

XI. *Neunzehnte Reihe von Experimental - Untersuchungen über Elektrizität;
von Michael Faraday.*

(Nach dem im *Phil. Mag. Ser. III, Vol. XXVIII, p. 294*, gegebenen Abdruck aus den *Phil. Transact. f. 1846, pt. I.*)

§. 26. Ueber die Magnetisirung des Lichts und die Beleuchtung der Magnetkraftlinien ¹⁾.

I. Wirkung der Magnete auf Licht.

2146) Seit lange habe ich, vermuthlich mit vielen anderen Freunden der Naturkunde, die an Ueberzeugung strei-

- 1) Der Titel dieses Aufsatzes hat, wie ich höre, Manchem zu einem Mißverständnisse hinsichtlich seines Inhaltes Anlaß gegeben, und ich nehme mir daher die Freiheit diese erläuternde Note beizufügen. Ohne die Hypothese von einem Aether, oder die Corpuscular- oder irgend eine sonstige Ansicht über die Natur des Lichts anzunehmen oder zu verwerfen, ist meines Erachtens von einem Lichtstrahl wirklich nichts mehr bekannt, als von einer Linie der elektrischen oder magnetischen Kraft, oder selbst der Schwerkraft, außer als er und sie in und durch Substanzen manifestirt werden. Ich glaube daher, daß bei den von mir in diesem Aufsatz beschriebenen Versuchen das Licht magnetisch afficirt worden ist, d. h. daß das, was in den Kräften der Materie magnetisch ist, afficirt worden, und andererseits das, was in der Kraft des Lichts wahrhaft magnetisch ist, afficirt hat. Mit dem Worte magnetisch umfasse ich hier die besonderen Aeußerungen der Kraft eines Magneten, sie mögen in magnetischen oder diamagnetischen Körpern auftreten. Der Ausdruck: „*Beleuchtung der Magnetkraftlinien*“, ist so verstanden, als sagte er, ich hätte diese Linien leuchtend gemacht. Das kam mir nicht in den Sinn. Ich wollte damit nur sagen, daß die Magnetkraftlinie beleuchtet war, wie es die Erde von der Sonne, oder das Fadenkreuz eines Fernrohrs von der Lampe wird. Bei Anwendung eines Lichtstrahls können wir *mit dem Auge* die Richtung der magnetischen Linien in einem Körper angeben, und durch Abänderung des Strahls und seiner optischen Wirkung auf das Auge können wir die Bahn dieser Linien sehen, gerade so wie wir den Verlauf eines Glasfadens oder eines anderen durchsichtigen Körpers wahrnehmen können, wenn er durch das Licht sichtbar gemacht ist. Und dies verstand ich unter *Beleuchtung*, wie es der Aufsatz vollends erklären wird. — 1845, Dec. 15. M. F.

fende Meinung gehegt, daß die verschiedenen Formen, unter denen die Kräfte der Materie auftreten, einen gemeinschaftlichen Ursprung haben, oder, mit anderen Worten, so in directem Zusammenhange und gegenseitiger Abhängigkeit stehen, daß sie gleichsam in einander verwandelt werden können, und aequivalente Kräfte in ihren Wirkungen besitzen ¹⁾. In neueren Zeiten sind die Beweise für ihre Umwandelbarkeit in beträchtlichem Maasse gehäuft, und es ist der Anfang gemacht zur Bestimmung ihrer aequivalenten Kräfte.

2147) Diese feste Ueberzeugung, auf die Kräfte des Lichtes ausgedehnt, veranlaßten mich früher zu manchen Anstrengungen, um eine directe Beziehung zwischen Licht und Elektrizität, und eine Wechselwirkung derselben auf die ihrem gemeinschaftlichen Einflusse unterworfenen Körper zu entdecken ²⁾; allein die Resultate derselben waren negativ, und wurden späterhin in dieser Beziehung von Wartmann bestätigt ³⁾.

2148) Diese vergeblichen Anstrengungen und viele andere, die nie veröffentlicht wurden, konnten indess meine feste, auf philosophische Betrachtungen gestützte Ueberzeugung nicht erschüttern, und deshalb nahm ich neuerdings die experimentelle Untersuchung in der eifrigsten Weise wieder vor, wobei es mir dann endlich gelang, *einen Lichtstrahl zu magnetisiren und elektrisiren, so wie eine Magnetkraftlinie zu beleuchten*. Ohne in das Detail vieler erfolgloser Versuche einzugehen, will ich die Resultate so kurz und deutlich beschreiben wie ich kann.

2149) Bevor ich jedoch dazu schreite, will ich definiren, welchen Sinn ich mit gewissen Ausdrücken verbinde, die zu gebrauchen ich Gelegenheit haben werde. Unter *Magnetkraftlinie* oder *magnetischer Kraftlinie* (*line of magnetic force* or *magnetic line of force*) oder *magnetischer Curve* verstehe ich

1) Experimental-Untersuchungen, 57, 366, 376, 877, 961, 2071.

2) *Phil. Transact.* 1834. Experimental-Untersuchungen, 951 bis 955.

3) *Archives de l'Electricité, T. II, p. 596 bis 600.*

diejenige Aeußerung (*exercise*) der magnetischen Kraft, welche in den Linien ausgeübt wird, die insgemein magnetische Curven genannt werden, und sowohl bei Magnetpolen zu- und abwärts gehen, als bei einem elektrischen Strome concentrische Kreise bilden. Mit *elektrischer Kraftlinie* meine ich die Kraft, die ausgeübt wird in Linien, welche zwei nach dem Princip der elektrischen Vertheilung (*statio electric induction*) auf einander wirkender Körper (1161 etc.) verbinden, und sowohl gerade als krumm seyn können. *Diamagnetica* nenne ich Körper, welche von Magnetkraftlinien durchschnitten werden, und durch deren Wirkung nicht den gewöhnlichen magnetischen Zustand von Eisen oder Magneteisenstein (*loadstone*) annehmen.

2150) Licht von einer Argand'schen Lampe wurde durch Reflexion an einer Glasfläche in horizontaler Ebene polarisirt und dann durch ein Nichols'sches Prisma geleitet, welches zur leichten Untersuchung des Lichts um horizontaler Axe drehbar war. Zwischen dem polarisirenden Spiegel und dem Nichol wurden zwei kräftige Elektromagnetpole aufgestellt, entweder die Pole eines Hufeisen-Magnets oder die entgegengesetzten Pole zweier cylindrischen Magnete. Sie standen in Richtung des Strahls etwa zwei Zoll auseinander, und zwar entweder beide auf einer Seite des polarisirten Strahls, dicht neben ihm, oder zu beiden Seiten desselben, so daß dieser zwischen ihnen hindurch ging, und ganz oder nahe die Richtung der Magnetkraftlinie hatte (2149). Sonach mußte also eine zwischen die beiden Pole gebrachte durchsichtige Substanz zugleich den polarisirten Lichtstrahl und die Magnetkraftlinien in derselben Richtung durch sich hinlassen.

2151) Vor 16 Jahren machte ich Versuche über ein optisches Glas bekannt ¹⁾, und beschrieb dabei die Darstel-

1) *Philosoph. Transact.* 1830, *pt. I.* (Ann. Bd. 18, S. 515.) — Ich kann nicht unterlassen, bei dieser Gelegenheit Hrn. Anderson zu erwähnen, der bei den Glas-Versuchen als Gehülfe zu mir kam, und seitdem immer im Laboratorium der *Royal Institution* geblieben ist. Er hat mich bei allen seitdem von mir ausgeführten Untersuchungen unter-

lung und die Eigenschaften eines schweren Glases, welches, wegen seiner Bestandtheile, kiesel-borsaures Bleioxyd genannt worden ist. Dieses Glas war es, welches mich zuerst auf die Entdeckung des Zusammenhanges zwischen Licht und Magnetismus führte; es übertrifft, um diesen darzuthun, bei weitem alle andere Körper. Der Deutlichkeit wegen will ich zunächst die Erscheinungen beschreiben, wie sie sich bei diesem Glase darbieten.

2152) Ein Stück von diesem Glase, etwa 2 Zoll im Quadrat und 0,5 Zoll dick, mit ebenen und polirten Endflächen wurde, als *diamagnetische Substanz* (2149), so zwischen die (noch nicht durch den elektrischen Strom magnetisirten) Pole gebracht, daß der polarisirte Strahl es der Länge nach durchlaufen mußte. Das Glas wirkte wie Luft, Wasser oder irgend eine andere indifferente Substanz wirken würde, und wenn der Nichol zuvor in solche Lage gedreht worden, daß der polarisirte Strahl ausgelöscht, oder vielmehr das von ihm erzeugte Bild unsichtbar war, brachte die Dazwischensetzung dieses Glases in dieser Beziehung keine Aenderung hervor. Unter diesen Umständen wurde die Kraft des Elektromagneten erregt, indem man durch sein Drahtgewinde einen elektrischen Strom sandte; augenblicklich ward das Bild der Lampenflamme sichtbar, und blieb es, so lange als der Strom unterhalten ward. Als man den Strom unterbrach, also die magnetische Kraft verschwinden ließ, verschwand auch das Licht augenblicks. Diese Erscheinungen konnten nach Belieben in jedem Augenblick erneut werden, und jedesmal zeigte sich eine vollkommene Abhängigkeit zwischen Ursache und Wirkung.

2153) Der bei dieser Gelegenheit angewandte Volta'sche Strom war mittelst fünf Paare von Grove'scher Construction erhalten, und die Elektromagnete hatten eine solche Kraft, daß die Pole einzeln ein Gewicht von 28 bis 56 Pfund und darüber getragen haben würden. Bei einem schwachen Magnet würde eine Person zum ersten Male nicht im Stande seyn diese Erscheinungen wahrzunehmen.

stützt, und seiner Sorgfalt, Ausdauer, Genauigkeit und Treue in Ausführung aller ihm gegebenen Aufträge habe ich viel zu danken.

2154) Der Charakter der auf die diamagnetische Substanz ausgeübten Kraft ist der einer *Drehung (rotation)*; denn wenn das Bild der Lampenflamme sichtbar geworden ist, wird eine mehr oder minder starke Drehung des Nichols nach der Rechten oder Linken dasselbe auslöschen, und eine weitere Drehung in der einen oder andern Richtung dasselbe wieder zum Vorschein bringen, und zwar mit complementären Farben, je nachdem rechts oder links gedreht worden.

2155) Wenn der dem Beobachter nächste Pol ein gezeichneter, d. h. das Nordende einer Magnetnadel war, und der fernste Pol ein ungezeichneter, so ging die Drehung des Strahls rechts, denn der Nichol mußte rechts oder im Sinne eines Uhrzeigers (*clock fashion*) gedreht werden, um den Strahl einzuholen oder das Bild wieder in den früheren Zustand zu versetzen. Wurden die Pole umgekehrt, was durch Umkehrung der Stromesrichtung augenblicklich gethan war, so änderte sich auch die Drehung und ging nach der Linken, im Betrage gleich der früheren. Für dieselbe *Magnetkraftlinie* (2149) war die Richtung immer dieselbe.

2156) Wenn das Diamagneticum in verschiedene andere Lagen gegen die Magnetpole gebracht ward, waren die Resultate ihrem Betrage nach mehr oder weniger beträchtlich und sehr bestimmt im Charakter. Doch können die eben beschriebenen Erscheinungen als das Hauptbeispiel angesehen werden.

2157) Dieselben Erscheinungen zeigten sich beim kieselborsauren Bleioxyd (2151), ohne Anwendung eines elektrischen Stroms, durch die Wirkung eines guten hufeisenförmigen Stahlmagneten. Die Resultate waren schwach, doch noch hinreichend, um in der Wirkung auf das Licht die volle Einerleiheit zwischen Elektromagneten und gewöhnlichen Magneten darzuthun.

2158) Zwei Magnete wurden endweise (*end-ways*) angewandt, d. h. die Kerne der Elektromagnete waren hohle Eisencylinder, und der polarisirte Lichtstrahl ging längs ihren

Axen und durch das zwischen ihnen angebrachte Diamagneticum hinweg: der Effect war derselbe.

2159) Nun wurde blofs ein Pol angewandt, und zwar das eine Ende eines kräftigen cylindrischen Elektromagneten. Befand sich das schwere Glas dicht neben dem Magneten, aber jenseits desselben, zwischen ihm und dem polarisirenden Reflector, so ging die Drehung in der einen Richtung, abhängig von der Natur des Pols. Befand sich dagegen das Diamagneticum dicht neben dem Pol, zwischen ihm und dem Auge, so hatte die Drehung, für denselben Pol, entgegengesetzte Richtung. Wurde der Magnetpol vertauscht, so änderten sich auch diese beiden Richtungen. Wurde dem schweren Glase über oder unter dem Pol eine entsprechende Lage gegeben, so dafs die *magnetischen Curven* das Glas nicht mehr parallel mit dem polarisirten Lichtstrahl durchschnitten, sondern senkrecht auf diesem waren, so erfolgte keine Wirkung. Fig. 32 Taf. I mag diese Fälle erläutern; *a* und *b* stellen darin die ersteren Lagen des Diamagnetismus dar, *c* und *d* die letzteren; die getüpfelte Linie bezeichnet die Bahn des Strahls. Auch wenn das Glas direct an das Ende des Magneten gebracht ward, fand auf einen Strahl, der in der eben beschriebenen Richtung ging, keine Wirkung statt, wiewohl aus dem (2155) Gesagten einleuchtend ist, dafs ein *parallel* den Magnetlinien durch das Glas gehender Strahl afficirt worden wäre.

2160) Magnetlinien also veranlassen kiesel-borsaures Blei und eine grofse Anzahl anderer Substanzen auf einen polarisirten Lichtstrahl zu wirken, wenn sie durch dieselben gehen und dem Strahle parallel sind, oder im Verhältnifs als sie ihm parallel sind. Dagegen findet keine Wirkung derselben statt, wenn sie winkelrecht auf dem Strahle sind. Sie geben dem Diamagneticum das Vermögen den Strahl zu drehen, und das *Gesetz* dieser Wirkung auf das Licht ist: dafs eine Magnetkraftlinie, wenn sie längs einem auf den Beobachter gerichteten Strahle von einem Nordpol *fortgeht* (*going from*) oder von einem Südpol *kommt* (*coming from*) den Strahl nach der Rechten dreht, dage-

gen eine Drehung desselben nach der Linken bewirkt, wenn sie von einem Nordpol kommt oder von einem Südpol fortgeht.

2161) Wird ein Pfropfen oder Glascylinder, welcher das Diamagneticum vorstellen mag, an den Enden mit den Buchstaben *N* und *S* bezeichnet, um die Pole eines Magneten anzudeuten, Fig. 33 Taf. I, so kann die diese Buchstaben verbindende Linie als die Magnetkraftlinie betrachtet werden; und zieht man dann um den Cylinder eine Linie, versehen mit Pfeilspitzen in der in der Figur angegebenen Richtung, so hat man ein einfaches Modell, welches das ganze Gesetz und die daraus fließenden Folgerungen veranschaulicht. Wäre eine Taschenuhr das Diamagneticum, stände der Nordpol eines Magneten vor dem Zifferblatt und der Südpol hinter der Rückseite, so würde die Bewegung der Zeiger die Richtung andeuten, in welcher ein Lichtstrahl bei Magnetisirung gedreht wird.

2162) Ich will nun übergehen zu den verschiedenen Umständen, welche den Bereich und die Natur dieser neuen auf das Licht wirkenden Kraft afficiren, limitiren und definiren.

2163) Zunächst, scheint es, steht die Drehung im Verhältniß zu der Länge des Diamagneticums, durch welches der Strahl und die Magnetlinien gehen. Ich liefs die Stärke des Magneten und den gegenseitigen Abstand seiner Pole unverändert, und brachte zwischen diese verschiedene Stücke eines selben schweren Glases (2151). Je größer die Erstreckung des Diamagneticums in Richtung des Strahles war, mochten es ein, zwei oder drei Stücke seyn, desto größer war die Drehung des Strahles, und so weit sich aus diesen ersten Versuchen beurtheilen liefs, war der Betrag der Drehung genau proportional der vom Strahle durchlaufenen Strecke des Diamagneticums. Keine Hinzufügung oder Fortnahme des schweren Glases zur Seite des Strahls machte irgend einen Unterschied in der Wirkung desjenigen Theils, welchen der Strahl durchlaufen hatte.

2164) Die Drehung des Lichtstrahls *wächst* mit der Stärke

der Magnetkraftlinien. Diefs läßt sich bei Anwendung von Elektromagneten leicht nachweisen; und innerhalb des von mir angewandten Kraftbereichs scheint die Drehung direct der Intensität der Magnetkraft proportional zu seyn.

2165) Aufser dem schweren Glase besitzen andere Körper ebenfalls das Vermögen, unter dem Einfluß der magnetischen Kraft, wirksam auf das Licht zu werden (2173). Wenn diese Körper schon an sich ein Drehvermögen besitzen, wie z. B. Terpenthinöl, Zucker, Weinsäure, weinsaure Salze u. s. w., so ist der Effect der magnetischen Kraft dem ihrer eigenen Kraft zu addiren oder von ihm zu subtrahiren, je nachdem die natürliche Drehung und die durch den Magnetismus erregte rechts oder links gewandt ist (2231).

2166) Ich konnte nicht wahrnehmen, dafs diefs Vermögen afficirt worden wäre durch irgend einen Grad von Bewegung, welchen ich dem Diamagneticum, während es den gemeinschaftlichen Einfluß des Lichts und des Magnetismus erlitt, mitzutheilen vermochte.

2167) Die Einschaltung von Kupfer, Blei, Zinn, Silber und anderen für gewöhnlich nicht magnetischen Körpern in die Bahn der magnetischen Curven, entweder zwischen dem Pol und dem Diamagneticum oder in anderen Lagen, hatte weder in der Art noch in dem Grade irgend eine Wirkung auf die Phänomene.

2168) Eisen afficirte häufig die Resultate in sehr beträchtlichem Grade; allein immer, wie es schien, vermöge einer Aenderung in Richtung der Magnetlinien oder vermöge einer Disposition seiner selbst zu deren Kraft. Wenn z. B. die beiden entgegengesetzten Pole an der einen Seite des polarisirten Strahls befindlich waren (2150), das schwere Glas in der besten Lage zwischen ihnen und dem Strahl verweilte (2152), und man näherte dem Glase von der anderen Seite her ein großes Stück Eisen, so bewirkte es eine Schwächung der Kraft des Diamagneticums. Diefs geschah, weil gewisse Magnetkraftlinien, welche anfangs parallel mit dem Strahl durch das Glas gingen, nun das Glas und den
Strahl

Strahl durchkreuzten; das Eisen erhielt zwei den Magnetpolen entgegengesetzte Pole, und erregte somit eine neue Bahn für eine gewisse Portion der Magnetkraft, und diese durchkreuzte den polarisirten Strahl.

2169) Wird das Eisen dem Glase, statt an der abgewandten Seite, auf Seite des Magneten genähert, entweder diesem nahe oder ihn berührend, so nimmt die Kraft des Diamagnetismus ebenfalls ab, einfach weil die Kraft des Magneten vom Glase ab in eine neue Richtung gelenkt ist. Diese Effecte sind natürlich sehr abhängig von der Stärke des Magneten, so wie von der Größe und der Weiche des Eisens.

2170) Schraubendrähte (2190) ohne Eisenkerne waren von sehr schwacher, kaum merkbarer Wirkung; mit Eisenkernen wirkten sie sehr kräftig, obwohl nicht mehr Electricität durch sie strömte als zuvor (1071). Diefs zeigt in sehr einfacher Weise, dafs die unter diesen Umständen auftretenden Lichterscheinungen direct mit der vom Apparat gelieferten magnetischen Kraftform zusammenhängen. Dasselbe ergibt sich auch aus einem anderen Vorgang. Wenn die Volta'sche Batterie geschlossen, also ein Strom um den Elektromagneten gesandt wird, hat das durch die Drehung des polarisirten Strahls entstandene Bild nicht sogleich seinen vollen Glanz, sondern erlangt diesen erst allmählig nach einigen Secunden; bei Oeffnung der Batterie verschwindet es dagegen anscheinend auf ein Mal. Die allmähliche *Zunahme* an Helligkeit rührt davon her, dafs der Eisenkern *Zeit* gebraucht, um alle magnetische Kraft zu entfalten, welche der elektrische Strom in ihm zu erregen sucht; so wie der Magnetismus an Stärke zunimmt, wächst auch die Wirkung auf das Licht; daher denn die fortschreitende Drehung.

2171) Bisher habe ich nicht finden gekonnt, dafs das schwere Glas (2151), wenn es in diesem Zustande ist, d. h. von Magnetkraftlinien durchschnitten wird, eine specifische magneto-inductive Action der erkannten Art besitze oder einen erhöhten Grad derselben äufsere. Ich habe es in grossen Quantitäten und in verschiedenen Lagen zwischen

Magnete und Magnetenadeln gebracht, konnte aber, obwohl ich sehr empfindliche Mittel dazu hatte, keinen Unterschied zwischen demselben und der Luft auffinden.

2172) Wasser, Alkohol, Quecksilber und andere Flüssigkeiten in sehr grossen empfindlichen thermometerförmigen Gefässen anwendend, habe ich nicht finden können, dass ein Volumunterschied eintrat, wenn magnetische Curven durch sie gingen.

2173) Es ist Zeit, dass ich diese Kraft des Magnetismus auf das Licht als nicht blofs dem kieselborsauren Bleioxyd (2151), sondern als vielen anderen Substanzen angehörig in Betracht ziehe. Hier gewahren wir zuvörderst, dass wenn auch alle durchsichtigen Körper diese Kraft äufsern, sie es doch in sehr verschiedenem Grade thun, ja dass es bis jetzt noch einige giebt, welche dieselbe gar nicht zeigen.

2174) Dann macht sich bemerklich, dass Körper von ungemeiner Verschiedenheit in chemischen, physischen und mechanischen Eigenschaften diese Kraft besitzen, denn sie findet sich bei starren und flüssigen Körpern, bei Säuren, Alkalien, Oelen, Wasser, Alkohol, Aether u. s. w.

2175) Und zuletzt können wir bemerken, dass in allen die Kraft, wenn auch dem Grade nach verschieden, doch der Art nach immer dieselbe, eine den Lichtstrahl drehende ist, und dass überdies die Richtung der Drehung immer von der Natur und dem Zustand der Substanz unabhängig ist, nur abhängt von der Richtung der Magnetkraftlinien gemäfs dem zuvor (2160) angegebenen Gesetz.

2176) Unter den Substanzen, bei welchen diese Wirkung angetroffen wird, habe ich schon das *kieselborsaure Bleioxyd* (2152) als eine sehr vorzügliche hervorgehoben. Ich bedaure, dass sie die beste ist, da sie wahrscheinlich nicht Vielen zu Gebote steht, und Wenige wohl die Mühe ihrer Darstellung übernehmen werden. Es mufs wohl abgekühlt seyn, denn sonst depolarisirt es das Licht in bedeutendem

Maafse, und dann sind die in Rede stehenden Erscheinungen viel weniger auffallend zu beobachten. Das *borsaure* Blei, eine viel schmelzbarere, schon bei Siedhitze des Oels erweichende Substanz, die sich leicht in Plattenform und ausgekühlt erhalten läßt, besitzt indess ein eben so starkes Drehvermögen als das kieselborsaure. *Flintglas* zeigt die Eigenschaft auch, doch in geringerem Grade als die obigen Substanzen, *Kronglas* in noch schwächerem Maafse.

2177) Wenn ich krystallisirte Körper als *Diamagnetica* anwandte, gab ich ihnen insgemein die Lage, in welcher sie den polarisirten Strahl nicht afficirten, und inducirte dann magnetische Curven durch sie hin. Im Allgemeinen schienen sie der Annahme eines Drehvermögens (*rotating state*) zu widerstehen. *Steinsalz* und *Flusspath* gaben schwache Anzeigen von diesem Vermögen, und, wie ich glaube, that ein *Alaunkrystall* dasselbe; doch die Strecke des Strahls in seinem durchsichtigen Theil war so kurz, dafs ich die Thatsache nicht entschieden ausmitteln konnte. Zwei Exemplare von durchsichtigem Flusspath (*Fluor*), die mir Hr. Tennant geliehen, gaben eine Wirkung.

2178) *Bergkrystall*, vier Zoll lang, gab keine Anzeige von Wirkung auf den Strahl; eben so wenig thaten es kleinere Krystalle, oder Würfel von drei Viertelzoll in Seite, die so geschnitten waren, dafs zwei ihrer Flächen winkelrecht gegen die Krystallaxe lagen (1692, 1693), obwohl sie in jeder Richtung untersucht wurden.

2179) *Kalkspath* äufserte keine Zeichen von Wirkung, weder als Rhomboëder, noch als Würfel von der eben beschriebenen Art (1695).

2180) *Schwefelsaurer Baryt*, *schwefelsaurer Kalk* und *kohlensaures Natron* waren ebenfalls ohne Wirkung auf das Licht.

2181) Ein Stück schönes klares *Eis* gab mir keine Wirkung. Ich kann jedoch nicht sagen, dafs keine vorhanden war, denn die Wirkung von Wasser in gleicher Masse würde sehr klein seyn, und die Unregelmäßigkeit der durch das Schmelzen des Eises und das Abträufeln des Wassers

abgerundeten (*flattened*) Oberfläche machte die Beobachtung sehr schwierig.

2182) Mit einer großen Neugierde und Hoffnung brachte ich Blattgold in die magnetischen Linien, konnte aber keine Wirkung wahrnehmen. Erwägt man indess die ungemein geringe Länge der Bahn des polarisirten Strahls in demselben, so war schwerlich ein positives Resultat zu erwarten.

2183) Bei Versuchen mit Flüssigkeiten besteht eine sehr gute Beobachtungsmethode darin, daß man dieselben in Flaschen von $1\frac{1}{2}$ bis 3 oder 4 Zoll Durchmesser gießt, damit zwischen die Magnetpole bringt (2150) und dem Nichol der Flasche so weit nähert, daß letztere, nach gehöriger Einstellung, vermöge ihrer cylindrischen Gestalt ein diffuses, aber brauchbares Bild von der durch sie hin gesehenen Lampenflamme giebt. Das Licht dieses Bildes läßt sich von dem, welches durch die Streifen und Mißgestaltungen des Glases unregelmäßig gebrochen wird, leicht unterscheiden, und man sieht die darin auftretenden Erscheinungen ebenfalls mit Leichtigkeit.

2184) Wasser, Alkohol und Aether zeigen die Erscheinung, Wasser am meisten, Alkohol schwächer und Aether am schwächsten. Alle fetten Oele, welche ich versucht, namentlich Mandel-, Ricinus-, Oliven-, Mohn-, Leinöl, Elain von Schweineschmalz und destillirtes Harzöl gaben Wirkung; eben so ätherische Oele, wie Terpenthin-, Bittermandel-, Spica-, Lavendel-, Jasmin-, Nelken-, Lorbeeröl; auch Naphtha verschiedener Art, geschmolzener Wallrath, geschmolzener Schwefel, Chlorschwefel, Chlorarsen, und jede andere flüssige Substanz, die ich zur Hand hatte, und in hinreichender Menge verwenden konnte.

2185) Von wässrigen Lösungen versuchte ich mehr als 150, namentlich lösliche Säuren, Alkalien, Salze, so wie Zucker, Gummi u. s. w. Die Liste derselben hier zu geben, würde zu lang seyn, da das Hauptergebnis war, daß, trotz der ungemainen Verschiedenheit der Substanzen, dennoch keine eine Ausnahme von dem allgemeinen Resultate machte, sie vielmehr alle die neue Eigenschaft zeigten. In

der That ist es mehr als wahrscheinlich, daß in allen diesen Fällen das Wasser, und nicht die darin gelöste Substanz das Wirkende (*ruling matter*) war. Dasselbe allgemeine Resultat wurde mit alkoholischen Flüssigkeiten erhalten.

2186) Von Flüssigkeiten zu Luft und gasförmigen Körpern übergehend, habe ich anzugeben, daß ich bis jetzt noch nicht im Stande gewesen bin, in irgend einer Substanz aus dieser Klasse eine Aeußerung des Drehvermögens aufzufinden. In Flaschen von 4 Zoll Durchmesser habe ich mit folgenden Gasen Versuche angestellt: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Stickstoffoxyd, ölbildendem Gas, schwefliger Säure, Salzsäure, Koblenensäure, Kohlenoxyd, Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Bromdampf bei gewöhnlicher Temperatur. Alle gaben aber negative Resultate. Mit Luft wurde der Versuch mittelst einer andern Form des Apparats noch sorgfältiger wiederholt, aber eben so erfolglos (2212).

2187) Ehe ich die Betrachtung der Substanzen, welche das Drehvermögen zeigen, verlasse, will ich noch erwähnen, daß ich von denen, welchen es zu ihrem natürlichen Drehvermögen (2165, 2231) noch eingepreßt (*superinduced*) werden kann, folgende untersucht habe: Ricinusöl, Harzöl, Spicaöl, Lorbeeröl, Canadabalsam, alkoholische Lösung von Kampher und Aetzsublimat, wässrige Lösung von Zucker, Weinsäure, weinsaurem Natron, Brechweinstein, Wein- und Borsäure, und schwefelsaurem Nickeloxyd, welches rechts dreht, Copaivabalsam, welcher links dreht, zwei Proben von Kamphin oder Terpenthinöl, von welchen die eine rechts und die andere links drehte. In allen diesen Fällen befolgte, wie schon (2165) gesagt, das hinzugefügte magnetische Drehvermögen das allgemeine Gesetz (2160), ohne Bezug auf das schon vorhandene Drehvermögen.

2188) Kampher, geschmolzen in einer Röhre von etwa einem Zoll Durchmesser, zeigt von Natur ein starkes Drehvermögen; allein ich konnte nicht finden, daß die magnetischen Curven demselben eine Kraft hinzufügten. Möglich

indess, daß die Kürze des Strahls und die Menge des farbigen Lichts, welches zurückblieb, selbst wenn der Nichol in die günstigste Lage zur Verdunklung des durch das natürliche Drehvermögen entstandenen Bildes gebracht worden, die schwache Magnetkraft des Kamphers unmerklich machten.

II. Wirkung elektrischer Ströme auf das Licht.

2189) Aus der Betrachtung der Natur und Lage der Linien magnetischer und elektrischer Kraft, so wie der Relation eines Magnets zu einem elektrischen Strom schien es fast gewiß, daß ein elektrischer Strom dieselbe Wirkung wie ein Magnet auf das Licht haben würde, und in Gestalt eines Schraubendrahts am geeignetsten seyn müßte, große Längen von Diamagneticis, besonders von solchen, die zwischen Magnetpolen nur wenig afficirt zu werden schienen, einer Untersuchung zu unterwerfen und zur gesteigerten Wirkung zu bringen. Die Erfahrung verwirklichte diese Erwartung.

2190) Kupferne Drahtgewinde (*helices*) wurden angewandt, von denen ich drei beschreiben will. Das erste oder *lange* hielt 0,4 Zoll im inneren Durchmesser, der Draht war 0,03 Zoll dick, und ging um die Axe der Rolle von einem Ende zum andern, kehrte dann in derselben Weise zurück, und bildete so ein Gewinde von 65 Zoll Länge, doppelt in seiner ganzen Ausdehnung und 1240 Fuß Draht enthaltend.

2191) Die zweite oder *mittlere* Rolle ist 19 Zoll lang, von 1,87 Zoll innerem und 3 Zoll äußerem Durchmesser. Der Draht war 0,2 Zoll dick und 80 Fuß lang, und zu zwei concentrischen Gewinden angeordnet. Der elektrische Strom durchlief diese nicht zertheilt, sondern der ganzen Länge des Drahtes nach.

2192) Die dritte oder *Woolwich-Rolle* war nach meiner Anweisung für Hrn. Obristlieutnant Sabine's Anstalt in Woolwich angefertigt worden. Sie ist 26,5 Zoll lang, hält innen 2,5 Zoll und außen 4,75 Zoll im Durchmesser, und

ihr Draht ist 0,17 Zoll dick und 501 Fufs lang. Sie enthält vier concentrische Gewinde, die endweise verbunden sind, so dafs der angewandte elektrische Strom den gesamten Draht durchläuft.

2193) Das lange Drahtgewinde (2190) wirkte auf eine in geringem Abstand aufgestellte Magnetnadel sehr schwach, das mittlere (2191) wirkte stärker, und die Woolwich-Rolle (2192) sehr stark, immer dabei dieselbe Batterie von zehn Grove'schen Paaren angewandt.

2194) Starre Körper liefsen sich leicht der Wirkung dieser Drahtgewinde aussetzen, indem man sie nur zu Stäben oder Prismen mit ebenen und polirten Enden zu formen, und dann als Kerne in die Rollen zu stecken brauchte. Um Flüssigkeiten ihrer Wirkung zu unterwerfen, wurden Glasröhren mit Kappen an den Enden angeschafft. Der cylindrische Theil der Kappe war von Messing, und hatte eine Tubulatur zur Einfüllung der Flüssigkeit. Das Ende bestand aus einer ebenen Glasplatte. Wenn die Röhre wässrige Flüssigkeiten aufnehmen sollte, waren die Platten an die Kappen und die Kappen an die Röhren mit Canada-balsam angekittet; sollte die Röhre aber Alkohol, Aether oder wesentliche Oele aufnehmen, so diente eine dicke Mischung von gepulvertem Gummi und ein wenig Wasser als Kitt.

2195) Das mit diesem Apparat erhaltene Resultat war im Allgemeinen folgendes: — Die Röhre in dem langen Gewinde (2190) wurde mit destillirtem Wasser gefüllt und in Richtung des polarisirten Strahls gebracht, so dafs das vom polarisirten Strahl erzeugte Bild der Lampenflamme durch dieselbe gesehen und mit dem Nichol (2150) untersucht werden konnte. Dann wurde der Nichol gedreht, bis das Bild der Flamme verschwand, und nun sandte man den Strom der zehn Plattenpaare durch das Gewinde. Augenblicklich erschien das Bild der Flamme wieder, und blieb sichtbar, so lange der Strom das Gewinde durchlief; bei Unterbrechung des Stroms verschwand das Bild. Das Licht erschien nicht allmähig wie bei den Elektromagneten (2170);

sondern plötzlich. Diese Resultate konnten nach Belieben hervorgebracht werden. Bei diesem Versuch, glaube ich, können wir mit Recht sagen, daß ein Lichtstrahl elektrisirt und die elektrische Kraft (*forces*) beleuchtet worden ist.

2196) Die Erscheinungen lassen sich noch auffallender machen, wenn man eine Linse von langer Brennweite zwischen der Röhre und dem Polarisationspiegel, oder eine von kurzer Brennweite zwischen der Röhre und dem Auge anbringt. Wenn das Drahtgewinde oder die Batterie oder die zu untersuchende Substanz von geringer Wirkung sind, leistet diess Hilfsmittel gute Dienste, doch kann man es bei einiger Uebung leicht entbehren, und braucht es nur in zweifelhaften Fällen.

2197) Wenn die Erscheinung schwach ist, wird sie leichter wahrnehmbar, wenn man das Nichol'sche Prisma nicht auf den Punkt der völligen Auslöschung des Strahls einstellt, sondern ein wenig dies- oder jenseits desselben, so daß das Bild der Flamme noch eben sichtbar ist. Dann wird bei Wirkung des elektrischen Stroms das Licht entweder verstärkt, oder geschwächt, oder ausgelöscht oder auch an der anderen Seite der Dunkelheitslage wieder angefacht; und diese Veränderung ist leichter wahrnehmbar, als wenn das Auge vom Zustande einer gänzlichen Dunkelheit aus zu beobachten anfängt. Durch diese Beobachtungsmethode läßt sich auch das Drehende in der Wirkung auf das Licht leicht nachweisen; denn wenn man das Licht zuvor durch Drehung des Nichols nach der einen Richtung sichtbar gemacht hat, und die Wirkung des Stroms *verstärkt* es nun, so braucht man nur, nach Unterbrechung des Stroms, den Nichol in entgegengesetzter Richtung so weit zu drehen, bis das Licht so hell wie zuerst ist, und der Strom wird es nun *schwächen*. Zugleich werden auch die Farben des Lichts afficirt.

2198) Wird die Richtung des Stroms im Drahtgewinde umgekehrt, kehrt sich auch die Drehung des Lichtstrahls um. Um die Richtung dieser Drehung zu bezeichnen, will ich annehmen, wie es gewöhnlich geschieht, daß der Strom ei-

ner Zelle vom Zink durch die Säure zum Platin geht (663, 667, 1627). Geht nun ein solcher Strom unter dem Strahl nach der Rechten, an dieser rechten Seite aufwärts, und oben nach der Linken, so giebt er dem Strahl eine links gewendete Drehung; geht aber der Strom über dem Strahl rechts, an der Rechten herab, und unten links, so prägt er ihm eine rechts gewendete Drehung ein.

2199) Das Gesetz, nach welchem ein elektrischer Strom auf einen Lichtstrahl wirkt, ist also leicht ausgedrückt. Wird ein polarisirter Lichtstrahl in einer auf seiner Richtung winkelrechten Ebene von einem elektrischen Strom umkreiset, so erfolgt eine Drehung des Strahls um seine Axe in *gleicher Richtung* mit der Richtung des Stroms, und zwar so lange als dieser seinen Einfluss ausübt.

2200) Die Einfachheit dieses Gesetzes und seine Identität mit dem zuvor (2160) für die Wirkung des Magnetismus auf das Licht gegebenen ist sehr schön. Ein Modell ist nicht erforderlich, um dem Gedächtnis zu Hülfe zu kommen; wenn man aber das früher (2161) beschriebene ansieht, wird die Linie rings um dasselbe zugleich die Richtung des Stroms und der Drehung ausdrücken. Es leistet indessen mehr. Denn wenn man den Cylinder nicht als von Glas oder einem anderen zwischen die Pole *N* und *S* gestellten Diamagneticum, sondern als von Eisen betrachtet, so wird die Linie um denselben die Richtung der Ströme vorstellen, welche, nach Ampère's Theorie, die Theilchen desselben umkreisen; oder betrachtet man ihn als einen Eisenkern (statt eines Wasserkerns), der von einem in Richtung der Linie laufenden Strom umgeben wird, so stellt er auch einen Magneten vor, wie sich bilden würde, wenn er zwischen die Pole gestellt wäre, deren Marken an den Enden angebracht sind.

2201) Ich will nun Einiges über den Grad der Wirkung unter verschiedenen Umständen angeben. Als ich eine Röhre voll Wasser (2194) von gleicher Länge mit der Drahtrolle anwandte, sie aber so stellte, dafs sie mit einem Ende mehr oder weniger aus der Rolle hervorragte,

konnte ich bis zu einem gewissen Grade den Einfluß der Länge des Diamagneticums ermitteln, wenn ich die Kraft der Drahtrolle und des Stroms ungeändert liefs. Je länger die der Wirkung des Drahtgewindes ausgesetzte Wassersäule war, um so stärker war auch die Drehung des polarisirten Strahls, und der Betrag der Drehung schien direct proportional der Länge der Flüssigkeit, welche vom elektrischen Strom umkreist ward.

2202) Eine kurze Röhre mit Wasser oder ein (kurzes) Stück schweren Glases, in die Axe der Woolwich-Rolle (2192) gebracht, schien gleiche Wirkung auf den polarisirten Strahl auszuüben, sie mochten in der Mitte der Rolle oder an deren Enden liegen, sobald sie nur innerhalb der Rolle und in deren Axe lagen. Hieraus erhellet, dafs jeder Theil des Drahtgewindes eine gleiche Wirkung ausübt, und dafs durch Anwendung langer Drahtrollen Substanzen dieser Art untersucht werden können, die sich nicht in hinreichender Länge zwischen die Pole von Magneten (2150) bringen lassen.

2203) Eine Röhre voll Wasser von gleicher Länge wie die Woolwich-Rolle (2192), aber nur 0,4 Zoll im Durchmesser enthaltend, wurde in diese Rolle gebracht, manchmal in deren Axe, manchmal an deren Seiten. Die verschiedenen Lagen machten anscheinend keinen Unterschied; und ich bin daher zu glauben geneigt (ohne dessen ganz sicher zu seyn), dafs die Wirkung auf den Strahl dieselbe ist, wo die Röhre innerhalb der Rolle gegen die Axe liegen mag. Dasselbe Resultat erhält man beim Sehen durch eine weite Röhre mit Wasser, der Strahl mag durch die Axe der Rolle und Röhre oder zur Seite derselben gehen.

2204) Bringt man Körper in die Rolle, welche schon von Natur ein Drehvermögen besitzen, so wird ihnen das vom elektrischen Strom erregte Drehvermögen hinzugefügt (*superinduced*), genau wie es schon bei der magnetischen Wirkung beschrieben worden ist (2165, 2187).

2205) Aus 0,05 Zoll dickem, unbesponnenem Kupferdraht wurde in dichten Windungen eine 20 Zoll lange und

0,3 Zoll weite Rolle gebildet, und dieselbe in eine weite Röhre mit Wasser gelegt, so dafs die Flüssigkeit sowohl innerhalb als aufserhalb der Rolle durch den polarisirten Strahl untersucht werden konnte. Als der Strom durch den Schraubendraht gesandt wurde, empfing das Wasser innerhalb desselben ein Drehvermögen, aber aufserhalb desselben war keine Spur davon zu sehen, selbst in grösster Nähe an dem nackten Draht.

2206) Das Wasser ward in messingene und in kupferne Röhren eingeschlossen, aber diese Aenderung änderte nichts an dem Effect.

2207) Die Messingröhre voll Wasser wurde in eine eiserne Röhre gesteckt, die länger als die Woolwich-Rolle und als die Messingröhre war, und voll einen Achtelzoll Wanddicke hatte. Dennoch drehte das Wasser, als es in die Woolwich-Rolle (2192) gebracht wurde, den Lichtstrahl scheinbar so gut wie zuvor.

2208) Ein Eisenstab, einen Zoll im Quadrat und länger als die Rolle, wurde in diese gebracht und die kleine Wasserröhre (2203) auf denselben gelegt. Das Wasser hatte eben so viel Wirkung auf das Licht wie zuvor.

2209) Drei Eisenröhren, jede von 27 Zoll Länge und einem Achtelzoll Wanddicke, hatten solche Durchmesser, dafs man sie leicht in einander, und das Ganze in die Woolwich-Rolle (2192) stecken konnte. Die engste wurde mit Glasenden versehen und mit Wasser gefüllt. Dann in die Axe der Woolwich-Rolle gebracht, übte sie ein gewisses Drehvermögen auf den polarisirten Strahl aus. Nun wurde die zweite Röhre darüber geschoben, so dafs sich zwischen dem Wasser und der Drahtrolle eine Eisendicke von zwei Achtelzoll befand. Jetzt hatte das Wasser ein *stärkeres* Drehvermögen. Endlich ward die dritte Röhre über die beiden andern geschoben. Nun war das Vermögen *schwächer*, obwohl noch sehr bedeutend. Diese Resultate sind complicirt, indem sie abhängen von einem neuen Zustand, welcher der Charakter des Eisens seiner Wirkung auf die Kräfte giebt. Bis zu einem gewissen Betrage brachten, bei

verstärkter Entwicklung der magnetischen Kräfte, die Rolle und der Kern, *als Ganzes*, eine erhöhte Wirkung auf das Wasser hervor; allein bei Zusatz von mehr Eisen und Erregung von Kräften in ihm, wurde deren Wirkung zum Theil von dem Wasser abgelenkt und die Drehung geschwächt.

2210) Stücke vom schweren Glase (2151) in die Eisenröhren und somit in die Drahtrollen gelegt, wirkten ähnlich.

2211) Die Körper, welche in angegebener Weise innerhalb einer Drahtrolle der Wirkung eines elektrischen Stroms ausgesetzt wurden, waren folgende: — Schweres Glas (2151, 2176), Wasser, Lösung von schwefelsaurem Natron, Lösung von Weinsäure, Alkohol, Aether, Terpenthinöl. Alle wurden afficirt, und wirkten auf das Licht genau so wie es bei der magnetischen Wirkung beschrieben ward (2173).

2212) Ich unterwarf *Luft* dem Einfluss dieser Drahtrollen mit großer Sorgfalt, konnte aber keine Spur von Wirkung auf den polarisirten Lichtstrahl entdecken. Ich steckte die lange Rolle (2190) in die beiden anderen (2191, 2192) und verknüpfte sie alle zu Einem Draht, um die Kraft zu verstärken, konnte aber keine Wirkung derselben auf das durch die Luft gehende Licht wahrnehmen.

2213) Bei Anwendung von Drahtrollen hat man auf einen Umstand zu achten, der leicht Verwirrung und Störung anrichten kann. Zunächst war der Draht der langen Rolle (2190) unmittelbar auf eine dünne Glasröhre gewickelt, welche zur Aufnahme der Flüssigkeit diente. Wenn der Strom durch die Drahtrolle ging, steigerte er die Temperatur derselben, und damit auch die Temperatur des Glases und der anliegenden Wasserschicht. Der Wassercylinder, somit wärmer an seiner Oberfläche als in seiner Axe wirkte als eine Linse, sammelte Lichtstrahlen und sandte sie in's Auge, noch eine Zeit lang nachdem der Strom unterbrochen war. Durch Trennung der Wasserröhre von der Drahtrolle und durch andere Vorsichtsmaßregeln entfernt man leicht diese Fehlerquelle.

2214) Ein anderer Punkt, auf den der Experimentator

zu achten hat, ist die Schwierigkeit, ja fast Unmöglichkeit, ein Glasstück zu erhalten, welches nicht, besonders nachdem es zerschnitten worden, das Licht depolarisirte. Thut es dieses, so bringt eine Verschiedenheit in der Lage einen ungeheuren Unterschied in der Erscheinung hervor. Diese Schwierigkeit wird mehr oder weniger leicht beseitigt, wenn man immer die nicht depolarisirenden Theile, also das schwarze Kreuz anwendet und das Auge dem Glase möglichst nahe bringt.

2215) Um von dem Betrage des einigen Körpern eingepprägten Drehvermögens eine allgemeine Angabe zu liefern, doch ohne allen Anspruch auf Genauigkeit der Zahlen, will ich die Resultate einiger wenigen Versuche zur Messung der Kraft mittheilen, und sie mit dem natürlichen Drehvermögen einer Sorte von Terpenthinöl vergleichen. Es wurde ein kräftiger Elektromagnet angewandt, dessen Pole *beständig* 2,5 Zoll auseinanderstanden. In diesen Zwischenraum brachte ich verschiedene Substanzen, beobachtete mehrmals den Betrag der Drehung des Nichols und nahm das Mittel daraus, als Ausdruck der Drehung für die Länge des Strahls in der angewandten Substanz. Da indess diese Substanzen von verschiedenen Dimensionen waren, so reducirte ich durch Rechnung die Strahlenlänge auf eine Normallänge, gemäß der Annahme, daß die Kraft proportional sey dieser Länge (2163). Das Terpenthinöl wurde in seinem natürlichen Zustand, d. h. ohne magnetische Wirkung, beobachtet. Das Wasser gleich Eins gesetzt, waren die Zahlen folgende:

Terpenthinöl	11,8
Schweres Glas	6,0
Flintglas	2,8
Steinsalz	2,2
Wasser	1,0
Alkohol	kleiner als beim Wasser
Aether	kleiner als beim Alkohol.

2216) Hinsichtlich der Wirkung magnetischer und elektrischer Kräfte auf das Licht glaube ich, daß die Kenntniss der Umstände, unter welchen keine scheinbare Wirkung stattfindet, unsere Kenntniss von ihren gegenseitigen Beziehungen erweitert, und deshalb will ich kurz angeben, wie ich neulich diese Kräfte combinirt habe, ohne ein wahrnehmbares Resultat (955) zu erlangen.

2217) Durch schweres Glas, Flintglas, Bergkrystall, Kalkspath, Terpenthinöl und Luft ward successiv ein polarisirter Strahl geleitet, und zugleich leitete ich Linien elektrostatischer Spannung (2149), mittelst Belegungen der Leidner Flasche und der Elektrisirmaschine, durch diese Körper, parallel dem Strahl und winkelrecht auf ihn, sowohl in als rechtwinklich auf der Polarisationsebene; jedoch ohne sichtbaren Erfolg. Auch die Spannung eines rasch wiederkehrenden, inducirten secundären Stroms ward auf diesen Körper und auf Wasser (als Elektrolyt) gerichtet, doch mit gleichem negativen Resultat.

2218) Ein polarisirter Strahl, kräftige Linien magnetischer Kraft und die eben (2149) beschriebenen Linien elektrischer Kraft wurden in ihrer Wirkung auf schweres Glas (2151, 2176) in verschiedenen Richtungen combinirt, jedoch mit keinem anderen Resultat, als aus der schon in diesem Aufsatz beschriebenen gegenseitigen Wirkung der magnetischen Linien und des Lichts hervorgeht.

2219) Ein polarisirter Strahl und elektrische Ströme wurden in Elektrolyten (951, 954) auf jede mögliche Weise mit einander combinirt. Die angewandten Substanzen waren, bei Anwendung von Platin-Elektroden: destillirtes Wasser, Zuckerlösung, verdünnte Schwefelsäure, Lösung von schwefelsaurem Natron, und, bei Anwendung von Kupferelektroden, Lösung von schwefelsaurem Kupfer. Der Strom ging längs dem Strahle oder quer darauf, in zwei auf einander rechtwinklichen Richtungen; der Strahl ward gedreht, indem man die Lage des Polarisationsspiegels und hiemit die der Polarisationsebene änderte; der Strom ward als ein stetiger, oder als ein rasch aussetzender oder endlich als

ein rasch hin- und hergehendér angewandt. Aber in allen diesen Fällen war keine Spur von Wirkung wahrnehmbar.

2220) Endlich wurden ein polarisirter Lichtstrahl, elektrische Ströme und Magnetkraftlinien in jeder möglichen Weise durch verdünnte Schwefelsäure und Glaubersalzlösung gesandt, aber die Resultate waren auch jetzt negativ, ausgenommen in den Lagen, wo die schon beschriebenen Erscheinungen entstanden. Bei einer Vorrichtung ging der Strom radienartig von einer centralen zu einer circumferentialen Elektrode, während entgegengesetzte Magnetpole darüber und darunter angebracht waren; die Vorrichtung war so gut, daß wenn der Strom durchging, die Flüssigkeit rasch rotirte; allein ein in horizontaler Richtung quer durch diese Vorrichtung gesandter polarisirter Lichtstrahl wurde ganz und gar nicht afficirt. Auch wenn der Strahl vertical hindurchgesandt ward, und man den Nicol drehte, um der Drehung zu entsprechen, die dem Strahl in dieser Lage durch die magnetischen Curven allein eingeprägt wurde, machte der Hinzutritt (*superinduction*) des Durchgangs des elektrischen Stroms nicht den geringsten Unterschied in der Wirkung auf den Strahl.

III. Allgemeine Betrachtungen.

2221) So ist, glaube ich, zum ersten Male ¹⁾ eine wahrhafte, directe Beziehung und Abhängigkeit zwischen Licht

1) Ich sage zum ersten Male, weil ich nicht glaube, daß die Versuche von Morichini über die Erzeugung des Magnetismus durch die Strahlen vom violetten Ende des Spectrums eine solche Relation beweisen. Als ich im Mai 1814 mit Sir Humphry Davy in Rom war, experimentirte ich in Morichini's Hause mehre Stunden mit seinem Apparat und unter seiner Anleitung, gelangte aber nicht dahin, eine Nadel zu magnetisiren. Ich habe zu der Magnetisirung, als *directes* Resultat der Sonnenwirkung, kein Vertrauen, glaube vielmehr, daß sie, wenn sie zu Stande kam, secundär und vielleicht gar zufällig war (*incidental, and perhaps even accidental*), wie sie wohl erfolgen könnte, wenn eine Nadel während des ganzen Versuchs in einer Nord-Süd-Lage verharrte.

2. Jan. 1846. — Ich würde nicht, wie oben, „zum ersten Male“ geschrieben haben, wenn ich mich der in den *Philosoph. Transact. f.*

und den magnetischen und elektrischen Kräften festgestellt, und damit ein großer Zusatz gemacht zu den Thatsachen und Betrachtungen, welche zu zeigen trachten, daß alle Naturkräfte mit einander verknüpft sind, und einen gemeinschaftlichen Ursprung haben (2146). Beim gegenwärtigen Zustand unserer Kenntniß hält es ohne Zweifel schwer unsere Erwartung in genauen Worten auszudrücken; und obwohl ich gesagt habe, daß eine andere der Naturkräfte bei diesen Versuchen direct mit den übrigen verwandt sey, so hätte ich vielleicht eher sagen sollen, daß eine andere Form der großen Kraft distinct und direct verwandt sey mit den übrigen Formen; oder daß die große Kraft manifestirt durch particuläre Phänomene unter particulären Formen hier durch die directe Relation ihrer Lichtform zu ihrer Electricitäts- und Magnetismus-Form ferner identificirt und recognisirt ist.

2222) Daß Magnetismus und Electricität in Beziehung stehen zum *polarisirten* Licht, ist selbst interessanter, als wenn es mit gewöhnlichem Lichte der Fall wäre. Die Beziehung erstreckt sich aber nicht auf gemeines Licht; und da sie dem Licht angehört, welches in gewisser Hinsicht durch Polarisation genauer gemacht worden ist in seinem Charakter und seinen Eigenschaften, so verknüpft und verbindet sie es (das Licht) mit diesen Kräften (Magnetismus und Electricität) in jener Dualität des Charakters, welche letztere besitzen; und eröffnet einen früher nicht gekannten Weg zur Anwendung dieser Kräfte auf die Erforschung der Natur dieses und anderer strahlender Agentien.

2223) Nach der zuvor (2149) gemachten conventionalen Unterscheidung kann ferner behauptet werden, daß es *nur* die magnetischen Kraftlinien sind, welche auf die Lichtstrahlen wirken, und zwar *nur*, wenn sie ihnen parallel sind oder zum Parallelismus mit ihnen streben. So wie in Bezug auf Substanzen, die nicht nach Art des Eisens magne-

1826, p. 219, und f. 1828, p. 379, mitgetheilten Versuche und Aufsätze des Hrn. Christie über den Einfluß der Sonnenstrahlen auf Magnete erinnert hätte. (Ann. Bd. 9, S. 505.)

netisch sind, die Phänomene der Elektro-Induction und Electrolysis ein ungeheures Uebergewicht in der Wirksamkeit der elektrischen Kräfte verglichen mit den magnetischen zeigen, so zeigt sich umgekehrt hier in einer andern Richtung, und in den besonderen und correspondirenden Effecten, welche den magnetischen Kräften angehören, eine große Ueberlegenheit der letzteren.

2224) Die magnetischen Kräfte wirken auf den Lichtstrahl nicht direct und ohne Dazwischenkunft von Materie, sondern durch Vermittlung der Substanz, in welcher sie und der Strahl gleichzeitig existiren; die Substanzen und die Kräfte geben einander und empfangen von einander das Vermögen zur Wirkung auf das Licht. Dies erhellt aus der Nichtwirkung eines Vacuums, der Luft und der Gase, und ferner aus dem verschiedenen Grade, in welchem sich die Eigenschaft bei verschiedenen Substanzen vorfindet. Dafs die magnetische Kraft immer in derselben Weise und in derselben Richtung auf den Lichtstrahl wirkt, unabhängig von der Verschiedenartigkeit der Substanz; des Aggregatzustandes und des natürlichen Drehvermögens (2232), zeigt, dafs die magnetische Kraft und das Licht in directer Beziehung stehen; allein, dafs Substanzen nothwendig sind, und dafs diese in verschiedenem Grade wirken, zeigt, dafs die magnetische Kraft und das Licht durch Dazwischenkunft der Materie auf einander wirken.

2225) Die *Materie* nur durch ihre Kräfte erkennend und wahrnehmend, und nichts wissend von einem imaginären Kern (*nucleus*), der von der Idee dieser Kräfte abstrahirt ist, bestärken die in diesem Aufsatz beschriebenen Erscheinungen mich in dem Vertrauen zu den Ansichten, die ich bei einer früheren Gelegenheit über deren Natur ausgesprochen habe ¹⁾.

2226) Es leidet keinen Zweifel, dafs die magnetischen Kräfte auf die innere Constitution der Diamagnetica genau eben so frei im Dunklen wirken, wie wenn ein Lichtstrahl durch sie geht, obwohl die vom Licht hervorgebrachten

1) *Phil. Mag.* 1844, Vol. XXIV, p. 136.

Phänomene bis jetzt die einzigen Mittel darzubieten scheinen, um diese Abänderung der Constitution zu beobachten. Ferner muß eine solche Abänderung auch opaken Körpern, wie Holz, Stein und Metall, zukommen, denn als Diamagnetica ist kein Unterschied zwischen ihnen und den durchsichtigen Körpern. Der Grad der Durchsichtigkeit kann in dieser Beziehung aufs Höchste nur einen Unterschied zwischen den Individuen einer Klasse machen.

2227) Wenn die magnetischen Kräfte diese Körper zu Magneten gemacht hätten, würden wir mittelst des Lichts einen durchsichtigen Magneten haben untersuchen können, und das würde eine große Hülfe zur Erforschung der Kräfte der Materie gewesen seyn. Allein sie machen sie nicht zu Magneten (2171), und deshalb muß die Molecular-Constitution dieser Körper, wenn sie in dem beschriebenen Zustand sind, specifisch verschieden seyn von dem eines magnetischen Eisens oder einer anderen solchen Substanz; es muß ein *neuer magnetischer Zustand* seyn, und da der Zustand ein Spannungszustand ist (manifestirt durch seine augenblickliche Rückkehr zu dem Normalzustand, wenn die magnetische Induction entfernt wird), so muß die Kraft, welche die Materie in diesem Zustand besitzt, und ihre Wirkungsweise für uns eine *neue magnetische Kraft* oder *Wirkungsweise* der Materie seyn.

2228) Denn es ist unmöglich, glaube ich, die Wirkung der magnetischen Kräfte auf ein Stück schweren Glases oder eine Röhre voll Wasser an Stärke wachsen zu sehen, ohne nicht auch einzuräumen, daß die Substanz Eigenschaften erlangt, welche nicht allein *neu* für sie sind, sondern auch sehr bestimmten und genauen Gesetzen unterliegen (2160, 2199) und im Verhältniß zu den sie erzeugenden magnetischen Kräften stehen.

2229) Vielleicht ist dieser Zustand *eine zu einem Strome strebende elektrische Spannung*, wie in Magneten, nach Ampère's Theorie, der Zustand der eines Stromes ist. Wenn ein Eisenkern in ein Drahtgewinde gelegt wird, so läßt alles glauben, daß in demselben Elektrizitätsströme erregt

werden, welche in einer auf der Axe des Gewindes winkelrechten Ebene herumkreisen. Wenn ein Diamagneticum in dieselbe Lage gebracht wird, erlangt es das Vermögen, Licht in derselben Ebene zu drehen. Der Zustand, welchen es erlangt hat, ist ein Spannungszustand, der noch nicht in Ströme übergegangen ist, obwohl die wirkende Kraft und alle übrigen Umstände dieselben sind wie die, welche Ströme erregen in Eisen, Nickel, Kobalt und anderen dazu geeigneten Substanzen. Die Idee also, dafs in Diamagneticis unter solchen Umständen eine Tendenz zu Strömen bestehe, verträgt sich mit allen bisher beschriebenen Erscheinungen, und wird ferner durch die Thatsache bestätigt, dafs wenn ein Magnet (*loadstone*) oder elektrischer Strom, welcher durch seine inductive Action ein Stück Eisen, Nickel oder Kobalt magnetisch macht, unverändert gelassen wird, eine blofse Aenderung der Temperatur diesen Körper ihre Extra-Kraft nimmt, und sie in die gemeine Klasse der Diamagnetica versetzt.

2230) Es ist, glaube ich, gegenwärtig das erste Mal, dafs der zur Circularpolarisation des Lichts erforderliche Molecularzustand einem Körper künstlich gegeben worden, und es hat daher viel Interesse, diesen bekannten Zustand (*state and condition*) des Körpers zu vergleichen mit dem relativ unbekanntem Zustand, den mehre schon von Natur besitzen, besonders da einige rechts und andere links drehen, ja diese Verschiedenheit schon bei chemisch identischen Exemplaren eines und desselben Körpers vorkommt, wie beim Quarz und bei dem Terpenthinöl, einer Flüssigkeit mit frei beweglichen Theilchen.

2231) Vorab möchte man zu dem Schlufs geneigt seyn, der natürliche Zustand und der durch magnetische oder elektrische Kräfte erregte seyen einerlei; allein bei fernerer Ueberlegung stöfst man dabei auf grofse Schwierigkeiten. Beim Terpenthinöl hängt die Kraft der Drehung eines Lichtstrahls von seinen Theilchen ab, und nicht von der An-

ordnung seiner Masse. In welcher Weise auch ein polarisirter Lichtstrahl durch diese Flüssigkeit gehe, so wird er doch in gleichem Sinne gedreht, und Strahlen, welche *gleichzeitig* in allen möglichen Richtungen durch dieselbe gehen, werden alle mit gleicher Kraft, nach einem gemeinschaftlichen Gesetze gedreht, d. h. alle entweder rechts oder links. So verhält es sich aber nicht mit dem *demselben* Terpenthinöl durch magnetische oder elektrische Kräfte noch darüber eingepägten Drehvermögen; es äußert sich blofs in Einer Richtung, in winkelrechter Ebene auf der magnetischen Linie; und da es auf diese Ebene beschränkt ist, so kann seine Richtung durch eine Umkehr der Richtung der erregenden Kraft geändert werden. Die Richtung der vom natürlichen Vermögen erzeugten Drehung ist mit der Richtung des Lichtstrahls auf unveränderliche Weise verknüpft; allein dies Vermögen scheint den Flüssigkeitstheilchen in jeder Richtung und zu allen Zeiten eigen zu seyn. Die Richtung der vom inducirten Zustand erzeugten Drehung hängt unveränderlich von der Richtung der magnetischen Linie oder des elektrischen Stroms ab, und dieser Zustand der Flüssigkeitstheilchen ist strenge durch die Linie oder den Strom begränzt, wechselt und verschwindet mit ihnen.

2232) Es sey *m*, Fig. 34 Taf. I, ein Glaskasten, gefüllt mit Terpenthinöl, welches von Natur das Vermögen besitzt, den polarisirten Lichtstrahl *ab* rechts zu drehen. Wenn der Strahl von *a* nach *b* geht, und das Auge sich in *b* befindet, so wird die Drehung eine rechtswärtige seyn oder in der durch die Pfeilspitzen auf dem Kreise *c* ausgedrückten Richtung geschehen. Geht der Strahl von *b* nach *a*, so wird für den *Beobachter* in *a* die Drehung auch noch eine rechte seyn, d. h. in der auf dem Kreise *d* angedeuteten Richtung erfolgen. Nun lasse man um das Terpenthinöl in der auf dem Kreise *c* angedeuteten Richtung einen elektrischen Strom laufen, oder stelle Magnetpole so, daß sie gleichen Effect wie dieser hervorbringen (2155). Die Theilchen erhalten dadurch eine fernere Drehkraft (welche durch keine Bewegung von ihnen gestört wird), und ein

von a nach b gehender Strahl wird für das in b befindliche Auge stärker rechts oder stärker in der Richtung c gedreht erscheinen als zuvor. Geht aber der Strahl von b nach a und beobachtet das Auge in a , so ist das Phänomen anders; denn die neue Drehung, statt in der auf dem Kreise d angedeuteten Richtung zu erfolgen, hat entgegengesetzte Richtung oder geht nach der Linken des Beobachters (2199). Die inducirte Drehung addirt sich also der natürlichen, so wie der Strahl von a nach b geht, subtrahirt sich aber von dieser, so wie er von b nach a geht. Die Theilchen der Flüssigkeit also, welche vermöge ihrer natürlichen Kraft drehen (*rotate*), können nicht in demselben Zustand seyn, wie die, welche es vermöge der inducirten Kraft thun.

2233) Anlangend das Vermögen des Terpenthinöls, einen in jeglicher Richtung durchgehenden Strahl zu drehen, so kann es wohl seyn, daß alle Theilchen das Drehvermögen besitzen, aber nur diejenigen den Lichtstrahl ergreifen, deren Drehungsebene mehr oder weniger winkelrecht auf diesem ist, und daß es die Resultante oder Summe der Kräfte in irgend einer Richtung ist, welche die Drehung bewirkt. Allein selbst dann bleibt ein auffallender Unterschied, weil die Resultante in derselben Ebene keine absolute Richtung hat, sondern eine von der Bahn des Strahles abhängige, indem sie in dem einen Falle wie bei c , und in dem andern wie bei d , Fig. 34 Taf. I, gerichtet ist; wogegen die Resultante der magnetischen oder elektrischen Induction absolut ist, nicht von der Richtung des Strahls abhängt, immer entweder dem Sinne von c , oder dem von d entspricht.

2234) Alle diese Unterschiede werden indess ohne Zweifel verschwinden oder in Harmonie kommen, so wie diese Untersuchungen weiter ausgedehnt werden; und selbst ihr Daseyn öffnet so viele Wege, auf welchen wir mit unseren Forschungen immer tiefer und tiefer in die Kräfte und Constitution der Materie eindringen können.

2235) Körper, welche an sich ein Drehvermögen be-

sitzen, scheinen dadurch keine grössere oder geringere Tendenz zur Annahme eines höheren Grades von diesem Vermögen unter dem Einflusse der magnetischen oder elektrischen Kraft zu besitzen.

2236) Wären nicht diese und andere Unterschiede da, so könnte man eine Analogie sehen einerseits zwischen den Körpern, welche immer das Drehvermögen besitzen, wie z. B. Bergkrystall, welcher nur in Einer Ebene dreht, und denjenigen, welchen dieses Vermögen mittelst Induction durch andere Kräfte gegeben wird, wie ein Prisma von schwerem Glase innerhalb einer Drahtrolle; und andererseits zwischen einem natürlichen Magnet und einer Drahtrolle, durch welche ein Strom geleitet wird. Der natürliche Zustand des Magneten und Quarzes, und der gezwungene (*constrained*) Zustand der Drahtrolle und des schweren Glases bilden das Glied der Analogie in Einer Richtung; während die Annahme von Strömen in dem Magneten und der Drahtrolle, und von bloßer Tendenz oder Tension zu Strömen im Quarz und im schweren Glase das Glied in anderer (*transverse*) Richtung liefert.

2237) Was die Körper betrifft, welche keine Anzeige von der Einwirkung auf das Licht und also auch von Annahme des neuen magnetischen Zustands liefern, so können sie in zwei Klassen getheilt werden; die eine enthält: Luft, Gase und Dämpfe, und die andere: Bergkrystall, Kalkspath und gewisse andere krystallisirte Körper. Rücksichtlich der letzteren Klasse werde ich in einer nächsten Reihe dieser Untersuchungen Beweise, hergeleitet aus Erscheinungen ganz anderer Art, geben, das sie den neuen magnetischen Zustand annehmen; und diese gestalten sich so, das ich für den Moment zu glauben geneigt bin, das selbst Luft und Gase fähig sind, den neuen Zustand anzunehmen und selbst auf Licht einzuwirken, doch in einem so geringen Grade, das es bisher noch nicht wahrnehmbar gemacht worden ist. Der Gaszustand stellt eine so merkwürdige Constitution der Materie dar, das wir nicht zu hastig annehmen dürfen, das Substanzen, die im starren und flüs-

sigen Zustand selbst Eigenschaften von allgemeinem Charakter besitzen, diese immer mit in den gasigen hinübernehmen.

2238) Steinsalz, Flusspath und, wie ich glaube, Alaun wirken auf das Licht; die übrigen von mir untersuchten Krystalle thun es nicht; erstere sind gleichaxig und einfachbrechend, letztere ungleichaxig und doppelbrechend. Vielleicht das diese Fälle, neben der Drehung des Quarzes, eine Relation zwischen Magnetismus, Elektrizität und den Krystallisationskräften der Materie andeuten.

2239) Alle Körper werden sowohl von Stromgewinden als von Magneten afficirt, nach Gesetzen, welche zeigen, das sowohl die Ursachen als die Wirkungen identisch sind. Dies Resultat liefert eine andere feine Probe zu Gunsten der Einerleiheit von Stromgewinden und von Magneten nach Ampère'scher Vorstellung.

2240) Die Theorie der elektrischen Vertheilung (*static induction*), welche ich früher aufzustellen wagte (1161 etc.), und welche eine Wirkung der zusammenliegenden Theilchen des zwischen dem inducirenden und dem inducirten Körper befindlichen Dielektriums annimmt, liefs mich erwarten, das dieselbe Art von Abhängigkeit von den intervenirenden Theilchen bei der magnetischen Wirkung stattfinden würde, und ich veröffentlichte vor sieben Jahren gewisse Versuche und Betrachtungen über diesen Punkt (1700 bis 1736). Damals konnte ich keinen besonderen Zustand der intervenirenden Substanz oder des Diamagneticums entdecken; allein gegenwärtig, da ich im Stande gewesen bin, solch einen Zustand nachzuweisen, der nicht nur ein Spannungszustand ist (2227), sondern auch zugleich von den durch die Substanz gehenden magnetischen Linien abhängt, bin ich mehr als je ermuthigt zu glauben, das die damals ausgesprochene Ansicht richtig sey.

2241) Obgleich die magnetischen und elektrischen Kräfte keine Wirkung auf den gewöhnlichen oder den depolarisirten Strahl auszuüben scheinen, so dürfen wir doch kaum zweifeln, das sie einen speciellen Einfluss auf ihn haben,

der wahrscheinlich bald durch Experimente dargethan wird. Auch steht nicht anders als zu vermuthen, daß dieselbe Art von Wirkung auf die übrigen Formen von strahlenden Agentien wie Wärme und chemische Kraft stattfinden werde.

2242) Diese magnetische und elektrische Wirkungsweise und die durch sie dargebotenen Erscheinungen werden, hoffe ich, späterhin die Untersuchung der Natur von durchsichtigen Körpern, von Licht, vom Magneten und deren Wirkung auf einander auf magnetische Substanzen bedeutend unterstützen. Ich bin jetzt mit Untersuchung des neuen magnetischen Zustands beschäftigt, und werde bald der K. Gesellschaft einen ferneren Bericht davon erstatten. Was der mögliche Effect der Kraft in der Erde als Ganzes, oder in Magneten, oder in Relation zur Sonne sey, und wie sich Elektrizität und Magnetismus am besten durch Licht entwickeln lassen, sind Gedanken, die mir beständig im Sinne liegen; doch es wird besser seyn, Zeit und Gedanken, unterstützt von Experimenten, auf die Erforschung und Entfaltung reeller Wahrheit, als zur Aufsuchung bloßer Subpositionen zu verwenden.

Royal Institution, 1845, Oct. 29.

XII. *Lösung des kürzlich über die Verzweigung galvanischer Ströme aufgestellten Problems für den Entladungsstrom der elektrischen Batterie;*
von K. W. Knochenhauer.

Die in diesen Annalen (Bd. 67, S. 273) mitgetheilte interessante Lösung der Frage nach den Stromstärken in den verschiedenen Zweigen eines auf complicirtere Weise zusammengesetzten Schließungsdrahtes der galvanischen Batterie hat mich veranlaßt den gleichen Fall auch für den Strom der elektrischen Batterie zu betrachten, da er bei Blitzableitern vorkommen kann. Es sey also I (Taf. I Fig. 35)