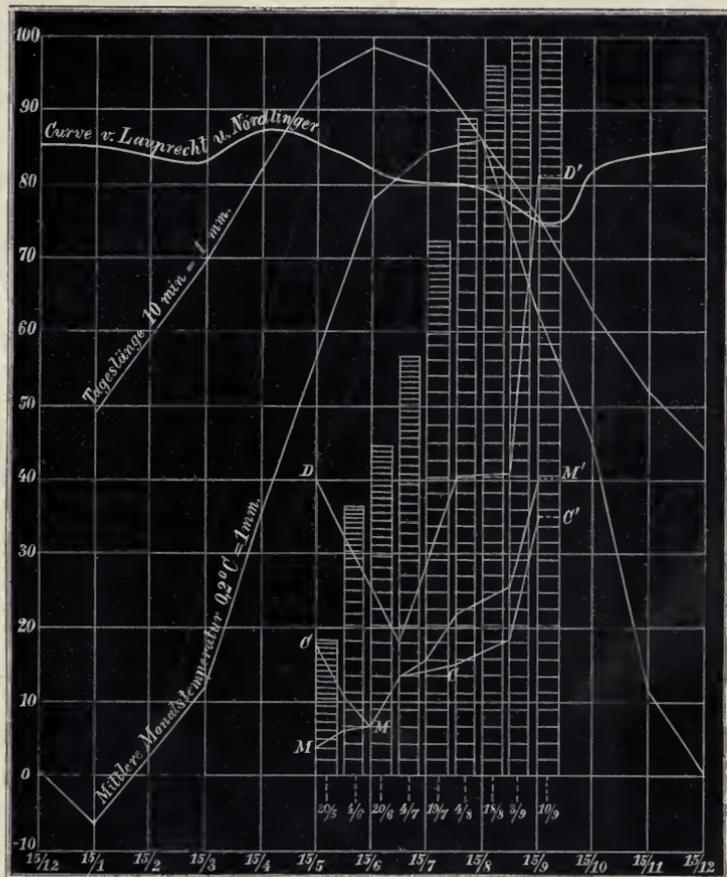


FIG. 478. Diese Coordinatenfigur veranschaulicht die Entwicklung des Jahringes als Function der Zeit für die Fichte. In den Zellenketten von 20/5, 4/6 u. f. f. sind gemessen die Zahl und Ausdehnung einer Radialreihe des Holzes für je die betreffenden Daten. Ueber diesen Theil der Figur sind nun noch Curven M, M', C und D verzeichnet, welche die feste Masse für dieselben Zeiten angeben, die im Jahring abgelagert ist. Außerdem sind verzeichnet die Curven für die Tageslängen, die mittlere Monatstemperatur¹⁾ und die Curve des mittleren Wassergehaltes.

den Veränderungen der Widerstände gerechnet werden. Verpflanzung, Wechsel in der Akklimatifikation werden hier wenig ändern, wenn nicht ganz große Temperaturintervalle in Betracht kommen. So wird der Baum von weitem Verbreitungsbezirk, z. B. Fichte, Kiefer, über Europa von der Süd-

¹⁾ Nach O. v. HAGEN, Die forstlichen Verhältnisse Preußens. J. Springer. Berlin 1869.

grenze nach der Nordgrenze kleineren oder größeren Zuwachs zeigen; für alle Bäume derselben Art wird aber unter allen Umständen die Zuwachscurve zuletzt sinken müssen, wo der Baum auch leben mag;

3^o beeinflussen sich die verschiedenen Wachstumsvorgänge an einer und derselben Pflanze gegenseitig. Die Seitentriebe beeinflussen den Haupttrieb, die Anlegung neuer Organe im mikroskopischen Zustande wirkt auf die im Wachstum befindlichen zurück;

4^o im Innern der Pflanze gehen Zustandsänderungen vor sich, welche den Zuwachs beeinflussen. Betrachten wir z. B. die Vorgänge am Waldbaum, die in der Fig. 478 zusammengestellt sind. Lassen wir die nach mikroskopischen Messungen entstandenen Zellenreihen in den Ordinaten $20/5$, $4/6$ u. f. f., um den Radius des Stammes rotirend, einen Ring beschreiben, so erhalten wir den Jahrring des Baumes in den zu den betreffenden Daten gehörigen Zuwachspfahen. Was nun zunächst das Volum angeht, so wächst daselbe, wie die Curve zeigt, und zwar durch Verbrauch des Reservematerials, welches aus der vorjährigen Lichtperiode stammt, mit der Temperaturcurve. Der Zuwachs ist aber noch lange nicht beendet, wenn die Curven für mittlere Temperatur und Tageslänge culminiren. Mit diesem Proceß interferiren die Vorgänge der Knospentfaltung, der Assimilation und die Maxima der Verdunstung und Athmung. Die Masse wächst weder der Zeit proportional, noch auch steht ihr Zuwachs irgend in Beziehung zur Temperatur und Tageslänge, wie aus dem Verlauf der Curven *M*, *C*, *D* hervorgeht. Dieß beruht zunächst darin, daß die Zellen, nach ihrer Anlegung im Cambiumring, nach einem größeren Volum streben. Hierbei erfolgt eine Auflockerung und zuletzt erst durch das Dickenwachstum die größere Anhäufung der Masse. Dieß wurde gemessen, indem aus der Dicke der Zellwände die Gesamtmasse der Schale numerisch berechnet wurde. Man erkennt aus dem Verlauf der Curven *M*, *C*, *D*, daß die Massenanhäufung, abweichend von dem Volumzuwachs, im Beginn der Sommerperiode sinkt, um zuletzt erst zwischen Ordinaten zwischen dem 18. August und 10. September zu wachsen.

Mit dieser letzten Steigerung parallel geht der Verlust an Wasser. Das Minimum des Wassergehaltes fällt in die Gegend der letzten Ordinaten. Nach dem Blattfall steigt alsdann die von LAUPRECHT und NÖRDLINGER aufgestellte Curve wieder. In dem Maß wie der Jahrring wächst, nimmt der Druck auf die elastische Rinde zu. Die Folge hiervon ist die geringere Ausbildung des Volums aller in der Nähe der Jahrringgrenze belegenen Zellen. Somit ist ein histologisches Verhältniß auf einen complexen Vorgang des Wachstums zurückgeführt. Andererseits ist das Interferiren mehrerer Bewegungen und zuletzt eine complexe Wirkung der Temperatur den Wachstumsercheinungen gegenüber hiemit erwiesen.

§ 47. Allgemeine Züge der Florengebiete, soweit sie von der Wärme abhängen.

Der Charakter eines größeren Florengebietes ist abhängig von den örtlichen Verhältnissen; in erster Linie kommt hier die Topographie in Betracht:

- 1^o die Vertheilung von Ebenen und Gebirgen;
- 2^o Zusammenhang großer continentaler Massen mit großer oder kleiner Küste mit Inseln oder ohne solche;
- 3^o Nähe des Oceans;
- 4^o die geognostische Beschaffenheit der Unterlage;
- 5^o der Zustand der menschlichen Cultur, die Vertheilung der Culturflächen zu den natürlichen, das Verhältniß der Waldbestände zu den Agriculturnflächen;
- 6^o das Klima, also die Größe der Strahlung, der Temperatur, der Tageslänge, der Regenmenge, der Luftfeuchtigkeit u. f. f.

Dieses sind die natürlichen, die Flora beherrschenden Einflüsse. Wenn nun schon Temperatur und Strahlung z. Th. die Ursache, z. Th. die Grundbedingung alles pflanzlichen Lebens sind, so ist doch leicht ersichtlich, daß mit Ausnahme kleinerer Gebiete und einzelner Fälle für die Einwirkung der Wärme ein directer Zusammenhang zwischen gleichen thermischen Verhältnissen und gleichen floristischen Verhältnissen nicht besteht, ebenso wenig wie gleiche geognostische und topographische Beschaffenheit zweier Gebiete nicht nothwendig zu einer Gleichheit des Florencharakters führen muß. Dieß beruht in erster Linie darin, daß für die ganze Erdoberfläche überhaupt niemals ein stabiler Zustand in der Vertheilung herrschen kann. Zieht man namentlich lange Zeiträume in Betracht, so wird ersichtlich aus den geologischen Befunden, daß überhaupt niemals ein stabiler Zustand für längere Zeit geherrscht hat. Sehen wir zunächst ganz von den heute angebahnten Theoremen der Entwicklungslehre ab, welche allerdings die Entwicklung der Form von den thermischen Verhältnissen abhängig erscheinen lassen, so lehrt doch jeder Blick in ein weiteres einheimisches Florengebiet, daß eine stete langsame Verschiebung der Arten stattfindet, welche direct nicht abhängig ist von den oben namhaft gemachten Grundursachen. Ein Theil der Verschiebung wird durch Menschenhand besorgt, so ist es für den Charakter der Flora nicht gleichgültig, ob die Italiener ihre Wälder ausrotteten, während die Deutschen eine conservative Forstwirtschaft treiben, ob die steilen Hänge der Voralpen entwaldet sind oder nicht, ob die Lüneburger Haide aufgeforstet wird oder nicht. Mit dem Wald verschwinden zunächst alle schattenbewohnenden Pflanzen, welche das

Florengbiet charakteristisch machen. Mit dem Feldbau verschwinden z. B. alle Orchideen, Liliaceen u. a. m. auf dem Muschelkalk, welche die Gegend floristisch reich machten, so lange der Wald in dem Gebiet noch vorherrschte. Andererseits schließt das Schattendach des Waldes an und für sich die nicht schattenertragenden Mitbewerber um das Areal aus, während die Agrikulturfläche einer großen Anzahl von Einwanderern Zutritt gestattet. Ganz von diesen Einflüssen der menschlichen Oekonomie abgesehen, muß dennoch draußen eine stete Bewegung der Formen (Arten) herrschen, welche man die Diffusion nennen kann, d. h. von dem Wohnort der Form herrscht eine im Organismus liegende Bewegungsursache, welche die Art hinausreibt. Verdrängt sie die Bewohner des nächsten Areals nicht, so dringt sie doch in die Lücken ihres Wohngebietes ein. Dieser Zug, zu wandern, sich von dem ursprünglichen Wohnort zu verbreiten, muß als ein ganz allgemeiner angesehen werden. Erleichtert wird diese Wanderung durch die Flüsse und Luftströmungen, welche weit entfernte Florengbiete verbinden, so z. B. die Alpenflora und die mittelhheinische, in welcher mehrere alpine Auswanderer hie und da herrschend sind, z. B. *Euphorbia Gerardi*, *Poa alpina*, *Saxifraga aizoides* u. a. m. Die Flora im oberen Rhonethal hat mehrere ganz auffällige Züge mit der rheinischen Flora gemein. Die Flora der Kiesbänke in fast allen Hochthälern der Flüsse, welche den Alpen entspringen, ist die gleiche. Hier gehen gleiche Formen der Tiefebene thalaufl, finden oben wenig Widerstand; andere Formen kommen aus den Seitenthälern thalab.

Das Gebirge und insbesondere das Hochgebirge erschwert aber im Allgemeinen die Diffusion:

1^o wegen des schwierigeren Uebergangs über die eisbepanzerten oder felsrippigen Käme und Sättel;

2^o wegen der Abnahme der Temperatur von unten nach oben — wegen der allmäligen und endlich doch totalen Veränderung aller klimatischen und geognostischen Bedingungen des Pflanzenlebens.

So kommt es, daß im Gebirge allerdings die Vegetationscentren sich schichten, wie dies in den nachfolgenden Tabellen übersichtlich gemacht ist.

Eine derartige Zone zeigt indeß immer noch alle Spuren der Diffusion, namentlich für die niederen krautartigen Pflanzen, welche z. Th. in allen Höhenschichten zwischen 5000 und 9000 F. über dem Meer in derselben Breite angepaßt sind. Die Böschung an sich ist z. B. schon die Bedingung, welche manchem Waldbaum besser zusagt wegen der Bestrahlung, z. B. die Lärche im Hochgebirg; die obere Grenze der Fichte rückt in dem weiten Verbreitungsbezirk dieses Baumes höher hinauf da, wo zahlreiche Hochgebirgsmassen dicht nebeneinander stehen, sie wird herabgedrückt in der Nähe des Meeres und großer Ebenen.

Schema für die Pflanzenregionen in ihrer verticalen und horizontalen Ausdehnung.

Elevation unter 0° n. Br. in Fußeu. ü. d. M.	Mittlere Temperatortypen in der Breite o. n. Br. in Fußeu.	In diesen Zonen liegen die Höhengrenzen im Mittel in Fußeu. ü. d. M.
0	27—30	I. 1000'—1500' ü. M., II. 2800' bis 3000', III. 3900'—4500', IV. 4000'—6000', V. 6000' bis 7000', VI. 7000'—9000', VII. 9000'—11 000'.
2000	23,5	II. bis 2000', III. bis 3000', IV. 5000'—6000', V. 6000'—8000', VI. 8000'—10 000', VII. 10 000' bis 11 000'.
4000	20	III. bis 3000', IV. 3000'—4000', V. bis 6000', VI. bis 8000', VII. 9000'—10 000'.
6000	17	IV. bis 2000', V. bis 4000', VI. bis 6000', VII. bis 8000'.
8000	14	V. bis gegen 1000', VI. bis 4000', VII. bis 5000'.
10 000	11	und weiter, Region des ewigen Eises.

Elevation unter 0° n. Br. in Fußeu. ü. d. M.	Mittlere Temperatortypen in der Breite o. n. Br. in Fußeu.	In diesen Zonen liegen die Höhengrenzen im Mittel in Fußeu. ü. d. M.
0	15° n.Br.	I. 1000'—1500' ü. M., II. 2800' bis 3000', III. 3900'—4500', IV. 4000'—6000', V. 6000' bis 7000', VI. 7000'—9000', VII. 9000'—11 000'.
2000	15—23°	II. bis 2000', III. bis 3000', IV. 5000'—6000', V. 6000'—8000', VI. 8000'—10 000', VII. 10 000' bis 11 000'.
4000	23—34°	III. bis 3000', IV. 3000'—4000', V. bis 6000', VI. bis 8000', VII. 9000'—10 000'.
6000	34—45°	IV. bis 2000', V. bis 4000', VI. bis 6000', VII. bis 8000'.
8000	45—58°	V. bis gegen 1000', VI. bis 4000', VII. bis 5000'.
10 000	58—66°	und weiter, Region des ewigen Eises.
12 000	7	
14 000	3—4	

Vegetationsgrenzen in den Hauptgebirgen von Südamerika, Asien, Europa
(nach A. v. HUMBOLDT's Kosmos, Atlas von TRAUGOTT BROMME).

Die Höhenangaben in Parifer Fußsen.

Gebirge.	Tropische und warme gemäßigte Zone.	Gemäßigte Region.	Alpine Region.
I. Anden. Chimborazo 20,000'.	Bis 5000' ü. M. Untere Grenze: 3000' für Mais; Region des Café, Zuckerrohr, Baumwolle zwischen 1200 und 4200'. Obere Grenze für Ban- nane, Cocos, Cacao bei 3000'.	Bis 10,000' ü. M. Untere Grenze für Ei- chen, Cinchoneen, Ge- treide zwischen 5000 und 6100'. Obere Grenze: Mais 6100', Cinchoneen 7700', Getreide 9200', Eichen 9500'.	Bis 15,000'. Zwergfräucher bis 13,000'.
II. Teneriffa. Pico de Tyde 11,454' ü. M.	Obere Grenze bis 4000'. Palmen, Pifang bis 1200', Wein, Getreide bis 2900', Lorbeer 4000'.	Obere Grenze bis 6000'. Obere Grenze der Nadel- hölzer 6000'.	Bis 11,454'.
III. Himalaya. Dhawalagiri 26,345'.	Bis 6600'. Untere Grenze der Farren- kräuter 3700'; obere Grenze der Palmen, Lian- nen 6100', Farrenbäume, Pifang 6600'.	Bis 11,400'. Obere Grenze der Lau- rineen bei 8400', Mag- noliae 9400', Bambus, Ei- chen, Coniferen bis 11,300'.	Im Norden bis 15,500', im Süden bis 14,500'.
IV. Alpen. Monte Rofa 14,222'.		Bis 7000'. Obere Grenze der Obft- bäume bei 3200', Ge- treide 3400'; obere Fich- tengrenze 800 — 4000', Kiefer, Birke 1500'.	Im Norden bis 8000', im Süden bis 10,000'.

Florencharakter in den Gebirgen Mitteleuropa's.

Schweizer und Tiroler Alpen, bairische Voralpen. Erhebung bis 15,000' ü. M.	Carpathen.	Riefengebirge.	Thüringer Wald.	Harz.	Oberpfälzen.
Weinbau, Eichenschälwald, Kastanie, Nußbaum bis 1500'	1000'	900'	800'	600'	200'
Eiche, Esche, Erle, Hainbuche, Ulme » 2400'	2200'	1800'	1600'	1400'	1200'
Buche, Birke, Getreidebau » 4500'	4100'	3000'	2600'	2500'	2000'
Fichte, Bergahorn, Vogelbeere . . » 6000'	5500'	4600'	4000'	3600'	3500'
Zirbel- und Bergkiefer, Lärche . . » 7000'	6600'	—	—	—	—
Alpenfräucher, Rhododendron, Em- petrum u. a. » 8000'	7800'	—	—	—	—
Oberste hochalpine Flora, Gletscher- weiden » 9000'	8800'	—	—	—	—
Schnee und Firn » 15,000'	—	—	—	—	—

Vegetationsgrenzen in Süddeutschland und den Alpen.

Region.	Charakterpflanzen.	Höhe.	
Untere Ebenenregion	Juglans, Castanea, Vitis	1200'	390 m
Obere »	Juglans	1200—1700'	552 »
Untere Bergregion	Quercus	1700—2500'	812 »
Obere »	Fagus	2500—4300'	1396 »
Voralpen	Fichte	4300—5300'	1721 »
Untere Alpenregion	Krummholz	5300—6100'	1986 »
Obere »	Heidel- und Preiselbeere	6000—7100'	2306 »
Firn- bis Schneegrenze	Gletscherweiden, hochalpine Gentianen, Primulaceen, Compositen, Flechten, Moose	7000—8500'	2630 »

Obere Baumgrenze in Europa.

Wir stellen uns einen meridianen Durchschnitt durch Mitteleuropa her, indem wir die wichtigsten Gebirgszüge alle in denselben Meridian gerückt denken.

N. Breite.	Gebirge.	Höhe in Metern ü. d. M.											
		Baum- wuchs		Buche, Fagus silvat.		Fichte, Picea excellsa		Kiefer, Pinus silvestris		Bergkiefer, Pinus montana			
		u. G.	o. G.	u. G.	o. G.	u. G.	o. G.	u. G.	o. G.	u. G.	o. G.		
44°	Monte Cunone (Apennin)	—	—	990	1900	—	—	—	—	—	—	—	—
44,15°	Mont Ventoux	—	—	310	1500	—	1720	—	—	—	—	—	—
46°	Monte Rofa	—	—	—	1560	—	2100	—	1950	—	—	—	2400
46,30°	Jungfrau	—	780	—	1460	—	1900	—	1810	—	—	—	—
47°	Pilatus	—	—	—	1360	—	1800	—	—	—	—	—	—
47,15°	Chafferal (Jura)	—	700	—	1250	—	—	—	—	—	—	—	—
48°	Feldberg (Schwarzwald)	—	650	—	1350	—	—	—	1200	—	—	—	1500
49°	Rachel und Arber (baierischer Wald)	—	970	—	1250	—	1460	—	920	—	—	—	1470
50°	Altvater	—	510	—	1290	—	1320	—	790	—	—	—	—
50,30°	Riefengebirge	—	500	—	1290	—	1300	—	780	—	—	—	1500
51,45°	Brocken	—	490	—	650	—	1001	—	650	—	—	—	—

Die hochalpine und Gletscherflora in dem Raum von 8000 bis 10,000 F. über dem Meer, so lange noch flache Felsenmassen, mit Schutt bedeckt, den Bewegungen des Gletschers gegenüber bestehen können, ist verhältnißmäßig reich an Verwandtschaftskreisen.

Es rückten ursprünglich die härteren Formen aller tieferen Regionen nach dem Wohnort vor, weil ihnen von höheren, aber zarteren Mitbewerbern der Platz nicht streitig gemacht wird. Die einzigen Concurrenten sind die Flechten mit langsamem Wachstum und einer noch größeren Anspruchslosigkeit.

Die äußeren Bedingungen der hochalpinen und auch der arctischen Florengebiete liegen in dem Mangel der Beschattung durch den Wald, in dem vollkommenen Lichtgenuß, in den äußersten Extremen der Wärmeaus- und -einfahlung. Die Bodenunterlage an der Grenze des ewigen Schnees ist reich an Verwitterungsprodukten der Gesteine. Der Zuwachs der Humusdecke ist ein langsamer, bezogen auf die Tieflande.

Allgemeine Habituszüge hochalpinen und arctischer Pflanzen liegen in der Bestockung. Der Stamm ist ein perennirendes Rhizom mit dichter Verzweigung, Compositen z. B., oder er bildet Blattrosetten, welche die Verjüngung aus den Axillarpfossen befragen: Primulaceen, Saxifragen u. a. m. Ein Schutzmittel gegen die Ausstrahlung, sowie gegen die mechanischen Störungen, wird gewonnen durch die Bildung dichter Colonien (Rafen) bei den Gentianen, bei Aretia, Androsace, bei vielen Alfineen. Eine große Anzahl hochalpinen Pflanzen zeichnet sich durch dichte Behaarung aller derjenigen vegetativen Organe aus, welche der Strahlung

ausgesetzt sind¹⁾. Der hervorragende Zug aber liegt jedenfalls in den Dimensionen, welche alle Organe erlangen. Es wird an der Grenze der Vegetation vorzugsweise in der Längsrichtung sparsam gewirthschaftet. Die Formen sind Miniaturformen, bezogen auf ihre günstiger situirten Verwandten in der Ebene. Gleichwohl wird die Blüthe reich ausgestattet. Großblüthige Formen finden sich bei den hochalpinen Gentianen, Primeln, Soldanellen, Ranunculaceen.

Systematisch läßt sich die hochalpine Flora nicht scharf umschreiben. Es herrschen zwar einige Formen und Familien vor, so die Gletscherweiden, die Rhododendren, Primulaceen, Saxifragen, Cruciferen, Ranunculaceen, Gentianeen, vor allen aber die Compositen²⁾. Als Centrum der Familien kann das hochalpine Florengebiet gleichwohl nur angesehen werden für sehr wenige. Dem mitteleuropäischen Alpengebiet ist allein eigenthümlich die *Wulfenia carinthiacea* (auf der Kühweger Alpe in Oberkärnten). Der Faulhorngipfel besitzt 132 Phanerogamen, 40 davon kommen auch in Lappland, 8 Arten davon kommen auch auf Spitzbergen vor. Im Mer de glace, im Montblancgebiet, in dem sogenannten Gletschergarten SAUSSURE's, kommen 87 Phanerogamen vor, von welchen 24 in Lappland, 5 in Spitzbergen leben.

Die Vertheilung der Wärme an der Erde ist abhängig, außer von der Breite, von der Gestaltung der Küsten und der größeren Festlandsmassen dem Ocean gegenüber. Da die südliche Halbkugel eine beträchtlich geringere Festlandmasse aufweist, ist auch unter gleicher Breite die Flora eine andere, im Allgemeinen reichere wie in der nördlichen Halbkugel. Das Meer spielt dort eben die Rolle eines unermesslichen Wärmerefervoirs. Aus demselben Grunde wirkt noch die Configuration der Continente in der nördlichen Halbkugel, insofern die Westküste Nordamerika's beträchtlich wärmer und reicher an Niederschlägen ist, wie die Ostküste; ebenso ist die Westküste Europa's bevorzugt vor der Ostküste Nordamerika's durch die westöstlichen Strömungen des atlantischen Meeres (Golfstrom). Die nördliche Baumgrenze liegt in Europa unter höherer Breite wie an der Ostküste in Nordamerika. Baumwuchs herrscht noch an der Westküste Scandinaviens, während unter derselben Breite die Ostküste Nordamerika's jenseits der Baumgrenze liegt. Zu den ersten und allgemeinen Anpassungen an die klimatische Periode gehört der Knospenschluß und der Blattfall derjenigen Bäume, welche den Waldgürtel der nördlichen Halbkugel beherrschen. Hier ist es

1) Reichlich behaarte Compositen finden sich indeß auch herrschend an trockenen, schattenlosen Standorten der Ebene, z. B. die Gattung *Gnaphalium*.

2) Die Alpenflora der neuen Welt weicht von der europäischen ab. Dort sind an Stelle der Rhododendren die *Befarian* und *Ecallonien*. Unter den Kräutern herrschen die Gattungen: *Mimulus*, *Calceolaria*, die *Loafaceen*, buschige Compositen und Cacteen, neben europäischen Gattungen.

wirklich die Noth, welche die Pflanze zwingt, die empfindlicheren Organe zu schützen. Eine scheinbare Ruhe tritt ein, während die Temperatur durch ihr Minimum hindurchgeht. Gleichwohl kommt es auch in der südlichen Zone zum Blattfall und zur periodischen Ruhe. Die Jahrringgrenze im Holz der periodischen und immergrünen Laubbäume, welche die tropische Zone bewohnen, ist weniger markirt. Eine natürliche Eintheilung der Florengebiete, wie sie früher angebahnt, läßt sich auf Grund der Existenzbedingungen, welche oben (S. 609) die natürlichen Grundbedingungen genannt wurden, nicht aufstellen. Gleiche äußere Bedingungen haben eben die Bewohner wohl gleich gemacht, die Anzahl verschiedener Formen und ihre Diffusion ist indeß so groß, daß die jetzigen Florengebiete eher nach den Pflanzenformen und -familien, als nach den natürlichen Grundbedingungen des Pflanzenlebens im Wohnort aufgefaßt werden können. Wir kommen demgemäß zum Zweiten:

Der Florencharakter hängt nicht allein ab von den natürlichen Grundbedingungen des Wohnortes, sondern auch von dem jeweiligen, labilen Gleichgewichtszustand in der Vertheilung der Bewohner und deren Charakter.

Die Flora wird charakteristisch: durch die Anzahl der Formen, beziehentlich der verschiedenen Verwandtschaftskreise, durch die Anzahl und Ausdehnung der herrschenden Arten.

Schon die natürliche Vertheilung im engeren Florengebiet zeigt, daß an bestimmten Stellen das Centrum einer Form (Art), beziehentlich eines Verwandtschaftskreises (Gattung, Familie), liegen muß, ohne daß man immer in der Lage wäre zu entscheiden, welches nun alle Momente sind, welche den betreffenden Wohnort für die gegebene Pflanze geeignet machen. Das Centrum einer Art ist der Ort, wo dieselbe am häufigsten vorkommt. Das Centrum einer Familie ist der Ort, wo dieselbe die zahlreichsten Arten und die zahlreichsten herrschenden Arten aufweist. Zwischen den Centren und den natürlichen Grundbedingungen besteht im Allgemeinen kein directer Zusammenhang.

Das Florengebiet ist z. Th. nach den natürlichen Grundbedingungen definiert, z. a. Th. aber auch durch die Centren seiner Bewohner. Dieß ist nach dem jetzigen Stand der Wissenschaft auch der natürliche Weg, dem Gegenstand näher zu kommen.

GRIESEBACH¹⁾ stellt z. B. für Europa drei größere Florengebiete auf: die arctische Zone, die Region der gefelligen Wälder und die Mediterranzone. Von diesen geht die charakteristische Region der gefelligen Waldbildner über die ganze nördliche Halbkugel mit vicariirenden stellvertretenden Arten gleicher Gattungen, z. B. *Quercus*, *Pinus*, *Abies*, *Picea* in Asien

¹⁾ GRIESEBACH, Vegetation der Erde.

und Amerika. Von diesen sind bei uns im Forstbetrieb gleichwohl nur 5—6 Arten herrschende Waldbäume¹⁾.

Unter diesen wird die Buche, der charakteristischste Waldbaum unter den Laubhölzern, auf Mitteleuropa bis zur Südspitze Scandinaviens eingeschränkt, durch die Spätfröste an der Nordgrenze, durch die zu geringe Regenmenge an der Südgrenze (südliches Frankreich). Ganz enge Centren besitzen Weißtanne und Zirbelkiefer. Die erstere ist auf die Gebirgszüge Süddeutschlands und die letztere auf die östlichen Hochalpen beschränkt. Die Eiche ist in Deutschland kaum ein herrschender Waldbaum zu nennen.

Unter den allgemeinen Zügen der Vertheilung im Gebirg und der Ebene ist in diesem Gebiet hervorzuheben, daß die äußerste Baumgrenze von Nadelhölzern allein beherrscht wird.

Das asiatische Festland wird von GRIESEBACH in fünf Florengebiete eingetheilt:

- 1^o bis zum 70. Breite-Grad annähernd die arctische baumlose Zone;
- 2^o der Gürtel gefelliger Waldbildner bis zu 50^o nördlicher Breite;
- 3^o die Flora der Steppen;
- 4^o das Gebiet von Vorderindien;
- 5^o das indische Monsoongebiet;
- 6^o das arabische Gebiet und
- 7^o das chinesisch-japanische.

Als hervorragende Centren für Verwandtschaftskreise, welche auch über Europa ausgebreitet sind, sind zu nennen: die Umbelliferen und Arien für das Steppengebiet, die Magnolien und Camelliaceen des chinesisch-japanischen, die Cannaceen, Zingiberaceen, Palmen, baumartigen Farrenkräuter des indischen Gebietes.

Das nordamerikanische Waldgebiet enthält vicariirende *Pinus* *Abies*- und *Picea*-arten, welche mit denjenigen der alten Welt die nächste Verwandtschaft zeigen. Der Zusammenhang der Florengebiete oder der Stammbäume der Arten wird aber noch durchschlagender durch die vicariirenden Eichenarten dargethan, deren Nordamerika gegen 20—30 Arten aufweist. Eigenartig ist dieser Continent durch das Centrum der Grassteppen (Pampas, Prairiegebiet) und die Flora des Tafellandes Mexico's (baumbewohnende Orchideen, Cacteen, baumartige Compositen).

Südamerika umfaßt nach GRIESEBACH 5 Florengebiete: das Waldgebiet

¹⁾ Die Kiefer *Pinus silvestris*, die Bergkiefer *Pinus montana* (mit den Varietäten *Pinus uncinata*, *Pinus Pumilio*, *Pinus Mughus*), die Fichte *Picea excelsa*, die Tanne *Abies pectinata*, die Lärche *Larix europæa*, die Zirbelkiefer *Pinus Cembra*. Unter den südlichen *Pinus austriaca* in Oesterreich-Ungarn, *Pinus halepensis* für den Orient, *Pinus Pinafter*, die Igelöhre der Mediterranzone, *Abies Nordmanniana* für die Krim und das südliche Rußland, *Quercus pedunculata*, *Quercus sessiliflora* und die Buche *Fagus silvatica*.

Patagoniens, die Hylæa, das brasilianische Gebiet, die Anden (Centrum der Cinchoneen) und das cisæquatoriale Südamerika.

Der genetische Zusammenhang der Florengebiete ist durch die vicariirenden Arten erwiesen. Wie die Entwicklung der ganz extremen Pflanzenformen zu denken ist, kann nicht Gegenstand der vorliegenden Abhandlung sein, da hierzu noch die natürliche Entwicklungsgegeschichte der Pflanzenfamilien und die Kriterien ihrer Verwandtschaft in's Auge gefaßt werden müssen. Der Einfluß von Klima und Wohnort kann dahin zusammengefaßt werden:

a) die Art (im botanischen Sinne) kann äußerlich in weiten Grenzen der Verbreitung (etwa ein ganzer Erdtheil) in der Form ihrer Organe gleich constant sein oder nur geringfügige Varietäten der Form besitzen, welche indeß nicht Anpassungen an die Bedingungen des Wohnortes zu sein brauchen, gleichwohl können die Individuen derselben Art an das Klima so angepaßt sein, daß sie sehr verschiedene Ansprüche an die thermischen Verhältnisse stellen;

b) selbst die klimatisch starren Formen, z. B. die Waldbäume, können eine absolute Wärmeconstante nicht besitzen;

c) die Größe, Form und Farbe lassen sich zum Theil bei gewissen Arten als abhängig vom Standort und den thermischen Verhältnissen erweisen. Es müssen diese daher in gleichem Sinne auswählend wirken, wie die Summe aller der Widerstände für die Ausbreitung der Art, welche DARWIN unter dem «Kampf um's Dasein» zusammenfaßt¹⁾.

1) Durch die vorstehende Betrachtung wird ein Anschluß an die im zweiten Buch enthaltene allgemeine Morphologie und Entwicklungslehre gewonnen.

Der Artbegriff wurde nach der Methode der älteren Systematik gebildet aus diesen Beobachtungen an dem vorliegenden Individuum:

a) Größe des ganzen Individuums, Relation der Größe von Blättern, Interfolien, Blüten;

b) Gliederung des Stammes, Zweigbildung, geometrische Verhältnisse der Blütenstände;

c) Form der Blätter:

α) die Form der Blätter schwankt vom Keimblatt nach den Hochblättern an einer Art;

β) die Form ist an einer Art mindestens für die Laubblätter constant;

γ) Form und Farbe, sowie Behaarung schwanken an einer und derselben Art je nach dem Standort;

d) Stellung der Blätter. Die Blattstellung, früher von Manchen als constantes Merkmal angesehen, variiert an einem Individuum, selbst an einer Art, und der Nachweis ist geliefert, daß dieselbe von inneren wie äußeren mechanischen Bedingungen abhängig und mit diesen veränderlich ist;

e) Gliederung des Blattes;

f) Gliederung und Farbe der Blüte;

g) innerer Bau der Blüte;

b) Entwicklung des Embryo's und Keimungsgegeschichte.

§ 48. Pathologische Phänomene im Gefolge des Temperaturwechsels.

Eigentliche Krankheitserfcheinungen in Folge ungünstiger Wärmeverhältnisse sind bis jetzt nicht bekannt. Die Pflanze in der freien Natur hat sich entweder den klimatischen Verhältnissen angepaßt, oder sie geht durch die Strahlung oder Kälte ganz oder in einzelnen Theilen zu Grunde. Wir können die Phänomene, soweit sie bekannt sind, in diesem Sinne zusammenstellen:

A. Hohe Temperatur.

Directe Tödtung durch zu hohe Temperatur im freien Leben wird nur vorkommen bei Verpflanzungen und Akklimationsversuchen. Versuche¹⁾ über die höchsten Temperaturen, welche von lebenden Pflanzen ertragen werden, haben ergeben, daß die untersuchten Pflanzentheile verschieden empfindlich sind:

Ein großer Theil dieser Beobachtungen läßt sich auf Wachstumsvorgänge selbst im mechanischen Sinne zurückführen. Die Relationen der Wachstumsgrößen nach den drei Dimensionen eines Organes bedingen aber dessen endliche fertige Gestalt. Eine mechanische Theorie der Entwicklung, welche den Artbegriff feststellt, ist zur Zeit nicht möglich. Die Entwicklungslehre im Sinne DARWIN'S und HÄCKEL'S kann daher nicht eine mechanische genannt werden, weil sie von vornherein nicht erklärt, warum der Organismus zu variiren anfängt. Die Variation in der äußeren Form und in der (molecularen) Structur wird an sich als etwas Selbstverständliches hingestellt. Die mechanische und besonders die physiologische Theorie aber muß erklären, warum die Art und Form überhaupt variirt.

¹⁾ Bei einem Aufenthalte von 15 bis 30 Minuten in Luft, Wasser und Erde wurden ertragen oder gingen zu Grunde:

	in Wasser		in Erde	
	ertragen.	todt.	ertragen.	todt.
Zea Mais	45	47	50	52
Tropæolum majus	45,5	47	50	52
C. Aurant.	47,8	50	50	51
Phaeol. vulg.	45	47	—	—
Petroelinum	45	47	—	—

Für Wasser W und Luft L; A ertragen, B todt:

	W		L	
	A	B	A	B
Iris florentina, Wurzelblatt	49	51	55	57.

Nach H. DE VRIES, *Infl. de la temp. sur les plantes. 1871. Extrait des «Archives Néerlandaises»*. — H. v. MOHL, Ueber das Erfrieren der Zweigspitzen mancher Holzgewächse. Bot. Ztg. 48.

1^o der Tod tritt ein bei halbstündigem Verweilen in einer Temperatur von 50^o, einige Grade mehr oder weniger;

2^o in der Erde wird im Allgemeinen eine höhere Temperatur eben noch ertragen, als wenn die Pflanzentheile im Wasser liegen;

3^o andererseits ertragen dieselben Pflanzentheile eine höhere Temperatur in der Luft als im Wasser;

4^o die Symptome des Todes machen sich bemerklich im Verlust des Turgors der Membranen, in der Contraction des Protoplasma, in dem Verlust der Impermeabilität in der Membran sowohl wie im Protoplasma. Die fauern und alkalischen Säfte, welche in der lebenden Pflanze in differenten Zellen in chemischem Sinne getrennt erhalten bleiben, diffundiren. Die chemische Differenz geht verloren. In gleichem Sinne diffundiren die gelösten rothen, violetten und blauen Pigmente, welche in den lebenden Zellen zurückgehalten werden.

B. Niedere Temperatur.

Anders wie bei der oberen Temperaturgrenze liegt die Sache an der unteren Temperaturgrenze. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, daß der Pflanzenkörper in sich selbst nicht Eigenwärme genug producirt, um der Ausstrahlung gegenüber eine höhere Temperatur als die Umgebung zu behaupten. Die Temperatur der vegetativen Theile ist niemals dauernd weit von der Temperatur der Luft, allgemein der Medien, entfernt. Je nach der Herkunft erfrieren in den botanischen Gärten die nicht akklimatisirten Formen sonst dauernder Gewächse entweder nur in den zu spät geschlossenen Trieben oder in den Lohden, welche sich bei uns überhaupt nicht zum Knospenschluß anschicken. Bei anderen erfriert nur die Endknospe.

1. Tod durch Frost über dem Gefrierpunkt des Wassers.

Der Tod durch Frost über dem Gefrierpunkt beruht jedenfalls in einer Störung der vegetativen Proceße, indem zum Theil die Athmungsgröße herabgemindert, andererseits die Translocation und Verdunstung unter das günstige Maß herabgedrückt sind. Die sichtbare Bewegung des Protoplasma's ist schon bei 4^o über 0^o sistirt. Die Symptome des Todes sind im Allgemeinen dieselben, wie sie jenseits der höchsten nützlichen Temperaturen geschildert wurden, nur verläuft die Abtödtung im Allgemeinen langsamer.

2. Vereisung.

Die Vereisung der Pflanzensäfte, die vollständige Erstarrung des Protoplasma's und (vielleicht) auch die Vereisung des Imbibitionswassers in den weiteren Interstitien der Membranen bewirken bei den nordischen Pflanzen

an sich nicht den Tod. Die Stromnetze der Ekballien, Charen, welche im Eis künstlich vollständig erstarrt waren, gerathen bei langsamem Aufthauen wieder in Bewegung.

a) Langsames und rasches Aufthauen.

Die Vereisung der Säfte und des Protoplasma kann mindestens bei den nördlichen Pflanzen ertragen werden, wenn der Temperaturwechsel, welcher das Aufthauen herbeiführt, ein allmählicher ist. Plötzliche Steigerung

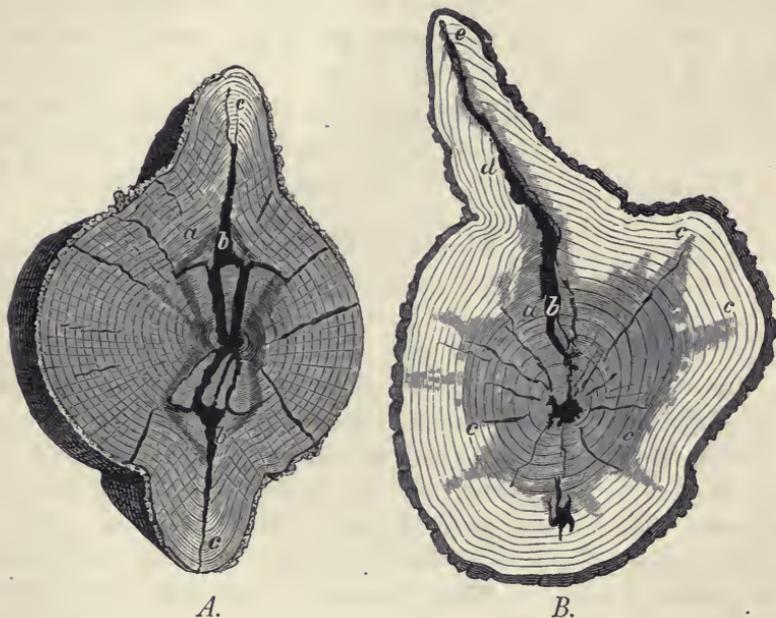


FIG. 479. A. *Fagus silvatica* L. a Jahresringe, b und c die einander gegenüberstehenden Frostrisse und Frostleisten ($\frac{1}{2}$ m Durchmesser). B. *Acer Pseudoplatanus* L. a und b Frostrisse, c Ueberwallungslagen, d und e Schluß ($\frac{1}{2}$ m Durchmesser). Nach GÖPPERT.

der Temperatur aber führt den Tod herbei, sowohl bei saftigen Pflanzentheilen, so z. B. Kartoffel, Rüben, saftigen Früchten u. a. m., als auch an den glattrindigen Zweigen der Buche, wo rascher Frost und rasche Wärmestrahlung die Rinde abtödtet und zum Zerreißen bringen.

b) Frostrisse¹⁾.

Die Frostrisse entstehen an Nadel- und Laubhölzern an erwachsenen Stämmen, meist an exponirten Orten, wo die Strahlung erleichtert ist, so

¹⁾ Durch hohen Druck wird der Gefrierpunkt des Eises in der Scale 100, 99 2, 1, 0, -1, -2 -273 herabgedrückt, bei dem Druck von 16 Atmosphären z. B. um 0,232° beobachtet (0,227° C. berechnet aus den Daten der mechanischen Theorie der Wärme)!

z. B. an Randbäumen, an steilen Flußufern, welche frei nach dem Thalbett belegen sind. Zumeist in klaren kalten Nächten, nachdem die Säfte im Baum bereits vereist sind, reißt der Stamm mit einem Schlag und einem Knall (von der Stärke eines Büchschusses) auf. Die Spaltfläche steht radial, f. Fig. 479, und geht parallel der Fafer in steilen Spiralen oft auf meterweite Strecken um den Schaft. Sie erstreckt sich meist von der Peripherie bis zum Marke und ist im Beginne immer nur von capillarer Querausdehnung. Der Rand bildet einen Callus, welcher die Wunde aber selbstredend, da die älteren Holzlagen nicht vermehrungsfähig, nur äußerlich schließt. Nun aber kommt der Sommer. Der Spalt öffnet sich, nach den Schilderungen über Quellen und Schrumpfen (f. oben, S. 91, § 15, Fig. 107) reißt der Holztheil des Callus von innen nach außen ein. Der Rindencallus vermag die Dehnung auszuhalten. Im zweiten, dritten Jahre und so fort schließt sich die Wunde jeweilig wieder. Der callose Zuwachs wird aber durch den Reiz der Verwundung stärker, und so entsteht zuletzt nach



FIG. 480. Epheu. Die unteren Blätter *a b* zur Zeit der Entwicklung vom Nachtfrost getödtet; die oberen Blätter normal entwickelt.

20 bis 30 Jahren ein mehrere Centimeter starker, über die Stammfläche vorstehender, dem Riß folgender Wulst, als charakteristisches, äußeres Kennzeichen der so tief in den Stamm eingreifenden Verwundung. Zur Theorie dieses Vorganges muß beachtet werden, daß, wenn die Vereisung des Imbibitionswassers in dem Stamme eingetreten ist, die Zugfestigkeit des Holzes an sich beträchtlich verringert ist. Die Cohäsion wird im Holz der Bäume senkrecht zur radialen Richtung unter geringerem Zug aufgehoben, wie senkrecht zu jeder anderen Axenrichtung. Ferner ist die Contraction bei plötzlicher Temperaturniedrigung in tangentialer Richtung größer, wie in radialer, so erfolgt das Zerreißen in der Radialrichtung unter der Einwirkung einer ungeheuren Spannung. Die Volumverminderung ist gleichwohl nur eine minimale; der Frostriß ist im Beginn eine fast capillare Spaltfläche¹⁾.

c) In der Streckung befindliche Organe.

Der Tod durch Spätfröste tritt rascher ein in allen jugendlichen, noch in der Streckung befindlichen Organen, so namentlich an den jungen, eben entfalteten Laubtrieben der Bäume. In der Figur 480 ist ein Epheuzweig-

¹⁾ Dr. ROB. CASPARY, Ueber Frostspalten. (Mit einem Beitrage meteorologischer Betrachtungen von Dr. C. F. SCHNEIDER.) 449. 73. 89. Bot. Ztg. 55.

lein dargestellt, welches in dem Moment, wo die Interfolien zwischen den kleinen Blättchen *a, b* sich streckten, im Zeitpunkt der Knospenentfaltung von einem Spätfroste befallen wurde. Die oberen Blätter waren zu dieser Zeit noch nicht in der Streckung begriffen. Der Erfolg war dieser: die unteren Blättchen erfroren und erlangten nicht die gewohnte Größe, die oberen entfalten sich in normaler Weise, trotz des geringen Schutzes, welchen die bereits geöffnete Knospe gewährte.

§ 49. Elektricität¹⁾.

Soweit in diesem Gebiet zuverlässige Experimente vorliegen, hat man zwei Arten von Untersuchungen zu unterscheiden:

- 1^o die Einwirkung elektrischer Entladungen, Inductionsschläge und constanter elektrischer Ströme auf lebende Pflanzen oder Pflanzentheile;
- 2^o den Nachweis der im Gefolge der Lebenserscheinungen in der Pflanze herrschenden elektrischen Ströme.

A. Einwirkung der Elektricität.

In erster Linie muß hier darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Experimentatoren wohl meistens so starke Entladungen oder constante Ströme anwandten, daß die Intensität der etwa in der Pflanze herrschenden Ströme dagegen verschwindend klein ist. Man kann sich zu diesen Studien, soweit sie am Mikroskop ange stellt werden, der oben beschriebenen und abgebildeten Apparate bedienen. Für Versuche an größeren Pflanzentheilen schaltet man diese in den Kreis mit Hilfe von Elektroden aus Platinblech, welche um den Pflanzentheil gewickelt oder in denselben eingefchoben werden:

a) die Leitungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes ist in den Zellenmembranen, bezogen auf die Leitung in Metallen, verschwindend klein;

b) elektrische Entladungen bewirken an der lebenden Mimosa den Uebergang aus der Tag- in die Nachtstellung. Der Anstoß kann

¹⁾ SACHS-HOFMEISTER, Handb. der physiolog. Botanik. Bd. IV. S. 74. Bd. I. S. 58. — NÄGELI u. SCHWENDENER, Das Mikroskop. I. Aufl. S. 457. — BECQUEREL u. DUTROCHET, *Compt. rend. II. Sér. T. 9.* S. 80. — JOHANNES RANKE, Unterf. über Pflanzenelektricität. Sitzungsber. der k. Acad. der Wissensch. zu München 1872. 6. Juli. — BUFF, Ueber Elektricitätserrregung d. lebenden Pflanzen. *Ann. d. Chem. u. Pharm.* 1854. 13. — JÜRGENSEN, Ueber die in den Zellen der *Vallisneria spiralis* stattfindenden Bewegungserfch. HEIDENHAIN, Studien d. physiolog. Instit. Breslau. 14. S. 104. — VELTEN, Ueber die wahre Pflanzenelektricität. 273. 289. *Bot. Ztg.* 76. — BURDON-SANDERSEN, Ueber elektrische Vorgänge im Blatte der *Dionæa muscipula*. 6. *Bot. Ztg.* 74.

hierbei ein außerordentlich schwacher sein. Bei sehr schwachen Inductionsschlägen schließen sich die getroffenen Blattpaare fast instantan. Der Reiz pflanzt sich in ähnlichem Sinne, wie bei der mechanischen Berührung, von Blattpaar zu Blattpaar, oft mit Ueberspringen einiger derselben, fort. Dauernde Reizung durch sehr schwache Inductionsschläge bewirkt zunächst die totale Reizstellung aller Theile, zuletzt aber wird die Pflanze gegen den Reiz unempfindlich; sie geht, wenn sonst die Bedingungen dafür günstig sind, wieder in die Tagstellung über.

Die höhere Pflanze ist in den Schließzellen ihrer Spaltöffnungen reizbar. Schaltet man einen abgezogenen Streifen der Epidermis zwischen die Elektroden eines der Apparate, Fig. 36 und 40 oben S. 33 und 34, schließt den inducirenden Strom, so beobachtet man nach kurzer Zeit, daß der Spalt sich schließt, ehe das Plasma der Schließzellen sich zurückzieht. Länger andauernde Reizung bringt den Plasmakörper der Schließzellen endlich zur Contraction. *

Elektrische Entladungen bewirken bei geringer Intensität in dem Protoplasmasystem der Vallisneria und anderen vegetativen Zellen die Bildung von zackigen Ausläufern, welche über die Strombahn hervorragten.

DUTROCHET und BECQUEREL versuchten, ob der Charenstrom durch die elektrischen Ströme umgekehrt werde.

Der Versuch verlief nach den Angaben dieser Forscher so: der elektrische Strom, welcher von einem der Elektroden, Fig. 40, von E' nach E verlief, wurde an einer zwischen beiden Elektroden eingeschalteten Stammzelle der Charen, Fig. 25, durch eine Spirale geleitet, welche parallel dem Plasmastrom gewunden war. In dieser konnte der elektrische Strom im gleichen und entgegengesetzten Sinne mit dem Plasmastrom gerichtet werden. Die elektrische Strömung bewirkte die Umdrehung des Plasmastromes nicht.

Nach den Angaben BECQUEREL's ist die Richtung des elektrischen Stromes in dieser Hinsicht ohne Einwirkung (*Cpt. rend.* 1837). Inductionsschläge bewirken bei längerer Dauer eine Contraction des Wandbeleges (f. Fig. 35).

Die Strömung der Carminpartikel, welche bei dem Ueberspringen des elektrischen Funkens, f. oben S. 34, Fig. 40, beobachtet wurde, tritt nicht ein, wenn man die Flüssigkeit in eine Glascapillare einschließt und von beiden Enden derselben die Elektroden einführt. Eine Theorie der Protoplasmaabewegung mit Zugrundelegung der elektrischen Vorgänge ist bis jetzt nicht zu ermöglichen.

B. Elektrische Ströme in der Pflanze.

An und für sich ist die Pflanze, wenn von den wenigen Sensitiven abgesehen wird, in allen ihren äußeren Bewegungen so träge, alle Bewe-

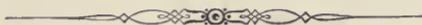
gungserfcheinungen verlaufen so langsam, daß von einer Innervation im Sinne der thierischen Nerven wohl kaum die Rede sein kann.

Die Pflanze besitzt jedenfalls nicht spezifische Bahnen für die Leitung im Sinne der thierischen Nerven, wenschon die Bedingungen für die Anhäufung elektrischer Spannung in den Geweben gegeben sind in der Athmung, dem steten Austausch von alkalischen und sauren Säften.

Die neuere Bearbeitung dieses Gegenstandes führt VELTEN zu dem Auffinden der «wahren Pflanzenelectricität».

VELTEN bedient sich des MEYERSTEIN'schen Elektrogalvanometers (MEISSNER und MEYERSTEIN, Ueber ein neues Galvanometer, POGGEND. Ann. 1861, Bd. 114, S. 132) und der von DU BOIS-REYMOND zuerst angewandten «unpolarisirbaren Elektroden», bringt mit einer dieser den Querschnitt abgechnittener Pflanzentheile, mit der anderen die unverletzte Außenfläche derselben in Berührung und erhält einen elektrischen Strom, welcher im Schließungsbogen von der Epidermis des unverletzten Theiles nach dem Querschnitt fließt.

Der Querschnitt verhielt sich hiernach negativ gegen den natürlichen Längschnitt. Diesen Strom nennt RANKE, welcher denselben Gegenstand zuvor behandelt hat, den falschen Strom. Der wahre Strom wird erhalten, wenn zuvor die schlechtleitende Epidermis entfernt wird. In solchen parallelfaserigen Pflanzenabschnitten verläuft der wahre Strom umgekehrt, vom Querschnitt durch die Schließung zum Längschnitt. Nach den weiteren Beobachtungen bieten diese Ströme keine Beziehung zu den bis jetzt bekannten Lebenserscheinungen der Pflanzen. Zunächst zeigt VELTEN, daß der «wahre Pflanzenstrom» nicht in Beziehung steht zu den elektromotorischen Wirkungen, wie sie durch den Ausgleich von sauren und alkalischen Säften entstehen müssen. Sodann zeigt er, daß der wahre Strom bei solchen Abschnitten verstärkt auftritt, welche längere Zeit im Wasser lagen. Eine Veränderung in der Lage der Zelleninhalte stellte sich gleichfalls als bedeutungslos für die Richtung des wahren Stromes heraus. Zuletzt zeigt er, daß der wahre Strom durch gewaltsame Abtödtung der Pflanzentheile in heißem Wasser nicht alterirt wird. Es scheint sonach, daß auch diese Ströme nicht in causalen Zusammenhang mit bekannten Lebenserscheinungen zu bringen sind.



Zehnte Abtheilung:

Rückläufige Zerfetzungen, Erkrankung, Gährung, Fäulniß, Verwefung¹⁾.



§ 50. Allgemeine Betrachtung.

In keinem Gebiete der Botanik ist in der neueren Zeit so viel mit Erfolg gearbeitet, wie hier in dem Gebiet der, bezogen auf den Aufbau, rückgängigen Bewegungen der organischen Massen. Der Tod und die Verwefung führen die Körper wieder zurück in das Reich der anorganen. Die Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoff-Verbindungen zerfallen endlich in Kohlenäure und Wasser, die Eiweißkörper in Ammoniak, Schwefelwasserstoff, phosphorsaure Salze u. a. m.

¹⁾ Literatur.

1857. Jahresber. von Liebig, Kopp u. Wöhler. *Compt. rend.* 45. 1021 und 1032. Vertheidigung der Ansicht, daß die Hefe die Spaltung des Zuckers bewirke. Zunahme des Gewichtes der Hefe. — BERTHELOT, Unterf. über denf. Gegenst. *Annal. d. chim. et phys.* 50. 332. — PASTEUR, Milchsäuregährung. *Compt. rend.* 45. Von den Alkoholgährungserregern verschiedene Organismen. — **1858. Jahresber.** PASTEUR, Gährung des weinfauren Ammoniak. *Compt. rend.* 46. S. 615. — BAIL, Flora. 57. — HOFFMANN, *Icones analyticae fungorum.* H. I. *Mucor racemosus.* — KARSTENS, Botan. Unterf. 66. H. 3. — PASTEUR, *Compt. rend.* 46 u. 47. Entstehung der Bernsteinsäure. — BÆDEKER, *Annal. d. Chem. u. Pharm.* 106. Derf. Gegenst. — SCHWARZ, Amylalkohol aus Traubenzucker. DINGLER, *Polyt. Journ.* Bd. 159. **1859. Jahresbericht von Liebig, Kopp u. Wöhler.** PASTEUR, Gährung mit überschüssiger Hefe (mehr Hefe als nöthig zur Zerfetzung des Zuckers). *Compt. rend.* 48. Gehalt der Hefe an Kohlehydraten. *Compt. rend.* Fett aus Zucker gebildet, ebend. — Résumé über die Zerfetzungsproducte. *Compt. rend.* Bd. 48. S. 1149. Bernsteinsäure, Glycerin, Kohlenäure, Cellulose, Fett. Bei der Milchsäuregährung wird Zuckerlösung mit $NH_4O \cdot PO_4H_3CaCO_3$ salzen verferzt, das Ammoniak verschwindet, es entsteht milchsäurer CaO . Hiernach erst beginnt die Entwicklung der Vibrionen, welche nicht an die Gegenwart von Sauerstoff gebunden sind; Fäulniß tritt ein. Die Fäulniß tritt nicht ein, wenn die Luft sauerstoffhaltig, oder wenn keine Keime von Vibrionen vorhanden sind. Bei Luftabfchluß werden die Fäulnißproducte nicht verändert. Tritt dagegen continüirlich Luft zu, fo treten successive mit neuen Individuen neue Gährungsercheinungen auf. Fäulniß der Leichen wird vermieden durch Einschlagen in alkoholfeuchte Tücher. — PASTEUR's Annahme der Verschiedenheit des Brandes von der Fäulniß. Der Brand ist unabhängig von der Einwirkung organischer Gährungserreger. *Compt. rend.* 56. Versuche PASTEUR's zeigen, daß vollkommen reine Luft organisirte Massen nicht oxydirte. Versuch mit dem ausgekochten geeigneten Substrat für Hefe im ausgekochten Zustande und mit filtrirter Luft. Versuche mit Harn und mit Sägespänen. — LE MAIRE gegen PASTEUR. *Compt. rend.* 57. — MILLON,

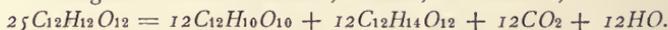
Die Zersetzungen nach dem Tode fahen die älteren Chemiker an als an und für sich selbst begründet in der organischen Constitution. Man stellte sich eben vor, daß der Körper der Organismen, die Leiche an und für sich, unter dem Einfluß des Sauerstoffs der Atmosphäre in die Proceße der Oxydation gezogen wird, welche mit den obengenannten Endproducten abschließt. Mit der Entwicklung der organischen Chemie und mit dem Studium der einfachen Zersetzungsercheinungen dieser Art, so namentlich der Gährung, wurden die in Frage stehenden Bewegungsercheinungen begrifflich genauer festgestellt. Zunächst dachte man sich, daß ein organisirter Körper von bestimmter Constitution im todtten Zustand in sich lediglich unter dem Einfluß des Sauerstoffs zerfallen müßte. Man glaubte z. B., daß nur die Bewegung, die wir Leben nennen, überhaupt den Zerfall des in Frage stehenden Körpers verhindere. Solche Körper besaßen außerdem die Eigenschaft, die

Nachweis der Ammoniakauscheidung bei der Gährung durch Hefe. — *Compt. rend.* 57. BÉCHAMP, resumirt frühere Gährungsbeobachtungen. *Compt. rend.* 57, — C. SCHMIDT, Annalen der Chemie u. Pharmacie, Bd. 126, weist nach, daß er schon 1847 das Auftreten von Bernsteinsäure beobachtet hat. **1863. Jahresber.** PASTEUR, Der Sauerstoff der Luft in Most. Beschleunigung der Gährung durch Sauerstoffzufuhr. Berechnung des Maximums der Sauerstoffaufnahme im Lager von drei Jahren. *Compt. rend.* 57. — BÉCHAMP, *Compt. rend.* 56, MAUMENÉ und BERTHELOT, *Compt. rend.* 57, Ueber denselben Gegenstand. — PASTEUR, *Compt. rend.* 58, mit Abbildungen von Pilzformen. — VERGNETTE-LAMOTTE und PASTEUR, *Compt. rend.* 60, Conservirung des Weines, Pastorisiren des Weines. PASTEUR, Abfälle des Weines. *Compt. rend.* 60. — BÉCHAMP und LADREY, Aehnliches über Weinconservirung. *Compt. rend.* 61. VOHL, DINGL. Polyt. Journ. — HOFFMANN, Verhalten der Hefe in der Wärme. *Compt. rend.* 63. — J. C. LERMER, Reagentien auf Hefe. DINGL. Polyt. Journ. 181. — HALLIER, Entwicklungsformen des Penicillium crustaceum. Arch. f. Pharm. 2. 125. — BÉCHAMP, Wirkung der Kreide bei der Milch- und Butterfäuregährung als Ferment, Microzyma cretae, punktförmiges neues Ferment. *Compt. rend.* 63. — PASTEUR gegen DONNÉ's Angaben über generatio spontanea. *Compt. rend.* 63. — SULLIVAN, Entgegnung, Phil. Magaz. 18, glaubt, auch ohne Luftzutritt trete Gährung in der Kuhmilch ein, und glaubt an den Uebergang des Casein in Milchfäureferment. — LUBOLD, über die Gährung der Kuhmolken (des Milchwuckers daselbst). Journ. f. pract. Chemie. 77, — PASTEUR, Salpetrigfäuregährung. In der Zuckermelasse, welche reich an Salpeterfäurefalten, tritt Milchfäure und Alkoholferment auf, bei der Entwicklung letzterer entsteht Wasserstoff, welcher aus den Salpeterfäurefalten Salpetrigfäure bildet. *Bulletin de la soc. chim., séance du 11 Mars 1859.* **1860. Jahresber. von Kopp u. Wöhler.** PASTEUR, Die Versuche der Luftfiltration; Ueber die Keime der Luft an verschiedenen Orten. *Compt. rend.* 50. — POUCHET, JOLY u. MUSSET, Ueber denselben Gegenst. *Compt. rend.* 50, — PASTEUR, Schimmelvegetation. Bedingung derselben. *Compt. rend.* 51. — HOFFMANN, Ueber denselben Gegenst. Bot. Ztg. M. u. Schd. 1860. — VAN DER BRCK, Annalen der Chemie u. Pharmacie. 115. **1861. Jahresber. von Kopp u. Wöhler.** H. SCHRÖDER, Luftfiltration. Annalen der Chemie und Pharmacie. 117. 1. Jahresber. 1854. — PASTEUR, Betrachtung der generatio æquivoca, Annalen der Chemie u. Physik. 3. 64. Experimente der Filtration und des Luftglühens. Experimente mit dem gewundenen Glasrohr. Temperatur und Keimfähigkeit. Gährung bei Luftabschluß. Entwicklung von wenig Hefe. Verschwinden des Zuckers.

Molecularbewegung, welche die Gährung oder Fäulniß veranlaßt, auf andere Körper zu übertragen.

Ein solcher Körper wird zum Ferment, wenn er in minimaler Menge die Bewegung auf eine große Masse der zu vergärenden, allgemein zu zeretzenden Körper überträgt. Man wird sich diese Sache so vorgestellt haben: Im Ferment herrscht ein chemischer Bewegungszustand, welcher zu dem endlichen Zerfall deselben hinführen muß. Wird nun eine selbst kleine Menge (z. B. Hefe, Laab, Effigmütter u. f. f.) derselben einer großen Menge zu zeretzender Flüssigkeit, Maische, Most, Milch u. f. f., zugeführt,

Bulletin de la soc. chim. 1861. Wirkung einer großen Fläche. Einstellung der Gährung. Erklärung der ersten stürmischen Gährung bei Abschluß der Luft durch den gelösten Sauerstoff. Gährung in eiweißhaltiger Zuckerlösung. — LEUCHS, Nicht-Vernichtung der gährungs-erregenden Kraft durch Hitze und Einwirkung von Alkohol. *Journ. d. prakt. Chemie.* 84. — JOLY u. MUSSET, Ursprung der *Torula cerevisiae*. *Compt. rend.* 53. Entwicklung der Sporen im Harn, der nach Biergenuß gelassen. Entwicklung eines Mycels, welches *Mycoderma cerevisiae* genannt wird. Hierauf Entstehung des *Penicillium glaucum*. Gleichheit der Aepfelmösthese mit Bierhefe. — POUCHET, Ueber denf. Gegenst. *Compt. rend.* 52. — PASTEUR, *Bulletin de la soc. chim. 1861.* Versuche mit *Mycoderma*, welche auf einer Flüssigkeit mit Phosphorsäurefalsen und Eiweiß vegetirt; wird diese dann entfernt und durch 10procentigen Weingeist ersetzt, so tritt Essigbildung ein. Abhängigkeit der Essigbildung von der Vegetation der *Mycoderma*. Sauerstoff allein ohne Einfluß. Experiment mit unorganisirten porösen Körpern. Zur Essigfabrication gehört die *Mycoderma* auf Zuckerlösung bei Sauerstoffabschluß. — PASTEUR, *Compt. rend.* 52. Butter säuregährung, Ferment, ein Infusorium, dessen Entwicklung unabhängig vom Luftzutritt. Geeignete Medien für daselbe sind Ammoniak, Zucker, Phosphate in Lösung. Einfrömen von Kohlen säure stört die Entwicklung nicht; Einfrömen von Luft tödtet daselbe. — PASTEUR, Schleimige Gährung. *Bulletin de la soc. chim. 1861.* 30. Wesen des Fermentes und der Gährung in zucker- und eiweißhaltigen Lösungen. Producte: Mannit, Gummi, Kohlen säure,



Jahresber. 1863. PASTEUR, *Compt. rend.* 56. Auffinden eines Fermentes, welches weinfauren Kalk zerzetzt und bei Abschluß der Luft (des Sauerstoffes) lebt (Vibrionen). Experiment mit ausgekochter Lösung von weinfaurem Kalk. Phosphorsäure mit Alkalien, Asche von Hefe, und Infusorien. Der weinfaure Kalk verschwindet, die Vibrionen mehren sich. Luft-haltige Lösung gährt, bis aller Sauerstoff durch die Vegetation von *Monas* und *Bacterium* verschwunden ist. Erst dann erscheinen die Sauerstoff-nicht-bedürftigen Organismen. *Zeitschrift für Chemie u. Pharmacie.* 1863. — SCHÖNBEIN gegen PASTEUR, Ozon. *Journ. für prakt. Chemie.* 89. Bd. — PASTEUR, Fäulniß, Verwesung, Definition der Fäulniß als von sechs Arten Vibrionen eingeleitete Gährungsercheinung. *Compt. rend.* 56. Entwicklung von *Monas crepusculum*, *Bacterium termo*, welche Sauerstoff der Luft absorbiren, hiernach absterben, da sie in sauerstoffreicher, kohlen säurehaltiger Luft nicht leben. — Dr. ADOLPH MAYER, Lehrbuch der Gährungsschemie. 3. Aufl. C. Winter. Heidelberg. 1879. Unterf. über die alkohol. Gährung, den Stoffbedarf und den Stoffwechsel der Hefepflanze. *Habilitationschrift zur Erlangung der venia docendi an der philosoph. Facultät der Univ. Heidelberg.* Mit einem Holzschnitt und sieben lithographirten Tafeln. C. Winter. Heidelberg 1868. — C. v. NAGELI, Theorie der Gährung. Ein Beitrag zur Molecularphysiologie. R. Oldenbourg. München 1879.

so überträgt die kleine Menge die Bewegung und bewirkt dort den allmähigen Zerfall der Körper Eiweiß, Stärke, Zucker u. f. f.

Nachdem man in den in Frage stehenden Fermenten z. Th. Organismen, niedere Thiere und Pflanzen, erkannt hatte, nachdem durch SCHWANN, HELMHOLTZ, VON DUSCH, SCHRÖDER¹⁾ nachgewiesen war, daß die Gährung und Fäulniß von der Gegenwart dieser Organismen abhängig ist, gewann die Sache ein anderes Ansehen. Jetzt war das Leben dieser niederen Organismen, welche in den Leichen (allgemein den organischen Abfalls- oder Erndteproducten, Zuckerlösung mit Spuren von Eiweiß, Milch u. f. f.) das geeignete Substrat für ihre vegetativen Proceße fanden, die Ursache der in Frage stehenden Zerfetzung.

Der belebte Gährungserreger leitet die Zerfetzung ein, weil er einen Theil der Masse des Substrates zu seiner Assimilation oder zu seiner Athmung braucht.

Die Feststellung der Symptome des Todes mögen, und dieß gilt namentlich für den Pflanzenkörper, noch so schwierig sein, soviel ist erwiesen, daß mit dem Tode zunächst gewisse chemische Veränderungen eintreten, welche unabhängig sind von gährungstüchtigen oder krankheitserregenden Organismen.

Die chemisch differenten Säfte (saure und alkalische, verdünnte und concentrirte), welche im Leben in besonderen Zellen diffundirten, vertheilen sich nach der Abtödtung nach allen Richtungen gleichmäßig. Eine Entmischung tritt ein. Bedeutend ist hier, daß in der nächsten Zeit die Athmung oder richtiger Kohlenäurebildung geringer wird als im Leben (f. oben S. 589).

Diese Vorgänge der Entmischung brauchen an sich nicht den endlichen Zerfall in die letzten Zerfetzungsproducte herbeizuführen. Der Tod aber erlaubt erst den Zutritt der Erreger. Der weitere Zerfall ist alsdann absolut abhängig von der Einwirkung der lebenden Gährungs- oder Fäulnißerreger. Gährung und Fäulniß sind im chemischen Sinne unter denselben Begriff zu ordnen. Der Gährungserreger sind bis jetzt mehrere genau bekannt, so wie auch der chemische Vorgang für mehrere dieser Zerfetzungen genau festgestellt ist²⁾.

A. Wesen des Zerfalls.

Zunächst muß hier auf einen fundamentalen Gegensatz in chemischer Hinsicht hingewiesen werden. Wir haben oben bei der Assimilation der

1) Der Nachweis wurde geführt, indem die zu vergärende Flüssigkeit von den Gährungserregern durch die Membran eines Dialysators getrennt wurde. Der Zucker dialysirt zu dem Gährungserreger, wird dort zerfetzt; die Gährung pflanzt sich aber nicht durch die Membran nach der Gährflüssigkeit fort.

2) Formeln für die Bildung mehrerer Gährungsproducte (nach v. GORUP-BESANEZ' Lehrbuch):

grünen Pflanzen gezeigt, S. 474, daß zu dem Reductionsproceß, welcher in der Pflanze verbrennliche Masse häuft, ein kleiner Theil der von außen einfrömenden Betriebskraft der Sonnenstrahlen vernichtet wird. Die so gewonnene chemische Spannkraft wird bei der Verwefung vernichtet, der Gährungs- und Fäulnißreger bezieht nun zwar einen Theil des von ihm geforderten Sauerstoffs aus der Luft, z. Th. aber (und wie PASTEUR gezeigt, gilt dieß für eine ganze Gruppe von Organismen) aus dem organisirten zerfallenden Substrat.

Der endliche Zerfall der Thier- und Pflanzenleichen wird durch die organischen Zerfetzungserreger beschleunigt. Dieselben beschleunigen also den oben angedeuteten Kreisproceß der Kohlenstoffverbindungen. Es folgt aber auch aus denselben Betrachtungen, daß die Zerfetzungsproducte bei der Gährung und Fäulniß zusammen eine kleinere Verbrennungswärme besitzen müssen, als die ursprüngliche Masse, aus welcher sie entstehen.

B. Einfluss der Gährungstheorie auf verwandte Disciplinen.

Nach zwei Richtungen haben die hier einschlägigen Untersuchungen fördernd gewirkt. Zunächst im ökonomischen Sinne wurden die Gährungstechnik und die Methoden der Conservirung von Nahrungsmitteln (Obst, Fleisch, Milch) außerordentlich verbessert. Zum zweiten wurde die Frage nach der generatio æquivoca in Anregung gebracht.

Diese Frage kann etwa so ausgesprochen werden: können, nachdem die chemische Constitution der Körper, welche den niederen Organismus zusammensetzen, bekannt ist, oder nachdem auch nur die grobe chemische Zusammensetzung bekannt ist, Bedingungen hergestellt werden, damit niedere Organismen außer Continuität mit bereits lebenden entstehen; oder ist es möglich, niedere Organismen außer Continuität mit bereits bestehenden entstehen zu sehen? Die Frage hängt mit den Untersuchungen über die rückläufige Zerfetzung in diesem Sinne zusammen: zur Lösung derselben muß ein Gemisch angewandt werden, welches die Nährkörper des entstehenden niederen Organismus enthält. Wenn nun irgend ein Substrat geeignet ist, so ist es gerade die organische Lösung, so in erster Linie die Gährflüssigkeit, Most, Maische (Lösung von Zucker, etwas Eiweiß und Salze).

Alkohol: 1 Mol. Traubenzucker = $C_6H_{12}O_6$ zerfällt in $\left\{ \begin{array}{ll} 2 \text{ Mol. Alkohol} & C_2H_5O \\ 2 \text{ " Kohlenäure} & C_2O_4 \end{array} \right.$

(Essigäure: Alkohol $C_2H_6O + O$ oxydirt zu Aldehyd $C_2H_4O + H_2O$)
Aldehyd $C_2H_4O + O$ " " Essigäure C_2H_4O)

Milchäure: 1 Mol. Traubenzucker = $C_6H_{12}O_6$ zerfällt in $\left\{ \begin{array}{ll} 1 \text{ Mol. Milchäure} & C_3H_6O_3 \\ 1 \text{ " Milchäure} & C_3H_6O_3 \end{array} \right.$

Butteräure: 2 Mol. Milchäure = $C_6H_{12}O_6$ zerfallen in $\left\{ \begin{array}{ll} 1 \text{ Mol. Butteräure} & C_2O_4 \\ 2 \text{ " Kohlenäure} & C_4H_8O_2 \\ 2 \text{ " Wasserstoff} & H_2 \end{array} \right.$

PASTEUR¹⁾ behandelt diese Frage für den Erreger der Alkoholgährung, die Hefe: in zwei Kölbchen wird die gleiche Gährflüssigkeit gegeben (Zuckerlösung mit etwas Ammon und Phosphorsäurefals), beide werden längere Zeit ausgekocht, an dem einen Kölbchen ist ein längeres Rohr angeschmolzen, welches nach oder während des Auskochens mit reiner Schießbaumwolle gefüllt wird.

Das andere Kölbchen bleibt offen. Mit dem Erkalten der beiden Gefäße tritt die atmosphärische Luft ein.

Der Erfolg ist dieser: in dem Kölbchen, welches die Luft durch den Baumwollpflock filtrirt erhält, unterbleibt die Gährung, in dem andern, welches nicht filtrirte Luft erhält, tritt dieselbe unter den bekannten Symptomen der Alkohol- und Kohlen säurebildung ein. Der Versuch kann auch in der Weise angestellt werden, daß eine angeschmolzene, sehr lange dünne Röhre während der Abkühlung der Gährflüssigkeit zum Glühen erhitzt wird.

1) Die ältere Annahme der Chemiker über das Wesen der Gährung ging dahin, daß in gährenden Körpern ein Ferment durch die Uebertragung eines in ihm sich vollziehenden Zerfalles den Proceß unterhalte. Die Anschauung war selbst dahin getheilt, daß ein solcher Körper durch seine bloße Berührung mit dem zu vergährenden (katalytisch) die Gährung einleite; so z. B. bei der Butter säuregährung. Als solche Fermente wurden die Eiweißkörper angesehen. PASTEUR zeigt durch den Versuch, daß, um die Gährung von butterfaurem Kalk einzuleiten, die Eiweißkörper überflüssig seien, indem er sie durch Ammonfals ersetzt. Er zeigt, daß die Infusorien, welche in lufthaltigem Wasser leben, nicht als Fermente gährungserregend wirken, daß aber, sobald aller Sauerstoff entfernt ist, andere Gährungserreger auftreten, welche nur in sauerstofffreier Flüssigkeit zu leben vermögen, und diese sollen die eigentlichen Erreger der Gährung sein. Er fand unter solchen Bedingungen, daß der weinsaure Kalk vollständig zersetzt wurde, während seine Kohlen säureinfusorien sich mehreten. PASTEUR theilt die belebten Gährungserreger dementsprechend ein in Luft-bedürftige und Luft-nicht-bedürftige (Aërobier und Anaërobier).

Nach PASTEUR schon sind die Fäulniß- (Verwesungs-)erscheinungen neben die Vorgänge der Gährung zu ordnen, insofern sie ebenfalls in causalem Zusammenhang mit lebenden Gährungserregern stehen (Vibrionen EHRENBURG's) (Bakterien). Zwei Fälle solcher Gährung (Fäulniß) sind möglich:

a) Die Luft ist abggeschlossen; in diesem Falle vermehren sich die Spaltpilze (Bakterien), bis aller in der Gährflüssigkeit vorhandene Sauerstoff verbraucht ist. Sobald dies erreicht ist, mehren sich die Vibrionen, die Bakterien zerfallen, und der milchsaure Kalk wird in butterfauren Kalk, der Zucker wird in Alkohol und Kohlen säure zerlegt. Die weitere Zerlegung des Alkohols in Kohlen säure und Wasser aber ist von der Anwesenheit der Bakterien abhängig.

b) Die Luft hat zu den vergährenden (verwesenden) Körpern Zutritt. Jetzt bilden sich die sauerstoffbedürftigen Gährungserreger an der Oberfläche des Körpers. Es entsteht eine Haut von Bakterien, welche zu Boden sinkt, eine neue Haut bildet sich u. s. f., bis ein vollständiger Abschluß gegen die Luft hergestellt ist. Durch diesen Abschluß aber wird der Körper für die Vibrionen geeignet, welche bei Gegenwart von Sauerstoff nicht zu leben vermögen. Diese zerlegen jetzt den milchsauren Kalk in Butter säure, den Zucker in Alkohol. Die schützende Decke der luftbedürftigen zerlegt jetzt aber diese Zer-

Im ersten Versuch werden die Keime der Gährungserreger in dem Filter zurückgehalten, in dem zweiten werden sie zerstört. Wird die glühende Glasröhre endlich zugeschmolzen, so unterbleibt die Gährung. Da die Sauerstoffentziehung an und für sich dieselbe verhindert, so mußte im PASTEUR'schen Versuch, wenn er Beweiskraft haben sollte, dafür gesorgt werden, daß sauerstoffhaltige Luft Zutritt erhielt.

Dieser Bedingung ist in beiden Versuchsweisen PASTEUR's genügt. Auf diese Weise ist wenigstens für die Hefe der Nachweis geliefert, daß der Gährungserreger nicht in der Gährflüssigkeit entsteht, daß die Keime aus der Atmosphäre dem Substrat zugeführt werden.

C. Einfluss der Gährungstheorie auf die Krankheitsgeschichte.

Auch die Vorstellung über das Wesen der Pflanzenkrankheiten wurde durch die Gährungstheorie beeinflusst: Es gab eine Zeit vor den ganz durch-

setzungsproducte vollständig in Kohlenäure und Wasser. Der Fäulnißproceß erreicht sein Ende mit der vollständigen Zerstörung der organischen Substanz. Es sterben nun allmählig die Vibrionen und zuletzt die Monaden und Bacterien in der schützenden Haut. Damit ist alle organische Substanz in Kohlenäure, Ammoniak und Wasser zurückgeführt. Den Zerfall der Thierleiche erklärt PASTEUR unter demselben Gesichtspunkt, indem er annimmt, daß die fäulnißerregenden Organismen im Innern der Verdauungswerkzeuge, umgeben von sauerstofffreier Flüssigkeit, schon zur Zeit des Lebens existiren. Zu solchen Erregern rechnet PASTEUR:

- 1) *Monas crepusculum*. *Bacterium termo*.
- 2) *Vibrio lineola*, *tremulans*, *subtilis*, *rugula*, *prolifer*, *bacillus*.

Die Erklärung des Gährungsprocesses, zunächst der Alkoholgährung, bei welcher der Alkohol in Zucker und Kohlenäure zerfällt, erhielt eine Erweiterung durch die Forschungen PASTEUR's (1859—61). Im Wesen der Sache stunden sich GAY-LUSSAC und THÉNARD einer- und BERTHELOT und PASTEUR andererseits gegenüber, den Ersteren ist es nicht gelungen, den causalen Zusammenhang zwischen der Gährung und dem Leben niederster Pflanzen und Thiere zu erkennen. BERTHELOT und PASTEUR zeigten zuerst das constante Auftreten von Glycerin und Bernsteinsäure bei der Alkoholgährung und erwiesen die Zersetzung durchaus abhängig von der Gegenwart der Hefe und der Vibrionen.

PASTEUR glaubte annehmen zu müssen, daß die Umwandlung des Zuckers $C_6H_{12}O_6$ in sein linksdrehendes Homologon durch das Auftreten der Bernsteinsäure veranlaßt werde. BERTHELOT beobachtete indeß diese Umwandlung auch in alkalischer Lösung und schreibt die Wirkung einem Körper zu, welcher ein dem Emulfin ähnliches Verhalten zeigt.

Die *Generatio æquivoca* erscheint deswegen unerwiesen, weil die Keime der Mucedineen ihre Keimfähigkeit noch behalten, selbst nachdem sie auf 120 bis 130° C. erhitzt wurden.

Die *Mycodermen* verhalten sich verschieden. Beide übertragen zwar den Sauerstoff der Luft auf die gährende Flüssigkeit, wird aber *Mycoderma vini* auf alkoholische Flüssigkeit übertragen, so bildet sich Kohlenäure und Wasser, während *Mycoderma aceti* den Alkohol in Essigsäure umsetzt. Bei dem ersteren Proceß ist die Thätigkeit des Gährungserregers eine gesteigerte. Luftabschluß verhindert aber in beiden Versuchen die Zersetzung (PASTEUR).

Die Holzspäne, welche bei der Schnelleifigfabrikation zur Anwendung kommen, sind nur die Träger der *Mycodermenkeime*.

schlagenden Ergebnissen der Arbeiten DE BARY'S, TULASNE'S, also kaum 20 Jahre, wo man die Pilze als stete Begleiter der krankhaften Symptome der Pflanzen wohl schon kannte. Das Wesen der Erkrankung suchte man gleichwohl nicht in dem störenden Einfluß der Parasiten, sondern man dachte sich eine ursprüngliche Krankheitsursache. Der Parasit trat gewissermaßen als Begleiter der Krankheitsercheinungen auf. Nun ist im physiologisch-chemischen Sinne zwar das Wesen der Pilzkrankheiten nicht, oder nur in wenigen Fällen, erschlossen. Soviel aber ist nachgewiesen, daß die Krankheits Symptome, die man an pilzkranken Pflanzen und Thieren beobachtete, durchaus abhängig sind von den Parasiten. Der experimentelle Beweis wurde durch eine Reihe von Impfungen und Keimungsgeschichten geliefert für die Uredineen, Ustilagineen, Saprolegnien, Chytridiaceen, in neuerer Zeit für die höchsten Pilzformen, die Agaricineen, sowie für die niedersten, Schizomyceten, Bacterien¹⁾.

D. Einfluss der Gährungstheorie auf die Medicin.

Auch in der Heilkunde hat sich bezüglich der pathologischen Proceße gewisser contagiöser Krankheiten ein Umschwung in der Anschauung vollzogen mit dem Nachweis, daß contagiöse Krankheiten in causalem Zusammenhang mit niederen Pflanzenparasiten stehen.

Alkoholgährung.

Am genauesten studirt ist die in der menschlichen Oekonomie bedeutungsvolle Alkoholgährung. Nach der oben, S. 630, dargelegten Formel wird hier unter dem Einfluß der Hefe Alkohol und Kohlenäure gebildet.

¹⁾ Genaueres siehe unten in der Systematik der niederen Cryptogamen. — In dem kürzlich erschienenen Lehrbuch: Anatomie u. Physiologie der Holzpflanzen von TH. HARTIG (Berlin, J. Springer 1878) ist heute noch die Anschauung verfochten, daß die niederen holzerstörenden Parasiten in dem Holze neu entstehen. TH. HARTIG sagt über die nach seiner Ansicht nachweisbare directe Entstehung lebender Zellen aus Zellrümern höher organisirter Wesen wörtlich Folgendes: «Dagegen läßt sich die Entstehung lebender Wesen niederer Bildung aus organisirten Zeretzungsproducten abgestorbener Thiere oder Pflanzen nachweisen. Schon in einer Schrift aus dem Jahre 1833 habe ich gezeigt, daß die Zellwände und Mehlkörper abgestorbener Bäume oder abgestorbener Theile lebender Bäume, unter entsprechendem Einfluß von Wärme, Feuchtigkeit und Luft, zunächst in ihre molecularen Theile zerfallen (Verjauchung); daß diese molecularen Theile, trotz ihrer geringen, 0,001 mm nicht übersteigenden Größe, durch das Uebereinstimmende in Größe und Kugelform immer noch als organisirte Körper zu betrachten, daß sie befähigt seien, unmittelbar in die niedrigsten Formen der Pilzbildung sich umzubilden und zu beleben, ohne die Mitwirkung vorgebildeter, lebender Keime, womit selbstverständlich die Entwicklung und Fortpflanzung von Keimen nicht ausgeschlossen ist, wenn solche in der sich zeretzenden Substanz vorhanden waren, oder von außen derselben zugeführt wurden.» In einer der folgenden Zeilen wird diese Entstehungsart niederster Pilzformen «generatio metamorphica» genannt.

Zu den Bedingungen der Hefevegetation gehören in erster Linie die Gegenwart genügender Mengen von Ammoniak, Salpetersäuresalzen oder Albuminaten neben dem in Lösung befindlichen Zucker. Nach Angaben PASTEUR's soll die Vergährung des Zuckers unterbleiben (oder doch bedeutend herabgemindert werden), wenn die vegetirende Hefe freien Sauerstoff in Lösung oder aus der Luft vorfindet. Dieselbe Hefemenge, welche in tiefen Gährgefäßen mit geringer Oberfläche eine beträchtliche Menge Zucker zersetzt, dabei aber selbst eine geringe Massenzunahme erfährt, zersetzt in flachen Gährgefäßen mit großer Luftoberfläche eine geringe Zuckermenge, ist aber jetzt in der Lage, sich selbst durch vegetative Theilung stark zu vermehren.

E. Ernährung der Hefepflanze.

Wir stellen noch einmal kurz die gewonnenen Resultate zusammen:

Die eiweißartigen Stoffe und alle anderen stickstoffhaltigen organischen Stoffe, mit denen hier Versuche angestellt worden sind, sind schlechte Nahrungsmittel der Hefepflanze und vielleicht nur in dem Maßstab, als sie Ammoniak durch Zersetzung abzugeben vermögen. Dennoch verhält sich die Hefepflanze in ihrer Stickstoff-Aufnahme nicht analog den höheren Pflanzen; denn obwohl auf Kosten von Ammoniaksalzen eine normale, wenn auch nicht möglichst kräftige Ernährung stattfindet, so ist dieselbe doch absolut unfähig, sich auf Kosten von Salpetersäure, der Hauptbezugsquelle von Stickstoff für die höheren Pflanzen, zu ernähren.

Es scheint jedoch eine Gruppe von stickstoffhaltigen, organischen Körpern zu geben, die ein äußerst kräftiges Nahrungsmittel der Hefepflanze sind. Es scheinen dieß dieselben Körper zu sein, denen man früher jene geheimnißvollen Fermentwirkungen zuschrieb und zum Theil noch heute zuschreibt. Für Pepsin, das ein Hauptvertreter jener Gruppe ist, konnte eine große Nährfähigkeit in Bezug auf die Hefepflanze nachgewiesen werden. Ein hierhin gehöriger Körper ist auch in der frischen Hefe nachgewiesen, und derselbe ist möglicherweise mit der Diastase identisch¹⁾.

Bei der Gährung findet zugleich ein Stickstoffumsatz statt, welcher dadurch bewiesen werden kann, daß die stickstoffhaltigen Extractivstoffe der erschöpften Hefe unfähig sind, die Hefepflanze zu ernähren. Dieser Umsatz ist Ursache der Erschöpfung der Hefe.

Die Versuche PASTEUR's führten zu der Annahme, daß der Gährungserreger überhaupt nur die in Frage stehende Zersetzung einleiten könne, wenn er gezwungen ist, den Sauerstoff aus dem zu zeretzenden Zucker zu nehmen.

NÄGELI tritt dieser Theorie an der Hand zahlreicher Versuche in neuerer Zeit entgegen.

¹⁾ A. MAYER, in der S. 628 cit. Abh.

Er zeigt, daß die Gährthätigkeit in der flachen Schale größer ist wie in dem tiefen Gefäß mit geringer Luftoberfläche, und definiert zunächst die Gährung als eine Uebertragung von Bewegungszuständen der Molecule, Moleculgruppen und Atome verschiedener, das lebende Plasma zusammensetzender Verbindungen (welche bei der Uebertragung selbst chemisch unverändert bleiben) auf das Gährmaterial, wodurch das Gleichgewicht in dessen Moleculen gestört und dieselben zum Zerfallen gebracht werden (a. a. O., S. 29).

Von physiologischem Interesse ist die Frage: wie ist die Zersetzung in der Hefezelle oder in ihrer Nähe zu denken? Es giebt Beobachtungen, und auf diese stützt sich NÄGELI, wo die Gährung durch Pflanzenmembranen hindurch erfolgt, so bei Früchten, welche auf ihrer Haut von Hefezellen besiedelt sind. Dieselben gähren, wenn sie mit der Schale in Wasser oder Most liegen.

Schneidet man vom Zuckerrohr etwa fußlange Stücke ab, incircirt diese an einer Schnittfläche mit Hefe, so verbreitet sich die Gährung von dem Querschnitt aus weit über das ganze Stück, und der Alkohol diffundirt bald bis zur anderen Schnittfläche. NÄGELI geht einmal von der Anschauung aus, daß das Plasma der Pflanzenzelle außer der Membran chemische Zersetzungen nicht bewirken könne. Damit stehen aber die Resorptionen, welche von den Keimfhläuchen der Pilze, Uredineen, Ustilagineen durch geschlossene Membranen getrieben werden (Fig. 390, 391), im Widerspruch. Bei den Zersetzungen, welche hier auf die Cellulose des Wirthes übertragen werden, kommen jedenfalls chemische Umwandlungen in Betracht, welche mindestens ebenso tief eingreifend sind, wie die Zersetzung des Zuckers bei der Gährung durch die Hefe.

Gegen die Annahme, daß der Zucker in die Hefezelle diosmire, daß Alkohol und die Kohlenfäure aus der Zelle in dem Maß der Zersetzung austrete, argumentirt NÄGELI mit einer Berechnung der Alkoholbildung für gegebene Zeit bei günstigster Secretion, bezogen auf eine einzige Hefezelle.

Nach den Angaben PASTEUR's vergährt 1 g Hefe in 20 Tagen 50 g Traubenzucker, in einer Stunde also im Durchschnitt 0,1 g. Nach NÄGELI's Angaben vergährt die Hefe in 1 Stunde 1,67 ihres eigenen Trockengewichtes Zucker, wobei 0,85 ihres Gewichtes Alkohol gebildet wird.

Während einer Stunde ergiebt die Rechnung für 1 qcm 0,000047 g Zucker, welcher eindringen, 0,000024 g Alkohol, welcher aus der Zelle ausgeschieden werden muß.

Die vergleichenden Versuche über die Diffusionsgeschwindigkeiten von Zucker und Alkohol durch künstliche Membranen führen nicht zur Entscheidung der Frage, ob die Gährung in der Hefezelle oder außerhalb derselben unterhalten werde.

Den Nachweis, daß die Hefezelle mit ihrem Plasmakörper gährungs-erregend auf $\frac{1}{50}$ mm über die Peripherie ihrer Membran hinaus wirke, suchte NÄGELI zu stützen, nachdem er darauf aufmerksam gemacht hat, daß die Thierzelle in ihrer Außenfläche mit einer Plasmaschicht functionire, während die Pflanzenzelle ihre Plasmathätigkeit durch eine Cellulosewand hindurch zu vollziehen habe, durch die analoge Wirkung der gährungs-erregenden Pilzzellen, welche aus ihrer Membran reducirende, den Lackmus entfärbende Substanzen ausscheiden, und durch die oben angegebene That-sache, daß die Hefezelle durch die Fruchtschale oder durch zahlreiche Membranen in dem Zuckerrohr gährungserregend wirkt.

Bezüglich des Sauerstoffbedarfs der Hefe bei der Gährung kommt NÄGELI zu diesen Erfahrungen:

1^o «Der freie Sauerstoff kann bei vorhandener hinreichender Gähr-thätigkeit entbehrt werden.»

Niedere Pilze, die Hefe z. B., können überhaupt nur ohne Sauerstoff leben, wenn sie im Stande sind, in dem Substrat Gährung zu erregen. Schimmel und gewisse Sprosspilze vermögen überhaupt nicht Gährung zu erregen, sie können daher auch ohne Sauerstoff nicht leben, mögen die Ernährungsbedingungen in dem Substrat sonst noch so günstige sein.

Die *Saccharomyces* und *Mucorineen* erregen durchaus nur eine Art der Gährung, nämlich die Alkoholgährung, sie leben ohne Sauerstoff bei Gegenwart des Zuckers und der stickstoffhaltigen Nährkörper (Peptone). Es konnte bisher nicht festgestellt werden, ob es unter den Schizomyceten (Spaltpilzen) nicht etwa auch solche gäbe, welche ohne freien Sauerstoff nicht leben können, während sie auch nicht gährungserregend sind. Die Verbrennungswärme, welche bei der Gährung geschaffen wird, liefert die Kraft für die Molecularbewegung im Körper des lebenden Gährungserregers.

Diese Quelle der Kraft wird sonst bei höheren Wesen durch die Athmung in sauerstoffhaltiger Luft unterhalten. Der Gährungserreger der Hefezelle lebt ohne Sauerstoff, zersetzt dafür den Zucker, um dabei Sauerstoff für den Oxydationsproceß zu gewinnen. Es besteht somit eine Wechselwirkung; die Hefe zerlegt den Zucker, um lebendige Kraft der Molecularbewegung für ihre Plasmatheile zu gewinnen, diese Bewegung wird aber dazu angewandt, um weitere Zuckermengen in die Zerfetzung herein-zuziehen.

2^o «Die Oxydation durch freien Sauerstoff begünstigt aber ihrerseits die Gährung.»

Mit diesem Satz stellt sich NÄGELI in schroffen Gegensatz zu den früheren Forschern (s. oben PASTEUR, S. 634). Der reiche Sauerstoffgenuß steigert die Lebensthätigkeit und das vegetative Wachsthum der Hefe, dadurch aber wird diese um so gährtüchtiger.

3^o «Die Gährfähigkeit der Hefezelle befördert unter allen Umständen ihr eigenes Wachstum.»

Bei der Beobachtung der Hefe allein in Zuckerlösung wird es immer noch schwer sein, zu entscheiden, welches die Ursache, welches die Wirkung ist. Die starke Vegetation der Hefe kann eben so wohl die Ursache erhöhter Gährfähigkeit, wie diese die Ursache des stärkeren Wachstums sein.

Im Allgemeinen ernähren sich nicht gährungsfähige Pilze auf Glycerin und Peptonen eben so gut, wie auf Zucker. Auch die Hefe wächst in solchen Substraten bei Zufuhr von Sauerstoff, wiewohl sie nicht in der Lage ist, dort Gährung zu erregen. Zusatz von Zucker, also die Möglichkeit der Gährungserregung aber vermehrt auch ihre vegetative Thätigkeit.

4^o «Die Gährfähigkeit eines gegebenen Pilzes benachtheiligt die Ernährung und das Wachstum der übrigen Pilze, welche nicht für dieselbe Gährung organifirt sind.»

Hier wurde das Verhalten der Hefe im Kampf mit den Spaltpilzen in's Auge gefaßt. Der gewöhnliche Verlauf der Ausschließung zweier Pflanzen ist dieser: wenn eine Art in allzu großer Anzahl da ist, die andere in allzu geringer, so wird in der Regel die erstere vermindert, die letztere vermehrt. Gerade umgekehrt liegt es zwischen der Hefe und den Bacterien auf demselben zu vergärenden Substrat; ist die Hefe von Anfang an in Ueberschuß neben den Bacterien und erfolgt eine starke Gährung, so unterliegen die Spaltpilze. NÄGELI erklärt diesen Vorgang von der Hypothese der molecularen Bewegung aus, welche oben dargelegt wurde, nachdem er gezeigt, daß die substantielle Veränderung des Substrates durch den Gährungserreger nicht die Ursache für die Ausschließung des Spaltpilzes sein kann. Er denkt sich, durch den Einfluß des Protoplasmas der Hefezelle werde bis zu einem bestimmten Rayon um dieselbe in den Zuckermoleculen der Nährlösung eine moleculare Schwingung erregt, welche endlich zu dem Gährungszerfall führt.

Sind die Zuckermoleculare in diese Schwingung für die Hefe einmal hereingezogen, so sind sie nicht mehr empfänglich für andere Schwingungsbewegungen, welche von dem Spaltpilz ausgehen; der letztere verliert dadurch aber seine Nahrung oder die Fähigkeit, lebendige Kraft aus dem Gährungsubstrat zu ziehen, und damit seine Existenzbedingung.

§ 51. Pflanzenkrankheiten.

A. Orientirung.

Es ist nicht die Aufgabe der nachfolgenden Abhandlung, alle pathologischen Zustände der Pflanzen, welche z. B. durch Ernährungs- und Be-

leuchtungsbedingungen veranlaßt sind, zu schildern, dieß ist in den früheren Abschnitten, soweit thunlich, geschehen.

Im Anschluß an die Betrachtungen über den Zerfall, welche im Vorstehenden ange stellt wurden, mögen die wesentlichen Gesichtspunkte der contagiösen Krankheiten herausgegriffen werden¹⁾.

1) **Bakterien.**

HERMANN HOFFMANN, Ueber *Bakterien*. 233. Bot. Ztg. 69. — FERD. COHN, Zur *Bakterienfrage*. 861. Bot. Ztg. 71. — JOH. LÜDERS, Ueber *Abstammung und Entwicklung des Bacterium Termo, Vibrio lineola*. Ehrb. 33. 41. — Dr. FERD. COHN, *Unterf. über Bakterien*. COHN, *Beitr.* Heft 3. S. 141. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag. — Dr. FERD. COHN, *Unterf. über Bakterien*. COHN, *Beitr.* Heft 2. S. 127. Breslau 1872. J. U. Kern's Verlag. — Dr. J. SCHRÖTER, Ueber einige durch *Bakterien* gebildete Pigmente. COHN, *Beitr.* Heft 2. S. 109. Breslau 1872. J. U. Kern's Verlag. — Dr. ED. EIDAM, *Unterf. über Bakterien*. III. Beiträge zur *Biologie der Bakterien*: 1. Die *Einwirkung verschiedener Temperaturen und des Eintrocknens auf die Entwicklung von Bacterium Termo Duj.* COHN, *Beitr.* Heft 3. S. 208. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag. — Dr. KOCH, *Kreisphysikus in Wöllstein, Unterf. über Bactérien*. V. Die *Aetiologie der Milzbrandkrankheit begründet auf die Entwicklungsgechichte des Bacillus Anthracis*. COHN, *Beitr.* Bd. 2. Heft 2. S. 277. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag. — Dr. FERD. COHN, *Unterf. über Bakterien*. IV. Beiträge zur *Biologie der Bacillen*. COHN, *Beitr.* Band 2. Heft 2. S. 249. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag. — C. J. SALOMONSEN, *Zur Isolation differenter Bacterienformen*. 609. Bot. Ztg. 76.

Chytridieen.

A. BRAUN, Ueber das *Chytridium*, eine *Gattung einzelliger Schmarotzergewächse auf Algen und Infusorien*. 1856. Berlin. Dümmler. — Dr. J. SCHRÖTER, *Die Pflanzenparasiten aus der Gattung Synchytrium*. COHN, *Beitr.* Heft I. S. 1. Breslau 1870. J. U. Kern's Verlag. — Dr. LEON NOWAKOWSKI, *Beiträge zur Kenntniß der Chytridiaceen*. II. *Polyphagus Euglena*, eine *Chytridiacee mit geschlechtlicher Fortpflanzung*. COHN, *Beitr.* Bd. 2. Heft 2. S. 201. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag. — Dr. LEON NOWAKOWSKI, *Beitrag zur Kenntniß der Chytridiaceen*. COHN, *Beitr.* Bd. 2. Heft I. S. 73. Breslau 1876. J. U. Kern's Verlag. — M. WORONIN, *Neuer Beitr. zur Kenntniß der Chytridieen. Entwicklungsgechichte des Synchytrium mercurialis*. 81. 97. Bot. Ztg.

Saprolegnien.

A. DE BARY, *Beitrag zur Kenntniß der Achlya prolifera*. 473. 89. 505. Bot. Ztg. 52. — N. PRINGSHEIM, *Weitere Nachträge zur Morphologie und Syftematik der Saprolegnien*. *Abhandl. d. k. Acad. d. Wissensch. zu Berlin*. 1859. — A. DE BARY, *Einige neue Saprolegnien*. S. 169. PRINGSH. *Jahrb.* Bd. II. 1860. — H. LEITGEB, *Neue Saprolegnien*. S. 357. PRINGSH. *Jahrb.* Bd. V. 1866—67. — Dr. OSCAR BREFELD, *Entwicklungsgechichte der Empusa muscae und Empusa radicans*. 161. 177. Bot. Ztg. 70. — Dr. JACOB WALZ, *Beiträge zur Kenntniß der Saprolegnien*. 537. 553. Bot. Ztg. 70.

Uredineen.

MAX REESS, *Chryfomyxa Abietis* Unger und die von ihr verurfachte *Fichten-nadelkrankheit*. 385. 93. Bot. Ztg. 65. — Prof. A. S. ÖRSTED, *Ueber Rœstelia lacerata nebst Bemerkungen über die anderen Arten der Gattung Rœstelia*. 222. Bot. Ztg. 67. —

Als obersten Satz erhalten wir: der parasitär lebende Pilz ist die Ursache des Zerfalles oder der Erkrankung der höheren Pflanze. Die pathologischen Symptome sind im Allgemeinen nicht so genau im chemischen Sinne aufgeklärt wie die Gährung.

Wir halten in erster Linie fest, daß es der Forschung bis jetzt nicht gelungen ist, den Nachweis zu liefern, daß die in Frage kommenden Krankheitserreger in dem Wirth, der Nährpflanze oder dem Thiere, durch Urzeugung oder Zerfall des Plasmakörpers des Wirthes entstehen, und gehen von vornherein von der Vorstellung aus: wenn ein niederer Parasit in das Innere einer Zelle des Wirthes dringt, so sind an sich schon die Bedingungen der Erkrankung des Wirthes gegeben.

Wir können somit sagen: der gegebene Pilz, welcher so verfährt, ist

Dr. MAX REESS, Die Rostpilzformen der deutschen Coniferen. Halle. H. W. Schmidt. 1869. — M. WORONIN, Unterf. über die Entwicklung des Rostpilzes (*Puccinia Helianthi*), welcher die Krankheit der Sonnenblume verursacht. 677. 693. S. FAMINTZIN. Bot. Ztg. 75. — Dr. J. SCHRÖTER, Entwicklungsgeschichte einiger Rostpilze. COHN, Beitr. Heft 3. S. 1. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag.

Ustilagineen.

A. FISCHER v. WALDHEIM, Beiträge zur Biologie und Entwicklungsgeschichte der Ustilagineen. S. 61. PRINGSH. Jahrb. Bd. V. 1866—67. — J. KÜHN, *Tilletia Secalis*, eine Kornbrandform des Roggens. 470. Bot. Ztg. 76.

Pyrenomycetes.

H. v. MOHL, Die Traubenkrankheit. 9. 31. Bot. Ztg. 52. — A. DE BARY, Zur Kenntniß infectentödtender Pilze. 1. 9. 17. Bemerkungen über *Arthrobotrys oligospora*. 75. Ueber den Krebs und die Hexenbesen der Weißtanne. 257. Bot. Ztg. 67. — A. DE BARY, Zur Kenntniß infectentödtender Pilze. Bot. Ztg. 1867. Nr. 2. — Dr. BAIL, Ueber Pilzepizootien der forstverheerenden Raupen. Danzig. Th. Anhuth. 1869. — Dr. R. WOLF, Keimung der Ascosporen von *Erysiphe graminis* Lév. Notiz, neuen Brandpilz betr. 814. Bot. Ztg. 74.

Allgemeines.

WILLKOMM, Mikroskopische Feinde des Waldes. Dresden 1867. Schönfeld. — Dr. Th. HARTIG, Nachträge zur Abhandlung «Pilzbildung im keimfreien Raume». 190. Ueber das Faulen von Eiern in unverletzter Eischale. 193. Bot. Ztg. 69. — R. HARTIG, Die Zersetzungsercheinungen des Holzes der Nadelholzbäume und der Eiche in forstlicher, botanischer und chemischer Richtung. Berlin 1878. J. Springer. — R. HARTIG, Pilzkrankheiten der Bäume. Berlin 1874. J. Springer. — A. DE BARY, Anmerkung zu Th. HARTIG's Nachträgen zur Abhandlung «Pilzbildung im keimfreien Raume». 193. Zur Kenntniß infectentödtender Pilze. 585. 601. Bot. Ztg. 69. — Dr. FERD. COHN, Ueber eine neue Pilzkrankheit der Erdraupen. COHN, Beitr. Heft 1. S. 58. Breslau 1870. J. U. Kern. — JULIUS KÜHN, Der Mehlthau der Runkelrübe. 499. Die Anwendung des Kupfervitrioles als Schutzmittel gegen den Steinbrand des Weizens. 502. Bot. Ztg. 73. — Dr. J. SCHRÖTER, Prüfung einiger Desinfectionsmittel durch Beobachtung ihrer Einwirkung auf niedere Organismen. COHN, Beitr. Heft 3. S. 30. Breslau 1875. J. U. Kern's Verlag.

ein specifischer Krankheitserreger, specifisch bezogen auf jede andere Krankheit, aber auch bezogen auf die Krankheit, welche ein gegebener Pilz anderer Art unter denselben oder ähnlichen Umständen erzeugt.

B. Bedingungen des Pilzlebens.

Allgemeine Bedingungen des Pilzlebens sind diese: warme, feuchte Luft, das geeignete Substrat, welches reich an organischen Zeretzungsproducten ist, Thier- und Pflanzenleichen, und für die parasitären, welche nur in lebenden Pflanzen und Thieren zu leben vermögen, der Wirth in der geeigneten Phase seines ganzen Körpers oder derjenigen Organe, welche der Parasit zunächst anzugreifen gewohnt ist.

Gehen wir von dem Infectionsherd aus. Es kann dieser das Sporenlager eines epiphyten Pilzes sein, so kommt zunächst der rein mechanische Vorgang der Sporenerstreuung in Betracht. Die Sporen werden in der Luft verweht oder verschleppt durch Thiere und Menschenhand, sie fliegen aus und gehen zu Millionen zu Grunde. Sie keimen, wenn sie das geeignete Substrat finden.

Die Infection ist somit zunächst ein rein mechanischer Vorgang, das Entstehen der Krankheit aber ist abhängig von der Beschaffenheit des Wirthes, dem jeweiligen Zustand seiner angegriffenen Theile, Blatt, Stamm, Blüthe, Aftwunde u. f. f. Hierin liegt ein wesentlicher Zug des Verhältnisses begründet, welches die Disposition für die Krankheit genannt wird. Bei einer epidemischen Pilzkrankheit, so namentlich bei den Rostpilzkrankheiten der Nadelhölzer, findet man ganze Bestände befallen, so z. B. die Kiefern der norddeutschen Ebene, die Weißtanne im Schwarzwald, die Fichte in den Alpen. Mitten in dem Bestand steht unter Hunderten von kranken Bäumen ein gefunder. Ebenso kommen im rostkranken Getreidefeld einzelne gefunde neben zahllosen inficirten Pflanzen vor. Die Disposition für die Krankheit hängt jedenfalls von mannigfaltigen Bedingungen in der Nährpflanze, wie in den Parasiten oder deren Keimen, sowie von einigen Witterungsbedingungen ab, welche mit aller Bestimmtheit für einige Krankheitserreger erschöpfend studirt sind.

Zu den Krankheitserregern sind zu rechnen: die Spaltpilze (Bacterien), die Chytridieen, Saprolegnien, ein Theil der Mucorineen, die Uredineen, Ustilagineen, die Peronosporeen, ein Theil der Pyronomycetes und Agaricineen.

Wiewohl nun durch eine Reihe ganz ausgezeichnete Unterfuchungen DE BARY's, TULASNE's, REESS', BAIL's, LÖW's, KARSTEN's, R. HARTIG's nachgewiesen ist, daß aus jeder im systematischen Sinne genau umschriebenen Gruppe der genannten Pilze specifische Krankheitserreger hervorgehen, so

muß doch in erster Linie darauf aufmerksam gemacht werden, daß in diesem unermesslichen Gebiet der Propagation zahlreiche endophyte Pilze sich in absterbenden Thier- und Pflanzenleibern einfinden, ohne in Causalnexus mit dem endlichen Tod des Wirthes zu stehen. Zahlreiche Pyrenomyceten siedeln sich in absterbenden Baumtheilen oder in frischen Astwunden an, ohne Wesentliches beizutragen zu der Zerstörung des Wirthes. Selbst die Wunden, welche an Zweigen krebsartig durch das Wuchern eines Rostpilzes (*Aecidium pini*, *Podisoma* auf *Juniperus* z. B. u. a. m.) entstehen, können gelegentlich durch Pyrenomycetensporen und deren Mycelien inficirt werden. Es findet eine Succession von verschiedenen Pilzformen in absterbenden oder todten Pflanzentheilen statt, ohne daß ein genetischer Zusammenhang unter denselben zu bestehen braucht und ohne daß die auftretenden Parasiten in causalem Zusammenhang mit der ursprünglichen Krankheit zu stehen brauchen.

Als eigentlicher Krankheitserreger ist der verdächtige Pilzgastr in der gegebenen Nährpflanze doch erst erwiesen, wenn die Infection durch Impfung auf einer zweifellos gefunden Pflanze der gleichen Art alle Symptome der Erkrankung hervorbringt. Solche Nachweise sind für die verschiedenen Organe an der Pflanze mit Sicherheit beigebracht, für die Erkrankung der Wurzel der Bäume durch die Agaricineen (Kiefern, Fichten, Lärchen durch *Agaricus melleus*); für die Wurzel der Erle durch *Schinzia alni* aus dem Verwandtschaftskreis der Chytridieen, wo große krebsartige, perennirende Anschwellungen aus deformirten verholzenden Sprossungen entstehen, welche in adventiver Weise dem Innern des Rindenkörpers entspringen.

Für den Stamm der Waldbäume sind Corrosionen im Holz und in der Rinde durch Infection, welche von der Wurzel auf- oder von der Astwunde absteigend vorschreiten, bekannt, für die Gattungen *Agaricus* und *Trametes* aus der Familie der Agaricineen. Die Mycelien treten in Form der Rhizomorphen oder in Fäden und Platten auf. Zweig- und Blattkrankheiten werden in erster Linie epidemisch für die Uredineen, Ustilagineen, Chytridieen, Peronosporeen und Pyrenomycetes. Blüthentheile werden von Ustilagineen, Uredineen und Sphaeriaceen befallen.

Die äußeren Symptome, welche durch die mikroskopisch kleinen Krankheitserreger zunächst auffallen, sind:

1^o Verlust des Turgors bei einigen befallenen Organen. So das Blatt und die Beere des Weines unter dem Einfluß der Erisyphie. Das Kartoffelblatt unter dem Einfluß der Peronospora;

2^o Anschwellung und Verbildung ganzer Organe, welche während des Wachstums befallen wurden, so die Cruciferen unter dem Einfluß von *Cistopus candidus*, der Maiskolben unter dem Einfluß des *Ustilago maidis*, das Birnblatt unter dem Einfluß der *Podisomasporen*, die vom Rost be-

fallenen Blätter von Berberis, die Zweige von Pinus unter dem Einfluß des *Aecidium pinitorquum* u. v. a.;

3^o Verfärbung, Zerfetzung des Chlorophylles in Blättern, welche von den Uredineen, Ustilagineen, Peronosporen befallen sind;

4^o vollständige Resorption der befallenen Organe, so bei dem Getreide, welches von den Ustilagineen, Pyrenomyceten befallen ist;

5^o partielle Resorption und Krebsbildung in der Rinde der Bäume bei manchen Uredineen, *Podisoma juniperi*, *Aecidium pini*;

6^o Resorption der Nährkörper im Zelleninnern des Wirthes, Abtödtung des Protoplasmas, vollständige Zerfetzung aller Säfte, rasch fortschreitende Fäulniß, z. Th. bei den Uredineenkrankheiten, ganz vorherrschend bei den Peronospora-kranken Kartoffelblättern.

Die inneren Symptome, welche zum Theil durch das Mikroskop erkannt werden, hängen innig mit der Entwicklungsgeschichte der Parasiten zusammen:

1^o Die Propagationszelle, welche den Infectionsherd verläßt und den Wirth besiedelt, ist eine nackte, geformte, mit Cilien versehene Plasmamasse, sie schwimmt im Wasser. Die Infection ist daher an sich an eine Wasserbahn, welche den Infectionsherd mit dem neuen Substrat verbindet, gebunden, die Schwärmosporen (Oospore oder Zoospore der Saprolegnien, Peronosporeen, Chytridiaceen) beruhigen sich auf dem Substrat, bilden eine feste Membran, welche zum Keimschlauch auswächst. Dieser dringt durch die Intercellularräume (Spaltöffnungen) in das Innere des Wirthes und bildet ein Mycelium, welches intracellulär oder intercellulär den befallenen Pflanzentheil durchwuchert, so bei den Chytridiaceen, Peronosporeen.

2^o Die Spore ist eine ruhende Zelle, welche ausfliegt oder verschleppt wird, sie keimt auf der Epidermis, indem das Endosporium einen Schlauch treibt, welcher durch die Spaltöffnung eindringt, z. B. *Aecidium* auf dem Getreide, oder ein Loch durch die Exine und Intine der Epidermis bohrt, z. B. die *Puccinia* und die Ustilagospore auf dem Getreide.

3^o Das Mycelium, welches auf der ruhenden Spore entsteht, spinnt den Pflanzentheil ein und haftet an der Epidermis nur mit kurzen Saugwarzen (Haustorien), welche die Epidermis durchbohren, z. B. die Erisyphen auf dem Weinblatt, den Blättern des Ahorn, der Erle, des Hopfens und auf zahlreichen krautartigen Gewächsen.

4^o Das vegetative Gewebe, Mycelium, durchbohrt mit bis millimeterdicken Strängen (Rhizomorphen) die Baumwurzeln, reforbirt weite Strecken des Holzkörpers in transversaler und longitudinaler Richtung, sendet von den dickeren Rhizomorphenäften einzellige Mycelfäden aus, welche durch die Zellwand der Holzzelle dringen. Es reforbirt die Splintlagen im Holz

und der Rinde, indem es sich in tangentialer Richtung zwischen Holz und Rinde ausbreitet.

5^o Die Sporenlager entstehen aus dem vegetativen Körper des Wirthes unter der Epidermis, durchbrechen diese zur Zeit der Ausfaat, verwunden daher von innen heraus die Oberfläche (Uredineen, Ustilagineen).

6^o Die Mycelien verändern die Textur des Holzes. Das Holz wird weiter, wie die directe Berührung des Mycelfadens (Hyphe) reicht, resorbirt. Es behält in dem am weitesten zerfetzten, rothfaulen Eichenholz, abgesehen von den unregelmäßig umschriebenen Löchern (Corrosionsstellen der Mycelplatten und Fadengewebe), im kleinen Volum feine histologische Beschaffenheit. Das specifische Gewicht ist indeß beträchtlich gesunken, die Textur verändert, die Festigkeit vernichtet, die chemische Zusammensetzung verändert, z. B. bei dem kranken Holz der Kiefer, Fichte, Lärche, Eiche unter dem Einfluß der Trametes- und Polyporusarten.

C. Dauer des Infectionsherdes.

Bezüglich der Dauer des Infectionsherdes ist zu beachten, daß alle Organe der Nährpflanze, welche an sich im ersten Jahre eingehen, abfallen, absterben, vertrocknen, selbstredend für den Stock der Pflanze den Infectionsherd beseitigen. Dieß gilt für alle specifischen Blattkrankheiten der Laubbäume, der krautartigen Gewächse. Kommen die Sporen aber zur Entfaltung auf dem in Frage stehenden Organ, so bildet das verdorrte und verweste Organ unter Umständen den Infectionsherd für die nächste Vegetationsperiode. Perennirende Mycelien bilden die baumbewohnenden Agaricineen: Trametes, Polyporus, Agaricus u. v. a., welche z. Th. stetig und periodisch Sporen- (Frucht-) Körper hervorbringen. Dauernde, durch viele Jahre thätige Infectionsherde sind die Krebswunden der Wachholder (*Podisoma*, *Gymnosporangium*), einige rindenbewohnende *Acidien* bei der Kiefer, Weißtanne, der Erlenkrebs (*Schinzia alni*). Dauernde Mycelien- und Sporenlager finden sich bei den baumbewohnenden *Sphaeriaceen* (*Ustilina*, *Cucurbitaria*, *Xyloxylo* u. a.).

Die Uebermittlung der Krankheit von einem Sommer zum nächsten findet sich, von einem und demselben Infectionsherd der Nadel aus, bei der rostkranken Fichte (*Chryfomyxa abietis*).

D. Die Generation des Krankheitserregers.

Wir kommen damit zu dem nächsten interessanten Zug in der Krankheitsgeschichte. Die Uebermittlung der Infection von einer Vegetationsperiode zur nächsten, von einer Pflanze zur anderen, oder von einem Jahres-

trieb einer gegebenen perennirenden Pflanze (Waldbäume) zum nächsten ist abhängig von der Generation der Sporen und deren Anpassung.

1. Entwicklungszeit unbestimmt.

Bei einigen Agaricineen, welche den Baumkörper bewohnen, dort das Holz mit perennirenden Mycelien allmählig im Laufe der Jahrzehnte zerstören, ist die Zeit der Entwicklung für den Sporenkörper unbestimmt. Die Infection kann nur an der Wurzel, an einem Rindenriß oder an einer Aftwunde geschehen. Die Angriffsstelle kann hier unter Umständen verschwindend klein fein gegenüber der ganzen Oberfläche des Baumes. Diese Parasiten besitzen aber zum Theil nicht die Fähigkeit, ihre Sporen erzeugenden Fruchtkörper durch die Borke hinauszutreiben; sie sind gewissermaßen, nachdem sie von der Angriffsstelle aus den Holzkörper langsam durchwucherten, gefangen, bis ihr Mycelium eine bereits vorhandene Wunde in der Rinde trifft. Geeignete Witterungsbedingungen machen nun die Bildung der über die Oberfläche des Wirthes hervorragenden (Frucht-) Sporenkörper möglich. Der Zeitpunkt für den Abschluß der Entwicklung wird hier also im Allgemeinen ganz unbestimmt fein. Auch brauchen solche Trametes- und Polyporusarten von der ersten Anlegung ab bis zur Sporenreife oft mehrere Wochen, selbst Monate.

2. Anpassung an den Wirth.

Das zweite Verhältniß ist dieses: der Pilz ist mit seinen Generationen der Sporenbildung, allgemein der Bildung seiner Propagationszellen, auf eine und dieselbe Nährpflanze (auf ein und daselbe Nährthier) angewiesen. Er bildet die verschiedenen Generationen gleichzeitig oder eine hinter der andern. Dahin gehören die Chytridieen, Saprolegnien, Mucorineen, Ustilagineen, Peronosporeen.

3. Generationswechsel.

Der Krankheitserreger ist mit mehreren in genetischem Verband stehenden Sporen und Mycelformen an verschiedene Nährpflanzen angepaßt. Der Entwicklungscyclus ist durchbrochen, also unmöglich, wenn eine der Nährpflanzen in der Nähe des Infectionsherdes fehlt. Dieser Gegenstand kann auch ohne die eingehende Keimungsgeschichte einigermaßen überschaut werden: wir wählen zu seiner Darlegung die Entwicklung einiger Uredineen und das Mutterkorn.

I. Unter den Rostpilzen ist wohl am weitesten verbreitet der gelbe Nadelrost der Fichte. Die soeben aus der Knospe austretende Nadel wird befallen von den Sporidien der *Chrysomyxa abietis*. Der Keimschlauch dringt durch die Epidermis, bringt die Nadel durch die Bildung eines inter-

cellularen Mycels zum Erkranken. Rostbraune ringförmige Stellen zeigen dieß im laufenden Sommer des ersten Jahres an.

Gleichwohl hält sich die Nadel am Zweig über den Winter bis zum zweiten Jahre. Während dieser Zeit bildet das endophyte Mycelium die Sporenlager (Sterigmen) unter der Epidermis. Erst im Mai und Juni des nächsten Jahres öffnen sich die Sporenlager durch Zerreißen der Epidermis, die Sterigmen strecken sich, gliedern die Sporidia der ersten bis zweiten Ordnung ab, welche verstäuben und die junge Nadel des zweiten Jahres befallen. Damit ist der Cyclus umschrieben, die nächste Etage der Nadeln und Zweige an dem Baum ist inficirt.

Die Infection erfolgt hier also an einer mehrjährigen Nadel im ersten, die Sporenausfaat aber erst im zweiten Jahre.

II. Die zweite Gruppe ist durch den Rost (*Rœstelia*) auf den Birnblättern vertreten. Die von dem Birnblatte abfliegenden Sporen der *Rœstelia* inficiren die Zweigrinde des *Juniperus Sabina*. Dort ist das Mycelium perennirend, giebt Veranlassung zu einer Krebswunde, aus welcher in der feuchten Frühlingsperiode die gelatinösen Sporenlager einer zweiten Pilzform (*Podisoma* oder *Gymnosporangium*) hervorquellen. Aus dem vertrockneten Sporenlager verstäuben die *Podisoma*sporen, keimen aber auf den Blättern der Pomaceen (*Pirus*, *Cratægus* u. a. m.), bringen dort die Generation der *Rœstelia* hervor. Die Krankheitsursache dieser Obstbäume kann also mit dem *Juniperus Sabina* entfernt werden. Betrachten wir endlich noch denselben Vorgang für den Getreiderost zusammen, so können wir den Verlauf der Infectionen von einer gegebenen kranken Getreidepflanze in diesem Schema zusammenstellen:

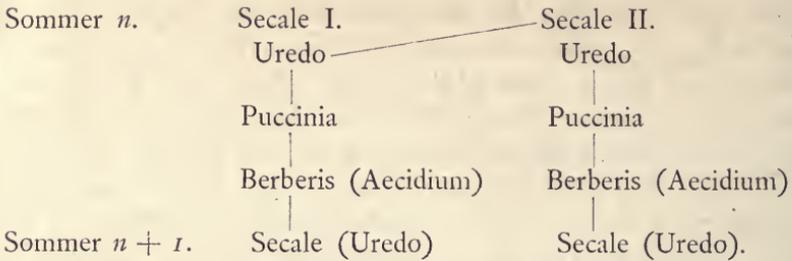
Sommer des Jahres *n*.

Secale I verstäubt Uredosporen (1) von den vegetativen Theilen, Blättern, nach *Secale* II, III, IV u. f. f.; dort entsteht Uredo (2). Dieser wird verstäubt und kann unter Umständen auf anderen Nährpflanzen Uredo (3) hervorbringen.

Aus den verlassenen Uredolagern oder neben den Uredosporen auf demselben Blatt entsteht die zweite Sporenform *Puccinia*. Diese verstäubt noch im laufenden Sommer, geht aber hinüber auf die Blätter von *Berberis*, wo sie, keimend, aus dem endophyten Mycelium die Sporenform *Aecidium* hervorbringt.

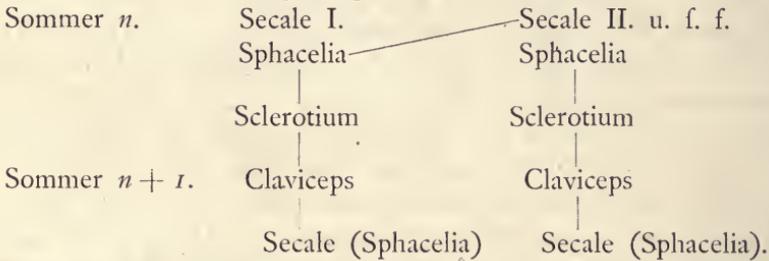
Sommer des Jahres *n + 1*.

Die *Aecidium*sporen inficiren nun die neue Generation von *Secale* in vielen Individuen, das endophyte Mycelium bildet zuerst Uredo, damit schließt die Entwicklung an den Beginn an:



Die Generation ist durchbrochen und damit die Epidemie, bezogen auf die Getreidecultur, vernichtet mit der Entfernung der Berberizensträucher.

Von ähnlichem Interesse ist der Vorgang der Infection bei dem Mutterkorn des Getreides, hier sind drei Pilzformen bekannt; zunächst Sphacelia, die Conidienform vom Fruchtknoten der Cerealien (Roggen, Weizen), aber auch auf einigen wilden Gräsern, z. B. *Molinia coerulea*. Diese Form zerstört den Fruchtknoten vollständig, die ausfliegenden Conidien inficiren aber noch im selben Sommer die Umgebung. Wir erhalten also:



Jedes verlassene Sphacelialager bildet einen mehrere Centimeter großen ruhenden Pilzkörper (Mutterkorn), welcher abfällt (oder wenn geerntet, von dem Getreide abgefiobt wird). Derselbe ruht mehrere Monate, bildet die sporenerzeugende Generation von *Claviceps*.

Die Sporen dieses inficiren die Blüten (Fruchtknoten) der nächstjährigen Getreidegeneration.

Mit der Zerstörung des Sclerotium vor der Keimung ist die Ursache der Erkrankung vernichtet.

Bei Betrachtung der rein physiologischen oder chemischen Wirkung der Pilzparasiten wird sich zeigen, daß man auf das von NÄGELI eingehender besprochene Problem über die Wirkung der Hefezelle rasch zurückkommt.

Zunächst ist leicht übersichtlich, daß im Vergleich zu dem rapiden Verlauf der analogen Krankheiten bei dem Thier, in welchem die Organe der Ernährung, der Verdauung und Athmung mehr centralisirt sind, der Krankheitsverlauf bei den Pflanzen ein außerordentlich träger ist. Die von den Saprolegnien befallenen Fliegen erfahren jedenfalls eine rasch tödlich verlaufende Zerstörung der Verdauungsorgane und des Gefäßsystems, viel-

leicht eine Blutvergiftung. Bei den Epidemien der *Bombyx pini* und der Seidenraupe ist mit Bestimmtheit die Infection des Blutes mit abgegliederten keimfähigen Conidien nachgewiesen. Ebenso ist bei der Infection mit Milzbrandbacillen die Untermischung des Blutes mit Keimen dieser Bacterie erwiesen. Hier, wie bei der Diphtheritis, handelt es sich jedenfalls um eine Blutvergiftung.

Aber selbst, wenn dieß nicht im chemischen Sinne verstanden werden dürfte, so ist doch mindestens dort die Verbreitung der Erreger von einem gegebenen, vielleicht mikroskopisch kleinen Orte der ersten Infection aus wesentlich erleichtert gegenüber dem gleichen Krankheitsverlauf bei der Hefepflanze.

Der erste Angriff geschieht von einem mikroskopisch kleinen Orte aus. Wie nun auch die Bahn des eindringenden Keimschlauches liegen möge, so ist doch leicht ersichtlich, daß der Vorgang erst dann zur Erkrankung führt, wenn das Mycel mit seinen Zellen den Plasmakörper durchdringt.

Das Anbohren der Cellulosewände ist an sich freilich schon ein auffälliger Eingriff, bei welchem mit Bestimmtheit Cellulose gelöst werden muß.

Die eigentliche Tödtung tritt aber doch erst mit der Wirkung der Keimschläuche auf das Plasma der befallenen Gewebe ein. Der Tod tritt unausbleiblich ein, wennschon die Zelle längere Zeit dem Parasiten widersteht und noch einige Zeit der Translocation obliegen kann.

Welcher Natur der chemische Vorgang ist, kann bis jetzt nicht entschieden werden. Es setzen sich hier der experimentellen Forschung gerade wegen der zahlreichen, aber mikroskopisch kleinen Infectionsherde unübersteigliche Hindernisse entgegen. Die Pilzhyphe wirkt jedenfalls durch Diffusion weit über ihre nächste Umgebung hinaus, die erkrankten und sichtlich in ihrer chemischen Constitution, sowie Textur veränderten Gewebe sind auch zwischen den sichtbaren Hyphen und Mycelplatten in diesem Sinne zerstört. Wennschon über den chemischen Vorgang der Abtödtung der inficirten Zelle nichts bekannt ist, als daß endlich die vollständige Unfähigkeit, Reservekörper zu bilden, zu leiten, und das Absterben und der Zerfall der Zellinhalte eintritt, so sind doch wenigstens die secundären Wirkungen, welche von diesen ersten Eingriffen abhängen, übersichtlich. Auszunehmen freilich sind die Verbildungen, so namentlich das mächtige Anschwellen bei geringem Aufwand von Bildungsmaterial bei einjährigen Theilen, Blättern, saftigen Stengeln (*Uredo maidis* bewirkt, daß der jugendliche Maiskolben zum Durchmesser von $1\frac{1}{2}$ Fuß anschwillt).

Die in Frage stehenden Gewebe sind häufig durchaus nicht selbst inficirt durch Mycelien oder Keimschläuche. Die secundären Wirkungen, welche als nothwendige Folge überschaut werden können, sind diese: zu-

nächst ist an und für sich klar, daß die reichliche Infection, d. h. das Angehen zahlreicher Sporen, allein die Garantie bietet, daß der Parasit die Phasen der Mycelbildung, der nöthigen Veränderung in dem befallenen Organe, durchläuft, so daß er wirklich zur Sporenbildung schreiten kann. Hierbei geht das Organ, also ein System von Zellen, zu Grunde, welches das ganze System des Pflanzenkörpers rückwirkend ernährt. So z. B. fällt das Blatt frühzeitiger; ist der Parasit ein specifischer Blattbewohner eines Baumes, so verliert der Baum zwar z. Th. die Erndte an Assimilationsproducten, ist sonst aber nicht gefährdet. Wiederholt sich die Epidemie, so tritt freilich eine stetig sich steigende Schwächung ein. Die zahllosen blattbewohnenden Erisyphen sind kaum bei den Bäumen zu den ersten Krankheitserregern zu rechnen, sie gehen gar nicht in das Blatt. Gleichwohl üben sie eine secundäre Wirkung, indem sie die Assimilation schwächen. Das Gleiche gilt, wennschon nicht in demselben Maß, für lediglich blattbewohnende Uredineen. Eine secundäre Wirkung schlimmerer Art ist der Verlust der Kartoffelblätter. Hier wird die Assimilation durch Verlust der Blätter eingestellt, 2—3 Monate vor dem für die Erndte erforderlichen Ziel. Ganz verderblich endlich wirkt die Erkrankung dann auf das ganze System zurück, wenn, wie bei der Abtödtung der Baumwurzeln durch die Rhizomorphen und durch Zerstörung der leitenden Rindengewebe, die Translocation vollständig oder zum Theil unterbrochen wird. Die secundären Wirkungen lassen sich also leicht überschauen, während die Vorgänge der Abtödtung, abgesehen von den mikroskopisch wahrnehmbaren Veränderungen, in der nächsten Nähe der Infectionsstellen, namentlich im chemischen und physikalischen Sinne, bis jetzt nicht verstanden werden können.



0

QK
641
M84
Th.1
cop.2

Müller, Nicolaus Jacob Carl
Handbuch der allgemeinen
Botanik

Biological
& Medical

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY
