

## Robert Wilhelm Bunsen.

Von

R. RATHKE.

Am 16. August vorigen Jahres ist ROBERT BUNSEN im höchsten Alter aus dem Leben geschieden, nachdem er — einer der größten Naturforscher aller Zeiten — bis vor einem Jahrzehnt, bis zu seinem 78. Jahre als Forscher und Lehrer eine unermüdliche Thätigkeit entfaltet hatte. Dieselbe gehörte zu ihrem größten Teile dem Gebiet der unorganischen Chemie an, und so hat diese Zeitschrift besonderen Grund, ihren Lesern ein Bild seines Lebens und Wirkens und eine kurze Darstellung seiner wichtigsten Arbeiten zu geben.

BUNSEN wurde am 31. März 1811 zu Göttingen geboren als der jüngste von vier Söhnen des Professors der Philologie und Bibliothekars CHRISTIAN BUNSEN und wuchs in einem äußerst glücklichen Familienleben unter der zärtlichen Liebe und Fürsorge der Eltern auf. Schon früh verriet sich seine ungewöhnliche Begabung. Mannigfache Anregung empfing er dadurch, daß im elterlichen Hause viel junge Ausländer verkehrten, was ihm auch die in jener Zeit sich sonst selten bietende Gelegenheit gab, sich eine gute Kenntnis fremder Sprachen zu erwerben, die ihm bald sehr zu statten kommen sollte. Kaum 17jährig bezog er im Frühling 1828 die Universität seiner Vaterstadt, woselbst er bei HAUSMANN Mineralogie, bei STROMEYER Chemie hörte; zu praktischen Übungen in der letzteren Wissenschaft boten die Universitäten damals bekanntlich keine Gelegenheit. Exkursionen in den nahen Harz regten das Interesse für Mineralogie und Geologie mächtig an, welches ihn dann durch das ganze Leben begleitet und zu höchst bedeutsamen

Untersuchungen geführt hat. Auch mathematische Studien trieb er mit Vorliebe und hat später seinen Schülern immer warm empfohlen, solche nicht zu versäumen. An studentischem Leben im gewöhnlichen Sinne hat er sich wohl kaum beteiligt; es wird berichtet, daß er still und zurückhaltend, doch voll des guten Humors gewesen sei, der später einen seiner hervorstechendsten Charakterzüge bildete. Als Knabe soll er übrigens äußerst lebhaften, ja heftigen Temperaments gewesen sein, wie man es in reiferen Jahren dem ruhigen, stets heiteren Manne kaum zugetraut hätte.

Bereits im Jahre 1830 gewann er einen akademischen Preis mit der umfangreichen, in elegantem Latein verfaßten Schrift: *Enumeratio ac descriptio hygrometorum*; dieselbe scheint zugleich als Inauguraldissertation gedient zu haben, da eine solche nirgends verzeichnet ist. Im Mai 1832, nach vierjährigem Studium, unternahm er dann zu seiner weiteren wissenschaftlichen Ausbildung eine große Reise (mit Hilfe eines von der hannöverschen Regierung hierzu bewilligten Stipendiums), welche ihn nach Berlin, Paris und Wien führte. Es ist bemerkenswert, mit welcher Selbständigkeit der einundzwanzigjährige Jüngling hierbei verfährt, um seine Kenntnisse zu vermehren. Weder in Berlin, noch in Wien hört er Vorlesungen, sondern zieht nur Gewinn aus dem persönlichen Verkehr mit hervorragenden Gelehrten, in ersterer Stadt mit dem Geologen WEISS, den Chemikern HERMBSTÄDT und RUNGE, mit GUSTAV und HEINRICH ROSE und MITSCHERLICH; in Paris verkehrt er mit PELOUZE, REGNAULT, GAULTIER DE CLAUBRY, BROGNIARD u. a. und besucht hier (im Wintersemester 1832/33) auch einen Kursus in der Polytechnischen Schule, welche (sonst für Ausländer schwer zugänglich) auf Empfehlung von Gelehrten, die ihn bereits schätzen gelernt haben, sich ihm öffnet. Die hauptsächlichste Aufgabe ist ihm aber: mit eigenen Augen zu sehen. Er besucht Fabriken und Hüttenwerke (besonders in Frankreich, in Böhmen, Wien, Freiberg) und er durchwandert mit aufmerksamem Blick die verschiedensten Landschaften und Gebirge und treibt geognostische Studien, u. a. in der Eifel (wo er mit MITSCHERLICH drei Wochen verweilt) und in der Auvergne. Den größten Teil der Reise legte er zu Fuß zurück. Über Kassel und Nordhausen nach Berlin gelangt, verließ er dieses bereits am 30. Juli und wendete sich nach Gießen (wo er LIEBIG und den bei diesem zu Besuch weilenden WÖHLER kennen lernte) und wanderte weiter über Darmstadt, Heidelberg, das Siebengebirge, Bonn, die Eifel nach Trier, um am 30. September 1832

in Paris einzutreffen, wo er bis Mitte Mai des nächsten Jahres verweilte. Dann ging er nach Genf, fast durch die ganze Schweiz, über den Arlberg, Innsbruck, Salzburg nach Wien. Sein Aufenthalt daselbst währte  $1\frac{1}{2}$  Monate bis zum Anfang des September, worauf er durch Niederösterreich, Böhmen, über Freiberg und Leipzig ins Elternhaus zurückkehrte.

In Göttingen habilitierte er sich als Privatdozent. Seine Vorlesungen übten bald eine große Anziehungskraft aus: im Wintersemester 1835 hatte er die für jene Zeit sehr beträchtliche Zahl von 44 Zuhörern. — In diese Jahre fallen seine ersten Experimentaluntersuchungen: eine solche „über Doppelcyanüre“,<sup>1</sup> in welcher er u. a. die Isomorphie des Ferrocyanammoniums mit dem Ferrocyankalium nachweist, und Krystallmessungen des entsprechenden Natriumsalzes, wie einer Verbindung des Ammoniumsalses mit Salmiak mitteilt; und eine gemeinsam mit BERTHOLD ausgeführte Arbeit, in welcher sie als Gegenmittel bei Arsenikvergiftungen eine Mischung von frisch gefälltem Eisenoxyd mit Magnesia empfehlen. Zu Beginn des Jahres 1836 wurde er als Nachfolger WÖHLER's, dem die durch den Tod STROMAYER's erledigte Professur in Göttingen übertragen war, an die Polytechnische Schule in Cassel berufen. Der Zeit, während welcher er an dieser thätig war, entstammen bereits die Anfänge höchst bedeutender Arbeiten, so die über organische Verbindungen des Arsens und über den Hochofenprozess. Im Herbst 1839 erhielt er dann einen Ruf als Professor und Direktor des chemischen Laboratoriums nach Marburg. Fand er an dieser Universität auch nach unseren heutigen Begriffen recht enge Verhältnisse vor, so waren doch in dem ehemaligen Deutschordenshause, welches das chemische nebst dem physikalischen Institute schon seit 1825 beherbergte, nach Verlegung des letzteren ausreichende Arbeitsräume geschaffen worden, welchen BUNSEN eine zweckmäßige Einrichtung gab; dazu erhielt er einen Fonds von 600 Thalern, welcher später auf 1000 Thaler erhöht, nach seinem Abgange übrigens sogleich wieder auf 700 Thaler reduziert wurde. So wurde es ihm möglich, dem von LIEBIG gegebenen Beispiele als einer der Ersten folgend, einen regelrechten praktischen Unterricht in der Chemie einzurichten. Der Ruf seiner hervorragenden Lehrgabe und Forscherthätigkeit sammelte bald eine kleine Schar tüchtiger Schüler um ihn, deren etwa 20 gleichzeitig in seinem

---

<sup>1</sup> Pogg. Ann. 34, 36.

Laboratorium arbeiteten. Unter ihnen befanden sich DEBUS, KOLBE der 1842 als sein Assistent nach Marburg kam, drei Jahre in dieser Stellung verblieb und später nochmals auf kurze Zeit zu ihm zurückkehrte), ferner die Engländer FRANKLAND und TYNDALL. Sie alle blickten im späteren Leben gern auf diese Zeit zurück und bezeugten oft, wieviel sie dem hochverehrten Manne verdankten. TYNDALL sagt von ihm: „Die hervorragendste Erscheinung an der Universität war BUNSEN. Ich blicke auf ihn zurück als auf den Mann, der meinem Ideal eines Universitätslehrers am nächsten kommt. Er war jeder Zoll ein Gentleman und ohne eine Spur von Affektation oder Pedanterie. Auf sein berühmtes Publikum über Elektrochemie freuten wir uns immer alle wie auf ein Fest.“ Diese Vorlesung war rein physikalisch; er besprach u. a. den Telegraphen und führte elektrisches Licht vor, letzteres mit Hilfe der von ihm erfundenen Kohle—Zink—Batterie. — Er hat der Universität Marburg zwölf Jahre angehört, und seine bedeutende und urwüchsige Persönlichkeit hat daselbst einen so starken Eindruck hinterlassen, daß die Erinnerung an ihn noch heute nach einem halben Jahrhundert hier lebendig ist auch in solchen Kreisen, die mit der Hochschule keinen näheren Zusammenhang haben.

1851 folgte BUNSEN einem Rufe nach Breslau, um aber schon im nächsten Jahre nach Heidelberg überzusiedeln, das ihm nun eine dauernde Heimat wurde. Hier, in dem von ihm neu geschaffenen Laboratorium, führte er jene lange Reihe glänzender Untersuchungen aus, die wir alle kennen, und sammelte in Arbeitsaal und Vorlesung während mehrerer Jahrzehnte eine große Zahl ausgezeichneter Schüler um sich, deren viele sich später einen guten Namen in der Wissenschaft erworben haben. Unter ihnen befanden sich auch immer zahlreiche Ausländer (Engländer, Amerikaner, Russen). Bis zu hohem Alter vermochte er die Bürde seines Amtes mit Freudigkeit zu tragen, und erst 1889 nötigten ihn die Last der Jahre und die mit ihnen nun doch endlich sich einstellenden Beschwerden, in den wohlverdienten Ruhestand zu treten. Er lebte seitdem in der Zurückgezogenheit am gleichen Orte, allgemein verehrt von den Bürgern der Stadt und Universität, zu deren Ruhm er lange Jahre so viel beigetragen hatte.

BUNSEN'S Leben wurde bestimmt und erfüllt von leidenschaftlicher Liebe zur Natur und umfassendem Erkenntnistrieb. Wenn mancher andere verdiente Gelehrte sich ein verhältnismäßig enges Gebiet erwählt und dieses mit unermüdlichem Fleiß durchforscht hat, so

darf man von BUNSEN im Gegenteil sagen: es giebt keinen Zweig der Wissenschaft von der unbelebten Natur, den er nicht gefördert hätte, und fast jede seiner Arbeiten war ein neuer und kühner Griff und den Fachgenossen eine Überraschung, wenngleich ihr innerer Zusammenhang nicht zu verkennen ist. Er war der Meister der unorganischen Chemie, als solcher von allen Mitlebenden anerkannt. Er machte den freiesten und umfassendsten Gebrauch von den Hilfsmitteln der Physik und hat dieselben in bedeutungsvollster Weise vermehrt, und gar manche seiner schönsten Arbeiten müssen der Physik mit gleichem oder größerem Rechte als der Chemie gezählt werden. Mineralogischen und geologischen Untersuchungen hat er viele Jahre hindurch ein besonderes Interesse zugewendet, und selbst die Meteorologie ist ihm für seine (mit ROSCOE ausgeführte) Arbeit über die chemische Wirkung des Lichtes zu Dank verpflichtet. Diese Weite des Gesichtskreises gab auch seiner Vorlesung einen eigenen Reiz; zumal in deren erstem allgemeinem Teil vergaß man zuweilen ganz den Chemiker und hörte nur noch den großen Naturforscher, dem die Weite des Himmelsraumes und die Tiefen der Erde ebensowenig fremd waren, wie die subtilsten Molekularevorgänge, welche in der Enge des Laboratoriums studiert werden wollen.

Was neben dieser Vielseitigkeit seine Forscherthätigkeit besonders charakterisiert, das ist seine vollkommene Originalität. Es war nicht seine Art, nach altbewährten Methoden verfahren, neue Thatsachen von größerer oder auch geringerer Bedeutung zu häufen, sondern seine größte Freude und Stärke war es, stets neue Wege zu ersinnen und auszubilden, und so hat er die Wissenschaft mit zahlreichen Methoden und Hilfsmitteln beschenkt, welche, nachdem das nächste Ziel erreicht war, ihr als wertvoller Besitz verblieben sind und fort und fort Früchte tragen. Wie könnten wir seine Methoden der Gasanalyse heute entbehren oder gar die Spektralanalyse? Und wie ganz undenkbar ist uns die tägliche Praxis des Laboratoriums ohne den „Bunsenbrenner“ und die Wasserluftpumpe! Höchste Bewunderung verdient die geniale Einfachheit und Sicherheit der Mittel, durch welche er seine Zwecke zu erreichen wufste. Ein ausgezeichnetes Beispiel derselben bietet die später zu besprechende Untersuchung über die Temperatur der Flamme, auf welche hier vorweg verwiesen sein möge. — Mit Eigenschaften und Verhalten unzähliger Substanzen ist neben BERZELIUS und WÖHLER wohl kein Chemiker je in ähnlichem Mafse wie BUNSEN

vertraut gewesen. Zumal seine Schüler hatten immer von neuem Gelegenheit, zu erkennen, mit welchem Scharfblick er alle Bedingungen übersah, von welchen das Gelingen der Arbeit abhing. Er war im Großen und im Kleinen der praktische aller Menschen, durch natürliche Anlage nicht minder als durch unvergleichlich reiche Erfahrung.

BUNSEN'S Gestalt und Haltung war imponierend. Er war groß, stark und wohlgebaut, die Gesichtszüge kraftvoll und schön, der Blick von herzwinnender Güte, sein stets heiteres Antlitz erhellt durch einen Zug jenes guten Humors, von dem man viele Anekdoten zu erzählen wußte. Schon früh hatte er durch eine Explosion die Sehkraft des einen Auges fast ganz eingebüßt, wiewohl es äußerlich nicht verändert schien; daß er durch die Sorge, auch das andere Auge zu gefährden, sich in der Arbeit nie im geringsten hindern ließ, ist auch einer seiner Ruhmestitel. Oft beklagte er sich über einen gewissen Grad von Schwerhörigkeit; sie fiel im Gespräch nicht auf, und man sagte, sie diene ihm eigentlich nur dazu, zu überhören, was er nicht hören wolle, — doch hat sie leider, später zunehmend, ihm in den letzten Jahren allen Verkehr mehr und mehr erschwert. Das Glück, mit einer Reihe bedeutender Männer, wie KIRCHHOFF, KOPP, HELMHOLTZ, KÜHNE u. a. an derselben Hochschule zu wirken, schätzte er sehr hoch und nahm an ihren Arbeiten lebhaften Anteil; mit mehreren von ihnen (besonders mit den beiden erstgenannten) war er in enger Freundschaft verbunden und fand — selber unvermählt — im vertrauten Verkehr mit ihnen und ihren Familien Ersatz für die eigene Häuslichkeit. In einem Nachruf, den die Times ihm widmen (vermutlich durch die Feder seines Schülers und Freundes ROSCÖE), heißt es von ihm: „Die, welche den Vorzug seines nahen Umganges genossen, ehrten in ihm den besten, treuesten und zartsinnigsten der Freunde. In den akademischen Kreisen wurde sein Erscheinen immer freudig begrüßt wegen seines einfachen und ursprünglichen Wesens, das den Schein verachtete und von jeder Prätension frei war; es trat dann bei ihm eine Fülle behaglicher Laune zu Tage, welche seiner Unterhaltung einen besonderen Reiz verlieh.“ Nicht nur sein Auftreten, sondern auch seine Denkweise war so überaus schlicht, so ganz auf das Wesentliche gerichtet, daß äußere Ehren, die ihm in reichstem Maße zu teil geworden sind, ihn mehr in Verlegenheit setzten, als daß er stolz darauf gewesen wäre. Wenn er einmal nicht vermeiden konnte, seine vielen Orden anzulegen, dann nahm er (so erzählt

man) seinen Weg durch menschenleere Seitengassen und knöpfte wohl im heißen Sommer den Überrock bis an den Hals zu, um sie den Blicken zu entziehen.

Besondere Freude hatte BUNSEN sein Leben lang (wie wohl jeder Naturforscher, der nicht ganz Spezialist ist) an ausgedehnten Reisen, und diese dürfen um so mehr hier erwähnt werden, als sie mit seinen geologischen Arbeiten zum Teil in nahem Zusammenhang stehen. — Von Marburg aus reiste er im Jahre 1840 nach England, 1841 gemeinsam mit PÉLOUZE nach Schweden; wahrscheinlich damals war es, daß er die persönliche Bekanntschaft von BERZELIUS machte, mit dem er auch in Briefwechsel gestanden hat. 1843 unternahm er eine große Reise nach Italien in Gemeinschaft mit seinem Freunde und Kollegen, dem geistvollen Theologen HENKE, dessen ausführliches Tagebuch über dieselbe ich habe einsehen dürfen. Die Fahrt ging zunächst nach Tirol, über Verona und Venedig nach Florenz. Hier besuchten sie u. a. den dort lebenden König von Holland, LUDWIG BONAPARTE (Vater NAPOLEON'S III.), von dem sie sehr freundlich aufgenommen wurden und dessen Neffe, ein Sohn LUCIAN'S, PRINZ VON CANINO, welcher sich als Zoologe einen Namen gemacht hat, BUNSEN durch die Laboratorien und naturwissenschaftlichen Institute der Stadt führte. Von Florenz aus bereiste er in Gesellschaft eines italienischen Ingenieurs, den er unterwegs kennen gelernt hatte, die durch ihre Borsäuregewinnung bekannten Maremmen von Toskana. Hier stieg er auch in ein seit kurzem eröffnetes Kohlenbergwerk hinab und hat über seine an demselben gemachten Beobachtungen berichtet.<sup>1</sup> Er bemerkt die mit der Tiefe ungewöhnlich schnell sich steigernde Temperatur, welche offenbar durch die vulkanische Beschaffenheit der Gegend bedingt war; ferner aber erkennen wir aus dieser Mitteilung, daß er auch mit paläontologischen Details wohl vertraut war, auf Grund deren er das Alter der Kohle zu bestimmen sucht. — In Rom traf er mit dem Freunde wieder zusammen und verweilte längere Zeit dort, hauptsächlich an der so eigenartigen Physiognomie der Stadt, ihrem landschaftlichen Reiz und dem Leben und Treiben des Volkes sich erfreuend. Daß er aber auch ihre Kunstschatze verständnisvoll zu genießen wußte, bezeugten später die Abbildungen antiker Skulpturen, welche die Wände seines Studierzimmers schmückten. Endlich wurde auch Neapel besucht

---

<sup>1</sup> *Lieb. Ann.* 49.

und der Vesuv bestiegen, der, in mäßiger Thätigkeit begriffen, den Naturforscher noch mehr als alles, was er bisher gesehen, interessieren mochte; er sammelte an ihm mannigfache Mineralien und Gesteinsproben und stellte Beobachtungen über die Zersetzung der Lava und über die am Fulse des Vulkans hervorbrechenden Quellen an, über welche er in der Marburger naturforschenden Gesellschaft berichtet hat.

Diese Studien sind ihm dann zur Vorarbeit geworden für ein besonders bedeutungsvolles wissenschaftliches Unternehmen, an das er wenige Jahre später herangetreten ist: für seine Reise nach Island. Auf dieser Insel erfolgte im Sommer 1845 eine große Eruption; um dieselbe und ihre Folgeerscheinungen zu studieren, rüstete für das nächste Jahr der Göttinger Mineraloge SORTORIUS VON WALTERSHAUSEN eine Expedition, welche unter Protektion der dänischen Regierung stattfand und der sich auch BUNSEN, sowie der französische Mineraloge DESCLOISEAUX anschlossen. Der Aufenthalt auf Island währte vom 15. Mai bis zum 30. August 1846. Die Resultate seiner Beobachtungen und der nachfolgenden analytischen Arbeiten, welche über mehrere Jahre sich erstreckten, hat BUNSEN in einer Reihe von Abhandlungen<sup>1</sup> niedergelegt, über welche sogleich berichtet werden soll. Dieselben werden noch heute zu den allerwichtigsten und tiefgründigsten Studien gezählt, welche über vulkanische Erscheinungen überhaupt vorliegen. Nur einem zufälligen Umstande verdanken wir nähere Kenntnis davon, mit welcher Aufopferung, unter welchen Anstrengungen und ernstesten Gefahren diese Studien von BUNSEN durchgeführt wurden; in einer wissenschaftlichen Polemik seines Reisegefährten WALTERSHAUSEN glaubte er den Vorwurf leichtfertiger Beobachtung zu finden, und dieses war das Einzige, welches ihn, der sein Leben lang seine Person aufs strengste im Hintergrund zu halten gewohnt gewesen ist, zu einer lebhaften Entgegnung reizen konnte. „WALTERSHAUSEN weiß, daß ich den größten Teil der Zeit meines Aufenthaltes am Hekla dem Studium der dortigen Fumarolen gewidmet habe; er wird an den blutigen Spuren meiner Hände mehr als einmal die Anstrengungen haben ermessen können, mit denen ich die Grenze der verschiedenen Fumarolen in den scharfkantigen Trümmern und Schlackenhaufen der Lava verfolgt habe; er weiß, daß ich mitten zwischen diesen Dampfquellen mich mit den mühsamsten Experimentalunter-

---

<sup>1</sup> *Pogg. Ann.* 72, 81, 83. *Lieb. Ann.* 61, 62, 65, 89.



suchungen beschäftigt habe; er weiß, daß ich diese Untersuchungen über die Fumarolen des Kraterrückens hinaus bis in den tiefsten der neuen Heklakrater hinab verfolgt habe, jenen Krater, dessen Boden und dessen tiefere Fumarolenfelder nur Herrn DESCLOISEAUX und mir zu betreten vergönnt war; er hat es gewiß nicht vergessen, wie wir hoch am Hekla unter der Schneegrenze zusammentrafen, damals, als einer jener gewaltigen Stauborkane das Zelt über unseren Köpfen zusammenbrach und uns zur schleunigen Heimkehr nötigte; er weiß es daher, daß ich diesen Erscheinungen die größte Aufmerksamkeit zollte.“

In späteren Jahren pflegte BUNSEN die längeren Ferien gern zu ausgedehnten Reisen zu benutzen; es war das auch das einzige Mittel, um sich von seinem geliebten Laboratorium loszureißen und sich die doch so nötige Erholung zu gönnen. Die Ziele, die er sonst dabei verfolgte, waren (wie einer seiner ältesten Freunde mir schreibt) „ganz allgemeiner Art: durch eigene Anschauung seine Begriffe über menschliche Thätigkeit oder die großen Vorgänge in der Natur zu vermehren oder zu berichtigen.“ Oft begleiteten ihn dabei Heidelberger Freunde; so machte er mit dem Zoologen PAGENSTECHEER eine Reise nach der Insel Majorka, welche dieser geschildert hat. Seine unerschöpfliche Liebe zur Natur blieb ihm treu bis zu den letzten Tagen seines Lebens; als Augen und Kräfte den Dienst zu versagen begannen, war es noch seine größte Freude, weite Spazierfahrten durch die schöne Umgebung Heidelbergs zu machen.

Indem ich nun dazu übergehe, BUNSEN'S einzelne Untersuchungen zu besprechen, werde ich wegen der Fülle derselben nur bei den wichtigsten verweilen können, andere kurz berühren; und ich werde mich nicht an ihre chronologische Folge binden, sondern sie nach dem Gegenstande gruppenweise zusammenfassen. Ich beginne mit den geologischen Arbeiten.

Die erste Frucht der isländischen Reise war die richtige Theorie des Geisir, für dessen in regelmässigen Zwischenräumen wiederkehrende Eruptionen man bis dahin abenteuerliche Erklärungen gegeben hatte. Wenn an irgend einer Stelle des (etwa 70 Fufs tiefen) Quellschachtes das Wasser zum Kochen kommen soll, so muß, da zum Atmosphärendruck noch der Druck der darüber stehenden Wassersäule hinzukommt, die Temperatur den gewöhnlichen Siedepunkt des Wassers um so mehr überschreiten, je höher

diese Säule ist, in je größerer Tiefe also die betrachtete Stelle sich befindet. Es gelang nun, durch Thermometerbeobachtungen festzustellen, daß die Temperaturen mit der Tiefe ansteigen und einige Minuten vor einem Ausbruch zwar jenen variablen Siedepunkt nirgend erreichen, ihm aber ungefähr in der Mitte der Säule bis auf etwa 2° C. sich nähern. Wird nun durch aus den Nebengängen der Röhre eindringenden Dampf diese Wassermasse nur um wenige Fuß gehoben und dadurch unter verminderten Druck gesetzt, so muß der Wärmeüberschuß sogleich zur Dampfbildung verwendet werden; dadurch tritt eine weitere Hebung und Entlastung ein und diese führt zur plötzlichen Entwicklung einer großen Dampfmasse, welche das zerstäubte Wasser zu gewaltiger Höhe emporschleudert.

Zur Erkenntnis der chemischen Vorgänge, welche unter dem Einfluß vulkanischer Hitze vor sich gehen, brachte BUNSEN in den während der letzten Jahre von ihm ausgebildeten Methoden der Gasanalyse ein neues und äußerst wichtiges Hilfsmittel mit. Sodann wurde eine sehr große Zahl von Gesteinsanalysen ausgeführt; eine der Abhandlungen enthält weit über hundert Analysen der beiden Arten. Indem endlich unter Führung durch die an Ort und Stelle beobachteten Verhältnisse mehrfach Experimentaluntersuchungen zu Hilfe genommen wurden, gelang es, manche Fragen von fundamentaler Wichtigkeit der bisher rein hypothetischen Deutung zu entrücken und zum erstenmal einen soliden Boden für ihre Beantwortung zu gewinnen. — Woher stammt das Wasser der heißen vulkanischen Quellen? BUNSEN beweist, daß es nichts anderes ist, als Meteorwasser, welches durch Spaltensysteme zu heißen Schichten vorgedrungen war und durch hydrostatischen Druck an tiefer gelegener Stelle wieder zur Oberfläche gedrängt wird. Es ergibt sich das einmal aus seinem Gehalt an Stickstoff, welcher nicht größer ist, als dem Absorptionskoeffizienten dieses Gases unter dem Druck einer einfachen Atmosphäre entspricht, und weiter aus seinem Gehalt an Ammoniak. Denn dieser entstammt, wie BUNSEN überzeugend nachweist, der Zersetzung organischer Substanz, nämlich von Rasen und Gestrüpp, über welche glühende Lava geflossen ist, und fehlt denjenigen Quellen, welche in vegetationsloser Höhenregion entspringen. — In den Gasausströmungen findet sich häufig Wasserstoff, und zwar neben größeren oder geringeren Mengen von Schwefelwasserstoff und Kohlensäure. Über seinen Ursprung hatte man verschiedene Hypothesen aufgestellt; bekannt ist die von DAVY, daß er auf die Zersetzung von Wasser durch Metalle

zurückzuführen sei. BUNSEN zeigt dem gegenüber, daß alle Prozesse ausgeschlossen sind, welche bei höherer Glüh-temperatur verlaufen, weil dabei durch Wechselwirkung zwischen Wasserstoff und Kohlen-säure Kohlenoxyd auftreten müßte, dieses aber niemals auf-gefunden wurde. Er findet, daß als einzige mögliche Quelle des Gases die schon bei mäßiger Hitze stattfindende Spaltung des Schwefelwasserstoffes in seine Elemente zu betrachten sei. Auf die ganzen Vorgänge wirft folgender Versuch ein helles Licht. Als Basaltbrocken in Schwefeldampf geglüht wurden (wobei schweflige Säure auftritt) und man dann in der Hitze Wasserdampf darüber leitete, wurde ein Gemenge von Schwefelwasserstoff mit (6%) Wasserstoff erhalten. So auch in der Natur erzeugt der aus der Tiefe dampfförmig aufsteigende Schwefel mit den Eisenoxyden des Gesteines schweflige Säure und Einfach-Schwefeleisen (erste Phase), letzteres bei gesunkener Temperatur mit Wasserdampf Schwefelwasserstoff (zweite Phase), der teilweise in Schwefel und Wasserstoff zerfällt. — Neben schwefliger Säure kann Schwefelwasserstoff selbst in Spuren nicht bestehen, sondern wird unter Abscheidung von Schwefel zersetzt. So erklärt sich, daß oft von zwei dicht benachbarten Fumarolen die eine nur das erste, die andere nur das zweite Gas führt. Indem die schweflige Säure versiegt, schlägt die saure Reaktion im Boden in eine alkalische um; auf die Bildung schwefel-saurer Salze folgt die von Schwefelalkali und kohlen-sauren Alkalien, welche nun Kieselsäure in Lösung führen — das Material, aus welchem die Sinterbecken des Geisir und der vielen verwandten Quellen sich aufbauen. (Wesentlich ist für alle diese Vorgänge, daß der Palagonit, ein in Island weit verbreitetes und mächtige Schichten bildendes wasserhaltiges Silikat, selbst von den schwächsten Säuren leicht zersetzt wird.) Zum Schlusse, nachdem die vulkanische Thätigkeit in große Tiefe zurückgesunken ist, folgen dann reine Kohlen-säurequellen, oder, indem Schwefelwasserstoff sowohl als auch Kohlen-säure einem starken Verbrauch durch die Basen des Silikatgesteines unterliegen, nimmt der sonst untergeordnete Wasserstoff relativ zu. (Das Gas eines Dampfstrahles, welcher in unmittelbarer Nähe des großen Geisir den Fumarolenthon durchbricht, hat die Zusammen-setzung  $\text{CO}_2$  8.92,  $\text{H}_2\text{S}$  0.38,  $\text{H}_2$  6.59,  $\text{N}_2$  84.11.) — Das Auftreten von Chlorwasserstoff ist an noch frische vulkanische Thätigkeit, d. h. hohe Temperatur gebunden und verdankt seine Entstehung der Einwirkung von Wasserdampf auf das (in den Laven in aus-reichender Menge enthaltene) Chlornatrium. — Schwefelkies wurde

auch im höchsten Krater des Hekla gefunden, wo eine Bildung aus Sulfaten durch Mitwirkung organischer Substanz ganz ausgeschlossen ist; er wird von den durch gelöstes Schwefeleisen dunkel gefärbten Schwefelalkalilösungen abgesetzt, wenn sie an der Luft sich in Polysulfid verwandeln.

Endlich führt BUNSEN in seiner großen Abhandlung<sup>1</sup> aus, daß Gesteine, welche sich höchst verschiedenartig darstellen, indem sie aus ganz verschiedenen Mineralien bestehen, doch häufig gleiche Totalzusammensetzung besitzen und daher angenommen werden müsse, daß sie einer und derselben Grundmasse entstammen, die nur bei der Erstarrung sich in wechselnder Weise differenziert hat. Und für die Eruptivgesteine Islands beständen nur zwei Herde in großer Tiefe, deren Produkte er als normalpyroxenisch und normaltrachytisch unterscheidet, mit einem Verhältnis des Sauerstoffes der Kieselsäure zu dem der Basen = 3:2, resp. = 3:0.6. Diese letzteren finden sich zwar selten in annähernder Reinheit, aber durch ihre Mischung kann die Zusammensetzung sämtlicher Zwischenformen rechnermäßig erklärt werden. Auf diesen Satz (der bei den Geologen neuerdings wieder zu größerer Anerkennung zu kommen scheint) hat BUNSEN offenbar besonderen Wert gelegt, denn er trug ihn noch Jahrzehnte später in der Vorlesung vor. Noch im Jahre 1868 wendete er seine Aufmerksamkeit einer verwandten Hypothese zu, welche von TSCHERMAK über die Konstitution der Kalk—Natron—Feldspate aufgestellt worden war und diese als isomorphe Mischungen von Anorthit,  $\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}$ , mit Albit,  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$ , betrachtet. Um diese „für die Kenntnis der plutonischen Gesteine höchst wichtige Frage“ einer Entscheidung zuzuführen, findet BUNSEN es erforderlich „die weitläufigen numerischen Rechnungen auf eine einfachere und exaktere Form zu bringen, damit das überreiche Material an vorhandenen Analysen mit der TSCHERMAK'schen Theorie nach einer strengeren Methode verglichen werden könne.“ Er giebt die bezüglichen Gleichungen und eine Tabelle, mit deren Hilfe für jedes Mischungsverhältnis die theoretische Zusammensetzung leicht durch Interpolation gefunden werden kann.<sup>2</sup>

Diese chemisch-geologischen Arbeiten sind heute wohl der Mehrzahl der Chemiker so gut wie unbekannt und doch verdienen sie

---

<sup>1</sup> *Pogg. Ann.* **83**, 197—272.

<sup>2</sup> *Lieb. Ann.* Supplb. 6.

mit Aufmerksamkeit gelesen zu werden, da sie auch heute noch vorbildlichen und allgemeinen Wert haben.

Schon im Jahre 1838 führte BUNSEN eine höchst wichtige Untersuchung über die Gase der Eisenhochöfen<sup>1</sup> aus (an dem Ofen zu Veckerhagen in Kurhessen), indem er mit den Gichten ein eisernes Ableitungsrohr niedersinken liefs und so allmählich aus den verschiedenen Tiefen Gasproben zur Analyse gewann. Das bedeutendste Ergebnis war dieses, dafs in den Gasen welche unverbrannt entweichen oder an der Krone des Ofens nutzlos verbrennen, von dem gesamten Heizwert der verwendeten Kohlen etwa 75 % verloren gehen, davon 50 in der Verbrennungswärme der Gase (besonders des Kohlenoxyds) und weitere 25 in ihrem Wärmeinhalt. Eine Fortsetzung fand diese Arbeit in der „Untersuchung über den Prozeß der englischen Roheisenbereitung“,<sup>2</sup> welche BUNSEN mit PLAYFAIR 1847 auf Einladung der „British association for the advancement of science“ durchführte. Abgesehen von manchen anderen Abweichungen unterschieden sich die englischen Öfen von dem hessischen, der mit Holzkohle betrieben wurde, dadurch, dafs Steinkohlen (nicht Koks!) zur Verwendung kamen, deren Destillationsprodukte sich den Gasen beimischten und erst in gröfseren Höhen verbrannten. Dadurch wurden die Gasanalysen wesentlich kompliziert und erforderten eine weitere Ausbildung der Methoden. Hier ergab sich der Verlust an Brennwert zu mehr als 80 % von dem der Kohlen. BUNSEN zeigt (schon in seiner ersten Arbeit), dafs derselbe zu einem grofsen Teil mit Leichtigkeit nutzbar gemacht werden kann, wenn die Gase aus dem oberen Teil des Ofens durch einen ringförmigen Kanal abgeleitet werden, aus dem sie immer noch mit ausreichender Pressung entweichen, um dann (etwa unter einem Dampfkessel) verbrannt zu werden. Er stellt auch sogleich eine Rechnung an, ob es vorteilhafter sei, das Gas heifs zu verwenden, wobei dann aber der zur Verbrennungswärme nichts beitragende Wasserdampf mitgeschleppt werden mufs, oder es zunächst von diesem durch Abkühlung zu befreien und so ein konzentrierteres Heizgas zu gewinnen; der Kalkül entscheidet für das letztere. — Erwähnenswert ist noch, dafs in den englischen Öfen die Bildung grofser Massen von Cyankalium beobachtet wurde und dafs aus diesem Anlafs zum ersten Mal der Nachweis geführt wird, dafs hierzu die Anwesenheit von

---

<sup>1</sup> *Pogg. Ann.* 45, 46, 50.

<sup>2</sup> *Journ. pr. Chem.* 42.

Ammoniak keineswegs erforderlich ist, vielmehr reines Stickstoffgas durch ein glühendes Gemenge von Kohle und kohlen-saurem Kali sogar vollständig absorbiert wird. Die Verfasser sind geneigt, dem Cyankalium eine wichtige Rolle bei der Reduktion der Eisenerze im Hochofen zuzuweisen, indem es in Cyanat übergeht, dieses mit Wasserdampf Karbonat giebt und aus letzterem immer wieder das Cyanid regeneriert wird.

Die Untersuchung, über die soeben referiert wurde, hat nicht nur zu bedeutender Ersparnis in der Eisenverhüttung geführt (die sich natürlich das Ergebnis sogleich zu nutze machte), sondern man darf auch sagen, daß sie zu einem außerordentlich wichtigen Fortschritt der ganzen Feuertechnik den ersten Anstoß gegeben hat, nämlich zur Einführung der Generatorgase, welche, eigens durch unvollständige Verbrennung der Kohlen erzeugt, eine sehr umfangreiche, aschenfreie, genau regulierbare, nach Wunsch oxydierende oder reduzierende Flamme herzustellen erlauben.

Noch habe ich nicht über BUNSEN's erste große Arbeit<sup>1</sup> berichtet, welche ihn während der Jahre 1837—1843 neben seinen gasanalytischen Untersuchungen beschäftigte. Sie ist der einzige, aber um so bedeutsamere Beitrag, welchen er zur organischen Chemie beigetragen hat. Sie geht aus von der sogenannten CADET'schen Flüssigkeit, welche durch Destillation von essigsäurem Kali mit arseniger Säure erhalten wird und welche er als im wesentlichen aus dem Oxyd eines von ihm als Kakodyl bezeichneten Radikals  $Kd = As_2C_4H_{12}$  bestehend erkannte. Aus derselben wurde das Chlorid, das schön krystallisierende Cyanid und andere Verbindungen dargestellt, endlich aus dem Chlorid durch Reduktion mittelst Zink im zugeschmolzenen Rohr das freie Radikal, ein selbstentzündliches Öl. Das Kakodyloxyd geht durch Oxydation an der Luft, besser durch Quecksilberoxyd in Kakodylsäure,  $KdO_3 + H_2O$ , über.

[Den inneren Bau des Radikals zu ergründen hat BUNSEN nicht versucht, es ist das erst späteren Forschern gelungen, welche nachgewiesen haben, daß es als eine Vereinigung von Arsen mit Methyl zu betrachten und als  $As(CH_3)_2$  zu formulieren ist, also gleich der Hälfte von BUNSEN's Kakodyl Kd. Nachdem FRANKLAND in seinen Untersuchungen über metallorganische Verbindungen diese Konstitution als höchstwahrscheinlich hingestellt hatte, erzeugten synthetisch, nämlich durch Einwirkung der Jodverbindungen auf Arsen-

<sup>1</sup> *Pogg. Ann.* 40 u. 42. *Lieb. Ann.* 37, 42, 46.

natrium zunächst LANDOLT 1853 die analoge Äthylverbindung, sodann CAHOURS und RICHE auch das eigentliche Kakodyl.]

Die Untersuchung bot ganz außerordentliche Schwierigkeiten und stellte an Geschicklichkeit wie an Opferwilligkeit des Experimentators die höchsten Anforderungen, da die Substanzen die Berührung mit der Luft nicht ohne Veränderung ertragen, ferner aber sämtlich einen furchtbaren Geruch besitzen und so giftig, dabei zum Teil so flüchtig sind, daß mit manchen von ihnen nur im Freien gearbeitet werden konnte, während das Gesicht mit einer Maske bedeckt war und die Luft durch ein langes Rohr eingeatmet wurde. — Die Arbeit hat große historische Bedeutung, indem sie nächst dem Cyan GAY-LUSSAC's (1815), das man aber damals noch den unorganischen Substanzen zuzählte, und den Benzoylverbindungen von LIEBIG und WOEHLER (1832) das erste weitere Beispiel eines „organischen Radikals“ kennen lehrte, d. h. einer Atomgruppe, die wie ein Element durch eine Anzahl von Verbindungen unverändert hindurchgeführt werden kann. BUNSEN spricht auch bereits die Hoffnung aus, daß es gelingen werde, in gleicher Weise wie das Kakodyl auch „die Radikale der Ätherarten“ aus ihren Chlorverbindungen durch Metalle zu reduzieren — eine Hoffnung, welche bald darauf durch die von FRANKLAND ausgeführte und 1849 in seiner Marburger Inauguraldissertation beschriebene Isolierung des Äthyls erfüllt wurde. — Das Kakodyl genügt den drei Forderungen, welche nach Meinung BUNSEN's an ein organisches Radikal gestellt werden müssen und welche freilich heute nicht mehr aufrecht erhalten werden können: „es läßt sich isolieren, es gestattet die Rückbildung seiner Verbindungen auf direktem Wege, und es besitzt genau die Dichtigkeit, welche es besitzen muß, wenn die Kondensationsgesetze der anorganischen Elemente auch für die organischen gültig sein sollen.“ Den zweivolumigen  $H_2O$  und  $H_2$  entsprechen  $KdO$  und  $Kd$  ( $Kd = As_2C_4H_{12}$ ), dem viervolumigen  $H_2Cl_2$ , wie BUNSEN den Chlorwasserstoff schreibt, das ebenfalls viervolumige (heute von uns halbirte)  $KdCl_2$ . Offenbar erwartet er auch für das zu isolierende Methyl ein dem Methyloxyd gleiches Volum, also die Molekel  $C_2H_6$ , wie es sich bestätigt hat.

Der Leser ist überrascht, in dieser frühesten Arbeit BUNSEN's denselben Atomgewichten<sup>1</sup> zu begegnen, welche wir heute für die richtigen halten, während er in späterer Zeit sich der von uns so

<sup>1</sup> Eigentlich O = 100, H = 6.24 etc.

genannten alten Atomgewichte  $O = 8$  u. s. w. bediente und das Wasser  $HO$  schrieb in Übereinstimmung mit den Beschlüssen des internationalen Chemiker-Kongresses, der 1860 in Karlsruhe tagte — Beschlüsse, welche sicherlich durch seine Meinung sehr wesentlich werden mitbestimmt worden sein. Und was damit zusammenhängt: er hat später wohl den Volumverhältnissen der Gase geringeren Werth beigemessen, als es hier geschieht; wenigstens pflegte er dieselben und die Beziehung zwischen Atomen und Molekeln in der Vorlesung ganz kurz abzuthun. Vermutlich erschien es ihm wichtiger, in den Formeln den elektrolytischen Äquivalenten Rechnung zu tragen.

Von der organischen Chemie hat BUNSEN bekanntlich nach dieser einzigen Arbeit über das Kakodyl sich vollständig abgewendet, um seine ganze gewaltige Arbeitskraft dem unorganischen Teil dieser Wissenschaft zu widmen. So erwarb er auf diesem Gebiete eine fast beispiellose Erfahrung und Praxis, welche seine Publikationen zwar erraten lassen, aber doch noch keineswegs zu vollem Ausdruck bringen. Es giebt wohl kaum ein Element, mit dessen Verbindungen er sich nicht persönlich aufs genaueste vertraut gemacht hätte, und gerade denjenigen Elementen wendete er das grösste Interesse zu, welche am schwersten zugänglich sind und der Trennung von nahe verwandten die grössten Schwierigkeiten bereiten. So beschäftigte er sich eingehend mit der Sonderung der Platinmetalle, ferner der Cerit- und Gadolinit-Erden, worüber Abhandlungen von ihm und seinen Schülern vorliegen. Sein Verdienst auf diesem Gebiet beruhte nicht blofs auf seiner besonderen Befähigung, sondern auch auf der fortwährenden gewissenhaften Selbstkontrolle und Prüfung aller Versuchsbedingungen, zu der er auch seine Schüler zu erziehen beständig bemüht war.<sup>1</sup> Neben H. ROSE war er der grösste und jedenfalls der am meisten schöpferische Analytiker seiner Zeit. Von seiner unvergleichlichen Spektralanalyse wird später noch zu sprechen sein; hier mag erinnert werden an die jedem Chemiker bekannte „volumetrische Methode von sehr allgemeiner Anwendbarkeit“, d. i. die Jodometrie;<sup>2</sup> an die Tren-

---

<sup>1</sup> So hielt er bei Silikatanalysen streng darauf, daß aus der Kieselsäure die geringen Mengen beigemischter Metalloxyde abgeschieden und von einander getrennt und ebenso in den niedergeschlagenen Oxyden die Spuren von Kieselsäure bestimmt würden, wobei man auch über den Verbleib der Filteraschen sich nach Möglichkeit Rechenschaft geben mußte.

<sup>2</sup> *Lieb. Ann.* 86,



nung von Antimon und Arsen;<sup>1</sup> an seine Anleitung zur Analyse der Aschen und Mineralwässer,<sup>2</sup> welche zum Teil durch den von der Regierung ihm erteilten Auftrag, die sämtlichen badischen Mineralwässer zu analysieren, veranlaßt worden ist.<sup>3</sup> Verweilen wir noch bei seinen wundervollen „Flammenreaktionen“,<sup>4</sup> welche eine sehr verfeinerte Fortbildung der Lötrohrtechnik darstellen und an Schärfe der Spektralanalyse nahe kommen, indem sie erlauben, noch mit Bruchteilen eines Milligramms die Substanz durch eine Reihe von charakteristischen Reaktionen zu identifizieren. Wird z. B. ein wenig einer Wismutverbindung an einem Asbestfaden in die Spitze einer schwach leuchtend gemachten Bunsenflamme, deren „Reduktionsraum“ gebracht und eine Porzellanschale dicht darüber gehalten, so bedeckt sich diese mit einem schwarzen Beschlag von Wismutmetall; hält man dagegen die Schale etwas höher in den „Oxydationsraum“, so oxydieren sich die Metaldämpfe in der Flamme und man erhält einen weißen Oxydbeschlag. Dieser, mit Zinnchlorür und Natronlauge befeuchtet, färbt sich schwarz; setzt man die Schale den Dämpfen von Jodwasserstoff aus, so geht der Oxydbeschlag in den sehr charakteristisch gefärbten Jodidbeschlag über, welcher, mit Ammoniak angeblasen eine eigelbe Farbe annimmt, durch Schwefelammonium aber in das schwarzbraune Sulfid verwandelt wird. Oder: eine Eisenverbindung mit etwas Soda im „Kohlenstäbchen“ in die Reduktionsflamme gebracht, giebt nach Zerreiben der Probe mit Wasser duktile, metallglänzende Flitterchen; diese, an einer magnetischen Messerklinge gesammelt, auf ein winziges Papierstückchen abgestrichen und mit Königswasser betropft, hinterlassen nach Erwärmen über der Flamme einen gelben Fleck, der durch Blutlaugensalz tiefblau gefärbt wird.

Allbekannt ist es, daß BUNSEN die Einrichtung der Laboratorien um mehrere Apparate von solcher Wichtigkeit bereichert hat, daß wir uns heute ein Arbeiten ohne dieselben schon gar nicht mehr denken können. Obenan steht der „Bunsen-Brenner“. Als die Verwendung des Leuchtgases sich ausbreitete, erwies es sich für Heizzwecke statt des bisher üblichen Spiritus kaum brauchbar, weil seine leuchtende Flamme die Gefäße mit Ruß beschlägt;

<sup>1</sup> *Lieb. Ann.* 192.

<sup>2</sup> Heidelberg 1874.

<sup>3</sup> An das Verdienst, welches er sich hierdurch erworben hat, erinnert BUNSEN'S Medaillonbüste an dem Friedrichsbad zu Baden-Baden.

<sup>4</sup> *Lieb. Ann.* 138.

die klare Einsicht in die Gesetze der Verbrennung, welche BUNSEN bei seinen gasanalytischen Untersuchungen sich erworben hatte, liefs ihn erkennen, dafs es möglich sei, dem Gas Luft beizumischen, ohne dafs das Gemisch explosiv wird, und so eine sehr heifse, nicht leuchtende noch rufsende Flamme zu erzeugen; aber es bedurfte noch einer langen Reihe von Versuchen, bis die vollendete Form der Lampe gefunden war. — Und nur die älteren von uns, welche noch ohne die Wasserluftpumpe gearbeitet und mit dem Auswaschen voluminöser, schleimiger, die Filter verstopfender Niederschläge ihre Not gehabt haben, können ganz ermessen, welchen unschätzbaren Gewinn an Zeitersparnis dieser Apparat dem Analytiker gebracht hat, neben welchem auch die Erhöhung der Genauigkeit keineswegs gering anzuschlagen ist, welche durch die Verminderung der Waschwässer bedingt wird. Die eigentlich zu überwindende Schwierigkeit war die, dem Filter die erforderliche Widerstandsfähigkeit zu geben, und sie ist durch den Platinkonus in denkbar einfachster und vollkommenster Weise gelöst worden. Der zur Erzeugung des Vakuums dienende Apparat selbst hat später bekanntlich durch Einführung der Wasserstrahlpumpe eine Vervollkommnung erfahren und findet eine zweite, nicht weniger wichtige Verwendung bei Destillationen unter vermindertem Druck.

Schon in seiner Marburger Zeit konstruierte BUNSEN ein neues galvanisches Element, indem er in dem GROVE'schen Element das teure Platin durch Kohle ersetzte, welche er in geeigneter Form zu bringen lehrte. Damit war für lange Jahre, bis zur Einführung der Dynamomaschinen und Akkumulatoren, diejenige Batterie gegeben, durch welche kräftige elektrische Ströme am vorteilhaftesten erzeugt werden konnten. Auferordentlich lästig aber blieb zumal für wiederholten kürzeren Gebrauch, wie er in den chemischen Laboratorien häufig vorkommt, die Notwendigkeit, die Elemente immer wieder aus einander zu nehmen und die Thonzellen zu reinigen. Dieses veranlafste ihn, letztere ganz zu beseitigen, wie es in seiner so überaus bequemen Chromsäure-Tauchbatterie geschehen ist, welche zugleich den wichtigen Vorzug besitzt, von der Entwicklung saurer Dämpfe gänzlich frei zu sein. Auch eine Thermokette von hoher elektromotorischer Kraft hat er durch Kombination von Kupferkies mit metallischem Kupfer hergestellt. — Neben diesen unschätzbaren Laboratoriums-Apparaten verdienen noch Erwähnung seine Klemmschraube, sein luftdichter Kautschukverschluss und manches andere, worüber der Katalog der eben durch

die Herstellung der BUNSEN'schen Apparate weltbekannt gewordenen Heidelberger Firma DESAGA den besten Überblick gewährt.

Viel hat BUNSEN sich nach dem Vorgange DAVY's mit der elektrolytischen Abscheidung der Metalle aus ihren Verbindungen beschäftigt. So gewann er zuert das Magnesium, Lithium und Aluminium aus ihren geschmolzenen Chloriden und ferner aus den wässerigen Lösungen der Chloride das Mangan und Chrom im reinen Zustande, das Baryum und Calcium, sowie die von ihm neu entdeckten Metalle Cäsium und Rubidium in Gestalt ihrer Amalgame. Dafs die Technik einmal das Aluminium auf elektrolytischem Wege darstellen würde, hat er lange vorausgesehen; die einzige Vorbedingung, welche dafür zunächst noch fehlte, war die Beschaffung der kräftigen elektrischen Ströme, über welche erst die Neuzeit verfügt.

Besondere Vorliebe hat BUNSEN von Anbeginn bis fast zum Schluß seines Lebens für das Studium der Gase bethätigt, also derjenigen Klasse von Körpern, welche der Handhabung und zumal der quantitativen Untersuchung die größte Schwierigkeit bereitet und die höchste Feinheit der Methoden erfordert. Zu welchen bedeutungsvollen Erfolgen die Ausbildung der letzteren ihn geführt hat, darauf hinzuweisen bot schon die Besprechung seiner geologischen und hüttenmännischen Arbeiten Gelegenheit. Auch das Leuchtgas, die bei der Explosion des Schiefspulvers wie die bei der Zersetzung organischer Substanzen entstehenden Gase und andere zog er in den Bereich der Untersuchung; und die Gasanalyse wurde ein regelmässiger Gegenstand seines Laboratorium-Unterrichts. Seine Studien hat er in den „Gasometrischen Methoden“ zusammengefaßt, welche 1857, dann unter Berücksichtigung seiner neueren Forschungen in erweiterter Ausgabe 1877 erschienen. Dieselben sind eines der klassischen Werke der Chemie, ein ziemlich kleines, aber in seiner knappen Fassung erstaunlich inhaltreiches Buch. Gleich das erste Kapitel, welches von der Aufsammlung der Gase handelt, ist ebenso interessant als lehrreich. Es zeigt uns, wie die Vorrichtungen jedesmal den so außerordentlich wechselnden Bedingungen des einzelnen Falles angepaßt werden müssen; der Verfasser führt uns an den Brunnenschacht einer Mineralquelle, dann wieder auf die öden Solfatarenfelder Islands und zeigt uns, wie man in Sturm und Regen im improvisierten Schutze eines Reiseplaids die kostbare Gasprobe im Glasrohr einschmelzen möge, oder lehrt uns, aus den glühenden Schichten des Eisenhochofens die Gase ab-

zusaugen und zur Untersuchung zu bringen. Darauf folgt die Arbeit im Laboratorium: zunächst die Einrichtungen des Arbeitsraumes, die Meßgefäße, deren Kalibrierung und Handhabung. — Das zweite Kapitel bringt sodann die eudiometrische Analyse. Es sind zwei Aufgaben, um die sich's handeln kann. Entweder liegt ein einheitliches Gas von unbekannter Zusammensetzung vor; in diesem werden die vier Elemente C, H, O, N vorausgesetzt und ihr Verhältnis zu einander ist zu bestimmen. Oder (der bei weitem häufigere Fall) Gase von bekannter Natur sind mit einander gemischt und ihre relative Menge soll bestimmt werden. Das Prinzip, auf welchem die Lösung der Aufgabe in beiden Fällen beruht, kann kurz dahin ausgesprochen werden: es handelt sich darum, so viele Gleichungen zu beschaffen, als unbekannte Größen vorhanden sind. Deren arithmetische Auflösung hat BUNSEN sowohl prinzipiell und allgemein, als auch vereinfacht für speziellere Fälle gegeben. Die erste Gleichung bietet das anfängliche Volumen. Sodann wird, wenn die brennbaren Gase vorwiegen, ein gemessener Überschuss von Sauerstoff — wenn hingegen der Sauerstoff überwiegt, ein solcher von Wasserstoff zugelassen und verpufft; die eintretende Kontraktion (unter Verdichtung des entstandenen Wassers) giebt eine zweite Gleichung. Die dritte liefert das Volum der erzeugten Kohlensäure, welche durch Ätzkali absorbiert wird; eine vierte das Volum des Wasserdampfes, welches nach Erhitzung des Rohres über  $100^{\circ}$  gemessen werden kann (die wenigst genaue und meistens entbehrliche Bestimmung). Um eine fünfte Gleichung zu gewinnen, ermittelt man, wieviel Sauerstoff nach der Verpuffung übrig geblieben ist, indem man nun einen Überschuss von Wasserstoff eintreten läßt und nochmals verpufft: der Sauerstoff verschwindet nebst seinem doppelten Volum Wasserstoff. — Sind, wie im Leuchtgas, Äthylen und andere „schwere Kohlenwasserstoffe“ vorhanden, so werden diese zusammen durch rauchende Schwefelsäure im Absorptionsrohr fortgenommen, die Volumverminderung gemessen und dann erst das Gas ins Eudiometer übergefüllt; eine weitere Reihe von Gleichungen kann aber auch gewonnen werden, indem man die obigen Operationen mit einer zweiten Gasprobe ausführt, ohne die schweren Kohlenwasserstoffe zuvor zu entfernen. Als Beispiel dient eine Leuchtgas-Analyse, bei welcher neun Komponenten neben einander bestimmt wurden.

Dieses ist das Programm; bei seiner Umsetzung in die That war noch eine Fülle sorgsamster Arbeit erforderlich, um befriedi-

gende Genauigkeit zu erreichen. Liegt die Zusammensetzung des zur Explosion gebrachten Gasgemisches der Grenze seiner Entzündlichkeit gar zu nahe, so geschieht es leicht, daß die Verbrennung unvollständig bleibt; um ihr aufzuhelfen, muß dann elektrolytisches Knallgas zugesetzt werden. Ist im Gegenteil die Explosion sehr lebhaft, so kann ein anderer Fehler eintreten, indem vorhandener Stickstoff zum Teil zu Salpetersäure oxydiert wird; um dem vorzubeugen, muß die Verbrennung durch Verdünnung mit Luft gemildert werden. — Das Volum der Gase wird durch wechselnden Feuchtigkeitsgrad merklich verändert. Um von ihm unabhängig zu sein, sorgt BUNSEN (wo es zulässig ist) durch Einbringen eines Tröpfchens Wasser von vornherein dafür, daß das Gas mit Feuchtigkeit gesättigt sei; in anderen Fällen wird es durch eine Kalikugel getrocknet. Die Anwendung dieser an einem Draht angeschmolzenen Kugeln, welche vor der Ablesung wieder entfernt werden, auch als Absorptionsmittel an Stelle der früher üblichen Flüssigkeiten war eine wesentliche Verbesserung.

Durch das BUNSEN'sche Werk hat die Gasanalyse — früher eine der schwierigsten chemischen Operationen — einen so hohen Grad von Sicherheit erlangt, wie wenige andere, und ist zu einer verhältnismäßig leichten Aufgabe geworden.

Der dritte Abschnitt handelt von dem spezifischen Gewicht der Gase und beruht zu seinem größeren Teil auf einer Arbeit,<sup>1</sup> welche BUNSEN im Jahre 1866 ausgeführt hat. Darin weist er auf die Unsicherheit hin, welche dadurch entsteht, daß die Korrektion auf den luftleeren Raum für den Ballon viel größer ist, als für das Gewichtstück auf der anderen Wagschale, und veränderlich mit Temperatur und Feuchtigkeitsgrad der Luft. Er umgeht diese Korrektion ganz, indem er als Gegengewicht einen luftleeren Ballon anwendet, dessen Gewicht und inneres Volum er (dureh hineingeworfene Glasstäbchen) genau gleich und dessen äußeres Volum er nahezu gleich zu machen lehrt, wie bei dem, welcher das Gas enthält. Die Methode wird auch auf die Bestimmung von Dampfdichten ausgedehnt unter Benutzung eines ingeniosen Heizapparates für sehr konstante Temperaturen. Auch findet sich darin eine wichtige Anweisung, wie bei Wägungen der höchste Grad von Genauigkeit zu erreichen sei durch Ablesung der bei den Schwingungen der Wage allmählich abnehmenden Ausschläge. — Es folgt ein

---

<sup>1</sup> *Lieb. Ann.* 141.

Verfahren, das spezifische Gewicht von Gasen durch die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher es aus einer sehr engen Öffnung ausströmt, das den Vorzug besitzt, auch da noch hinlänglich angenäherte Resultate zu geben, wo nur 30—40 ccm Gas zur Verfügung stehen.

Der vierte Abschnitt behandelt die Absorptionserscheinungen der Gase. Für 15 Gase wurden mittels eines geeigneten Apparates die „Absorptionskoeffizienten“ gegenüber Wasser, meistens auch Alkohol, bei verschiedenen Temperaturen bestimmt, und es wurde die Gültigkeit des HENRY'schen Gesetzes mit größerer Präzision nachgewiesen, als bis dahin geschehen war, — besonders auch für Gasgemische, wonach also die absorbierte Menge jedes Gases dem „partiären Druck“ proportional ist, mit welchem dieses an dem Gesamtdruck sich beteiligt. Weiter wird gezeigt, wie die Analyse eines Gasgemisches (bei bekannten Absorptionskoeffizienten seiner Bestandteile) durch bloße Anwendung des Absorptiometers ohne jede chemische Operation ausgeführt werden und wie dieses Verfahren sogar über die qualitative Natur der Gase Aufschluß geben kann. So erlaubt es z. B. zu unterscheiden zwischen Grubengas  $\text{CH}_4$  und der damit gleich zusammengesetzten Mischung gleicher Volume Wasserstoff und Methyl,  $\text{H}_2 + \text{C}_2\text{H}_6$ , und stellt somit eine wichtige Ergänzung zur eudiometrischen Analyse dar, welche hier versagt. Einen anderen Weg, um über die Einheitlichkeit eines Gases zu entscheiden, bietet seine Diffusion durch einen porösen Pfropf (Abschn. 5), welcher von spezifisch leichteren Gasen schneller durchströmt wird und so die partielle Zerlegung eines Gemenges bewirkt.

Den Schluß des Werkes bilden Untersuchungen über die Verbrennung der Gase, von denen ein Teil zu BUNSEN's frühesten Studien gehört und schon bei der Eudiometrie und bei der Arbeit über den Hochofen verwertet wurde. Anderes muß hier übergangen werden. Einer besonderen Besprechung bedarf dagegen noch die sehr wichtige Untersuchung über die Temperatur der Flammen, welche erst im Jahre 1866<sup>1</sup> ausgeführt und im Abriss in die 2. Auflage der Gasometr. Meth. aufgenommen wurde. Die Temperatur (speziell etwa der Wasserstoffflamme) berechnet sich aus der Verbrennungswärme zu vielen tausend Graden, und so nahm man ähnliche hohe Werte früher für die Schmelzöfen der Glashütten, Eisenhütten u. s. w.

<sup>1</sup> Pogg. Ann. 131.

allgemein an. Eine direkte Prüfung durch den Versuch schien fast unbesiegbliche Schwierigkeiten zu bieten. Natürlich ist die Temperatur höchst ungleich in den verschiedenen Regionen einer gewöhnlichen Flamme; BUNSEN setzt also an deren Stelle die Verpuffung von Knallgas in einen geschlossenen Eudiometer, und um die Verbrennung ganz gleichmäfsig und momentan sich vollziehen zu lassen, giebt er ihm kleine Dimensionen und läfst den Funken der Länge nach hindurchschlagen. Wie aber ist die Temperatur zu messen? Sie ergibt sich ohne weiteres aus dem bei der Verpuffung eintretenden Druck, und dieser wird durch eine überaus einfache Vorrichtung gemessen (ein Laufgewicht auf einem Hebel verschiebbar, das den verschleifenden Stopfen beschwerend eben noch emporgeschleudert wird). Da ergab sich nun das überraschende Resultat, dafs selbst die Hitze der Knallgasflamme noch nicht  $3000^{\circ}$  erreicht; wird der Sauerstoff durch Luft ersetzt, so reduziert sich die Temperatur auf  $2000^{\circ}$ . Die Ursache erkennt BUNSEN sofort darin, dafs die bei der früheren Berechnung gemachte Voraussetzung, dafs die Verbrennung der gesamten Gasmasse gleichzeitig und momentan erfolge, nicht zutrifft; vielmehr könne Wasser bei  $3000^{\circ}$  und darüber nicht mehr ganz unzersetzt bestehen, ebensowenig ohne Rest entstehen. Die Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff schreitet zunächst nur soweit fort, bis diese Temperatur erreicht ist, und vollendet sich ohne weitere Steigerung derselben erst in dem Masse, als Wärme an die Gefäfswand abgegeben wird. Mittels einer rotierenden stroboskopischen Scheibe gelingt es dann auch den Nachweis zu führen, dafs die Explosion sich über einen sehr wohl mefsbaren Bruchteil einer Sekunde erstreckt, und es fanden sich Andeutungen dafür, dafs sie (ähnlich der Entladung einer Leydener Flasche) nicht kontinuierlich, sondern in einer Reihe von Teilexplosionen verläuft. Weitere Einzelheiten möge man im Original nachlesen. Die ganze Untersuchung ist ein Muster dafür, wie eine anscheinend höchst schwierige Aufgabe ebenso einfach als sicher mit vollendeter Umsicht und unter Beachtung aller Kautelen gelöst wurde. — Gelegentlich dieser Arbeit wurde auch die Geschwindigkeit gemessen, mit welcher die Entzündung sich in dem explosiven Gasgemisch fortpflanzt; sie beträgt für Knallgas 34 Meter in der Sekunde, für Kohlenoxydknallgas auffallenderweise nur 1 Meter.

Eine letzte auf Gase bezügliche Arbeit brachten noch die Jahre 1883—1884; sie handelt von der Verdichtung der Kohlensäure an Glasflächen und hat zu sehr merkwürdigen und über-

raschenden Resultaten geführt.<sup>1</sup> Um dem Gase, das in einem Rohr über Quecksilber abgesperrt war, eine möglichst große Oberfläche darzubieten, befand sich in demselben eine Menge feiner Glasfäden (bei einem Versuche 50 Gramm, deren Oberfläche mehr als  $4\frac{1}{2}$  Quadratmeter betrug). Es zeigte sich, daß die anfangs schneller, dann immer langsamer fortschreitende Verdichtung der Kohlensäure (welche am Stande des Quecksilbers gemessen wurde) einen sehr hohen Betrag erreichte und selbst nach dem Verlauf von Jahren noch nicht zu gänzlichem Stillstand kam. Der naheliegende Verdacht, daß die Kohlensäure unter Zersetzung des Glases chemisch gebunden werde, fand seine vollständige Widerlegung dadurch, daß dieselbe durch Erhitzung auf  $500^{\circ}$  ausgetrieben und in Substanz wiedergewonnen werden konnte. Vielmehr ist die Erscheinung durch eine sehr dünne Wasserschicht verursacht, welche von der Glasfläche außerordentlich fest zurückgehalten wird und erst bei der eben genannten hohen Temperatur gänzlich fortgetrieben werden kann. Als wirksame Kraft muß der Kapillardruck betrachtet werden; derselbe ist desto größer, je geringer die Dicke der Wasserschicht ist, und dementsprechend wächst in gleichem Maße die von der Gewichtseinheit Wasser aufgenommene Kohlensäure.<sup>2</sup> In einem Versuche berechnete sich, daß die adsorbierte Flüssigkeit auf 1 Gewichtsteil Wasser nicht weniger als 4 Gewichtsteile Kohlensäure enthielt, welche letztere in Gasform das 2000fache Volum des Wassers einnehmen würde. Das deutet auf eine ungeheure Größe des Kapillardruckes, und es begreift sich, daß neben diesen mächtigen Schwankungen des äußeren Gasdruckes sowohl als der Temperatur ohne jeden merklichen Einfluß sind.

Wir haben bereits mehrere rein physikalische Untersuchungen BUNSEN'S kennen gelernt, es bleiben deren aber noch weitere zu besprechen.

Im Jahre 1850 hatte J. THOMSON aus der mechanischen Wärmetheorie den Satz abgeleitet, daß Steigerung des Druckes den Schmelzpunkt solcher Substanzen erniedrigt, welche beim Schmelzen ihr Volum verringern, ihn dagegen erhöht, wenn die Substanz im festen Zustand ein kleineres Volum einnimmt, als im flüssigen; und

<sup>1</sup> *Wied. Ann.* 20, 22, 24.

<sup>2</sup> Das war keineswegs vorauszusehen, denn wenn sonst die adsorbierte Gasmenge mit Zunahme des Druckes wächst, so geht dieser parallel eine Zunahme der Dichtigkeit des Gases und ist das eigentlich Entscheidende.



sein Bruder W. THOMSON hatte den ersten Teil des Satzes am Wasser experimentell bestätigt. Es war ein glückliches Zusammentreffen, daß gleichzeitig auch BUNSEN,<sup>1</sup> ausgehend von geologischen Fragen, eine Untersuchung über die Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Drucke unternahm und dabei (er experimentierte mit Walrat und Paraffin) die ersten Thatsachen entdeckte, welche einen Beleg für den zweiten Teil des Satzes darstellen. Er zog aus seinen Beobachtungen den Schluß, daß bei dem ungeheueren Druck, unter welchem die Bildung der plutonischen Gesteine stattgefunden hat, die Erstarrung der einzelnen Bestandteile in einer von der ihrer Schmelzpunkte wesentlich abweichenden Reihenfolge vor sich gegangen sein kann, und das um so mehr, als sie nicht aus einer einheitlichen Schmelze, sondern aus ihrer gegenseitigen Lösung sich abscheiden mußten (wie aus einer Salzlösung Eis trotz seines so viel niedrigeren Schmelzpunktes vor dem Salze auskrystallisiert).

1870 konstruierte BUNSEN sein Eiskalorimeter<sup>2</sup> für Bestimmung von spezifischen Wärmen, dessen wesentlicher Zweck ist, mit viel kleineren Substanzen auszukommen, als sonst erforderlich sind, wodurch es sich für seltene Metalle u. dgl. besonders eignet. Die von dem eingesenkten Körper abgegebene Wärme wird gemessen durch die Volumverminderung, welche das durch dieselbe zum Schmelzen gebrachte Eis erfährt und welche durch die Verschiebung eines Quecksilberfadens mit großer Genauigkeit angezeigt wird. Um den Apparat gebrauchen zu können, mußten zuvörderst zwei Konstanten neu bestimmt werden: das spezifische Gewicht des Eises, für welches die Angaben in ziemlich weiten Grenzen schwankten und das von BUNSEN zu 0.91674 ermittelt wurde, und die Schmelzwärme des Eises für welche er den Wert von 80.025 Kalorien fand. Wichtig war die im Verlaufe der Untersuchung ausgeführte Bestimmung der spezifischen Wärme des Indiums, aus welcher sich nach dem DULONG'schen Gesetz der Atomwärmen für dieses Element das Atomgewicht 113.4 berechnet, d. i. das  $\frac{3}{2}$  fache der bis dahin angenommenen Zahl. Dadurch wurde das Indium, welches man bisher zum Zink und Cadmium gestellt hatte, einer ganz anderen Reihe, der des Aluminiums zugewiesen und hat damit erst seinen richtigen Platz in der periodischen Folge der Elemente erhalten. — Später hat das Eiskalorimeter auch zur Bestimmung ganz anderer thermischer Größen, nämlich von Wärme-

---

<sup>1</sup> *Pogg. Ann.* 81.

<sup>2</sup> *Ebenda* 141.

vorgängen im Kreise des galvanischen Stromes, gute Dienste geleistet (H. JAHN).

Noch einmal<sup>1</sup> (1887) hat BUNSEN sich mit der Bestimmung spezifischer Wärmen beschäftigt, und zwar unter Anwendung eines ganz neuen Prinzips; es war die letzte Arbeit des Sechundsiebzigjährigen. Der Körper, dessen Konstante ermittelt werden soll, wird, mittels eines feinen Platindrahtes am Wagebalken befestigt, in trockenen gesättigten Wasserdampf hineingehängt und das Wasser, welches sich an ihm kondensiert, unmittelbar im Dampf gewogen. Sein Gewicht ist proportional der vom Wasserdampf abgegebenen und vom Körper aufgenommenen Wärme, d. i. dessen spezifischer Wärme. Das Verfahren giebt sehr befriedigende Resultate.

Eine hochbedeutende Arbeit wesentlich physikalischen Inhaltes hat BUNSEN schon in den Jahren 1855—1859 in Gemeinschaft mit ROSCOE ausgeführt; es ist das ihre berühmte Untersuchung über die chemische Wirkung des Lichtes.<sup>2</sup> Es ist nicht möglich, dieselbe besser zu charakterisieren, als in folgenden Worten OSTWALD's geschehen: „Man kann nicht anstehen, sie nicht nur als ein klassisches Vorbild, sondern geradezu als das klassische Vorbild für alle späteren experimentellen Arbeiten auf dem Gebiete der physikalischen Chemie zu bezeichnen. Eine gleiche Summe von chemischer, physikalischer und rechnerischer Geschicklichkeit, von Scharfsinn im Ersinnen der Versuche und von Geduld und Ausdauer in ihrer Durchführung, von eingehendster Sorgfalt an jeder kleinsten Erscheinung und ausgiebigstem Weitblick den größten meteorologisch-kosmischen Verhältnissen gegenüber findet sich in keiner anderen wissenschaftlichen Arbeit auf diesen Gebieten wieder“.

Als lichtempfindliche Substanz diente ein elektrolytisch entwickeltes Gemisch gleicher Volumina Wasserstoff und Chlor, welches in einem kleinen gläsernen Gefäße den Strahlen zunächst einer Leuchtgasflamme, später verschiedener anderer Lichtquellen ausgesetzt wurde. Es findet dann eine partielle Vereinigung der beiden Gase zu Chlorwasserstoff statt, und die während einer Minute entstandene Quantität dieser Verbindungen konnte vermöge der Einrichtung des Apparates<sup>3</sup> unmittelbar an einer Skala abgelesen werden. Sie dient als Maß für die „chemische Intensität“ des Lichtes

<sup>1</sup> *Wied. Ann.* 31.

<sup>2</sup> *Pogg. Ann.* 100, 101, 108, 117.

<sup>3</sup> Der Chlorwasserstoff wird von Wasser absorbiert und das Gasvolum vermindert sich.

und es wurde der exakte Nachweis geführt, daß der Gesamteffekt dem Produkt aus der Intensität der Lichtquelle mit der Dauer der Einwirkung proportional ist.

Die chemische Intensität ist von der optischen durchaus verschieden, d. h. das Verhältnis beider ist bei den einzelnen Lichtquellen keineswegs das gleiche. Dagegen wurde durch besondere Versuche erwiesen, daß für beide dieselben Grundgesetze gelten bezüglich ihrer Abnahme mit der Entfernung wie der Schwächung bei der Reflexion und beim Durchgang durch absorbierende Mittel.

Es wurde eine sehr merkwürdige Erscheinung entdeckt, welche die Verfasser als photochemische Induktion bezeichnen. Die Wirkung des Lichtes tritt nicht sogleich mit beginnender Bestrahlung in voller Stärke ein, sondern beginnt langsam und erreicht erst nach einigen Minuten ihr Maximum, es muß also ein „Verbindungswiderstand“ erst durch das Licht allmählich überwunden werden. Eine Erklärung vermag man bisher nicht zu geben. Die Annahme, daß etwa die beiden Gase oder eines von ihnen zunächst in einen allotropen Zustand versetzt würden, in welchem sie der Vereinigung leichter zugänglich wären, wird dadurch widerlegt, daß durch gesonderte Bestrahlung derselben die Induktionszeit nicht abgekürzt wird. Der durch die Belichtung aufgehobene Verbindungswiderstand stellt sich im Dunkeln nicht sofort wieder her, vielmehr geht bei erneuter Bestrahlung die Vereinigung jetzt leichter vor sich. Durch kleine Beimengungen (wenige Tausendstel) fremder Gase wird die photochemische Wirkung außerordentlich herabgedrückt, also ein neuer Verbindungswiderstand eingeführt.

Eine besonders wichtige Frage war es, „ob bei dem Akte der photochemischen Verbindung eine Arbeit geleistet werde, für welche eine äquivalente Menge Licht verschwindet, oder ob es sich dabei gleichsam nur um eine Auslösung handle, welche durch die chemischen Strahlen ohne merklichen Lichtverbrauch vermittelt wird.“ Es zeigte sich, daß eine solche „chemische Extinktion“ mit Energieverbrauch in der That stattfindet.<sup>1</sup>

Ganz hervorragendes Interesse hatte nun die Ausdehnung der Untersuchung auf die chemische Wirkung des Sonnen- und Tageslichtes, da diese für den Pflanzenwuchs große Bedeutung haben

---

<sup>1</sup> Eine ausführlichere Darstellung des bisher besprochenen Teiles der Untersuchung findet sich in OSTWALD'S „Lehrbuch der allgemeinen Chemie“, auf welche hier verwiesen werden darf.

mufs, welcher ja auf chemischen Prozessen beruht und eine Arbeitsleistung darstellt. Um über das Mafs, in welchem die einzelnen Strahlengattungen hierbei beteiligt sind, Aufschluss zu erhalten, wurde mittels eines Quarzprismas (da Glas den wirksamen Teil sehr reichlich absorbiert) ein Spektrum entworfen und das kleine Inso-lationsgefäfs in dessen verschiedene Regionen gebracht; die jedesmal während einer Minute erzeugte Menge Chlorwasserstoff wurde als Ordinate einer Kurve verzeichnet. Diese zeigt, dafs die chemische Intensität des Lichtes der optischen keineswegs parallel geht, sondern für den roten und auch noch für den gelben Teil des Spektrums minimal ist und erst im Blau einen beträchtlichen Wert erreicht, welcher zunimmt im Violett bis zum Ende des sichtbaren Spektrums und sich, langsam abnehmend, noch weit in den unsichtbaren, ultravioletten Teil erstreckt. Wesentlich gleich, wie hier dem Chlorknallgas gegenüber, verhält sich das Licht gegen die Silberpräparate der Photographie, wie teils bereits bekannt war, teils erst durch spätere Arbeiten festgestellt worden ist.

In einer sehr ausgedehnten Untersuchung, welche an Erfindungs-gabe und Ausdauer der Experimentatoren die höchsten Anforderungen stellte, wurde die chemische Intensität des direkten Sonnenlichtes wie des zerstreuten Tageslichtes gemessen. Beide sind in hohem Grade vom Stande der Sonne abhängig. Zur Messung diente anfangs Chlorknallgas, später lichtempfindliches Papier, mit welchem die Operationen sich wesentlich einfacher gestalten. Ihr Gegenstand war zunächst die Licht-masse, welche das ganze Himmelsgewölbe (mit Ausschluss der Sonne) einem horizontalen Flächenstück während einer Minute zu-sendet. Sie hat natürlich nur bei durchaus wolkenlosem Himmel einen bestimmten Wert. Derselbe wächst mit steigender Sonne bis zum Mittag an und nimmt dann bis zum Abend in gleicher Weise wieder ab. Das Gleiche gilt von dem direkten Sonnenlichte, doch steigt und fällt die Kurve hier viel steiler. Je tiefer die Sonne steht, desto länger ist der Weg, welchen ihre Strahlen durch die Atmosphäre zurückzulegen haben, desto gröfser also auch der von dieser ausgelöschte Anteil. Das Gesetz dieser Abhängigkeit wurde ermittelt, und daraus ergab sich, dafs die Sonnenstrahlen auf dem kürzesten Wege, d. h. wenn sie die Atmosphäre bis zum Meeres-niveau in senkrechter Richtung passieren, gegen zwei Drittel ihrer chemischen Kraft durch Extinktion und Zerstreuung in der Atmo-sphäre einbüfsen und nur ein Drittel die Erde wirklich erreicht. Um von dem Einfluss der geographischen Breite eine Vor-

stellung zu gewinnen, wurde für verschiedene Orte die chemische Intensität des direkten Sonnenlichtes für den Tag der Frühlings-Tag- und -Nachtgleiche berechnet. Der Vergleich der hiernach erhaltenen Kurven mit denen für das zerstreute Tageslicht (s. oben) lehrte die merkwürdige Thatsache, „dafs vom Nordpol bis unter die Breite von Petersburg hinab während der ganzen Dauer des Tages die chemischen Wirkungen, welche vom zerstreuten Lichte des Himmelsgewölbes ausgeübt werden, gröfser sind als die Wirkungen des direkt auf die Erde fallenden Sonnenlichtes, und dafs sich selbst in anderen Breiten, zwar nicht während des ganzen Tages, aber doch während einzelner Tagesstunden dieselbe Erscheinung bis zum Äquator hin wiederholt.“ Aus den im Original angeführten Zahlen ersieht man, „dafs die gesamte chemische Kraft, welche gleichzeitig vom Himmelsgewölbe und der Sonne ausgeht, verhältnismäfsig nur wenig mit der geographischen Breite variiert. Der Grund dieser auffallenden Erscheinung liegt in dem grofsen Zerstreungsvermögen der Atmosphäre, welche wie ein Regulator die photochemischen Vorgänge an der Erdoberfläche regelt und die grofsen, von dem Stande der Sonne allein abhängigen Unterschiede in der chemischen Beleuchtung mindert und ausgleicht.“

Es mufs noch erwähnt werden, dafs in diesen Abhandlungen sich auch finden die Beschreibung des Bunsenbrenners und die des BUNSEN'schen Photometers zur Vergleichung der (optischen) Helligkeit zweier Lichtquellen, und dafs ferner von den Verfassern zum ersten Male Magnesiumdraht hergestellt und zur Erzeugung eines Lichtes von hoher chemischer Intensität verwendet wurde. Letztere wurde mit der des Sonnenlichtes verglichen, und es ergab sich ein für das Magnesium noch auferordentlich viel günstigeres Verhältnis, als bei dem Vergleich der optischen Intensitäten, was dann zu seiner Verwendung für photographische Aufnahmen geführt hat.

Es bleibt noch diejenige Entdeckung BUNSEN's zu besprechen, welche den Ruhm seines Namens durch die Welt getragen hat und allein schon genügen würde, ihn unsterblich zu machen: die Spektralanalyse. Eine Entdeckung von ganz unberechenbarer Tragweite, ist sie doch ursprünglich aus bescheidenen Anfängen hervorgegangen, aus dem Bedürfnis des analytischen Chemikers. Bringt man in eine nichtleuchtende Gasflamme ein wenig Natriumsalz, so färbt sie sich intensiv gelb, ebenso rot durch ein Lithiumsalz. Bringt man beides gleichzeitig hinein, so wird die Farbe un-

deutlich; betrachtet man sie nun aber durch ein Prisma, so erblickt man zwei getrennte Flammen, eine gelbe und eine rote, das Lithium kann wieder neben dem Natrium erkannt werden. (So pflegte BUNSEN in der That die Erscheinung in seiner Vorlesung zu zeigen.) Hat man in der Flamme eine andere Substanz, z. B. ein Calciumsalz, das nicht monochromatisches Licht, sondern eine ganze Reihe verschiedenfarbiger und demgemäß verschieden brechbarer Lichtarten aussendet, so greifen die vielen Flammenbilder über einander und das Bild verwirrt sich. Dem wird abgeholfen durch einen dem Prisma vorgesetzten Schirm mit senkrechtem Spalt; so bleibt von jedem Flammenbild, durch den Spalt herausgeschnitten, nur eine schmale Linie übrig. Diese farbigen Linien erscheinen wie über ein horizontales Band verteilt, sie bilden das Spektrum, in welchem die Natriumlinie, die Lithiumlinie, die Calciumlinien ihren unänderlich feststehenden Platz einnehmen. Wir brauchen also von den Verbindungen der genannten Elemente und vieler anderer nur ein Stäubchen in die Flamme zu bringen und diese durch den Spektralapparat zu betrachten, um jene Elemente mit einem Blick zu identifizieren, selbst wenn mehrere neben einander vorhanden sind. Der ungeheuere Gewinn für den Chemiker ist offenbar und wird noch gesteigert durch die beispiellose Empfindlichkeit der Reaktion.

Vereinzelte Beobachtungen dieser Art waren schon seit den zwanziger Jahren des Jahrhunderts von englischen Gelehrten mitgeteilt worden, aber unvollständig und unsystematisch, wie sie waren, wurden sie wenig beachtet und fielen bald der Vergessenheit anheim. So ist die Untersuchung, zu welcher gegen das Jahr 1860<sup>1</sup> die beiden großen Heidelberger Naturforscher, der Chemiker BUNSEN und der Physiker G. KIRCHHOFF, sich in glücklichstem Bunde vereinigten und welche sie schnell zu großen Erfolgen führte, als durchaus original zu betrachten. Sie zuerst stellten die Grundfragen, um welche sich's hier handelt, in klarer Fassung auf und brachten sie in unermüdlicher Arbeit zu allseitiger sicherer Entscheidung. Solche wurde auch erst durch die Vervollkommnung der Hilfsmittel ermöglicht. Nicht nur wendeten sie Prismen von größerem Zerstreungsvermögen an, wie sie zur Auflösung vieler Liniengruppen unerlässlich sind, sondern vor allem: sie machten den Spektral-

---

<sup>1</sup> Die erste gemeinsame Abhandlung ist vom April 1860 datiert. (*Pogg. Ann.* 110), eine frühere KIRCHHOFF'S von 1859.

apparat zu einem Meßinstrument, indem sie ihn mit einer Skala versehen und nun die Linien ein für allemal sicher und genau verzeichnen konnten; und sie fügten das kleine Reflexionsprisma vor dem Spalt hinzu, das sie in den Stand setzte, zwei Spektren unmittelbar mit einander zu vergleichen. Wichtigen Dienst leistete auch der Bunsenbrenner nicht nur durch die höhere Temperatur, sondern auch durch die Reinheit der Flamme, während früher die Verunreinigungen der Dochte die Erscheinungen trübten oder auch leuchtende Flammen zur Verwendung kamen, deren Licht die zarteren Linien überstrahlte.<sup>1</sup> Später hat BUNSEN auch solche Spektren eingehend studiert, welche durch ein ganz anderes Verfahren erhalten werden, nämlich durch den elektrischen Funken, meist indem er diesen zwischen zwei kleinen Kohlenspitzen überschlagen liefs, welche mit der betreffenden Salzlösung durchtränkt waren. Die Temperatur ist hierbei viel höher, als in der Flamme, und infolgedessen treten nicht selten neue Linien zu den bisherigen hinzu und manche Substanzen, besonders Schwermetalle und ihre Verbindungen, geben erst hier ein Spektrum, während die Gasflamme sie nicht hoch genug erhitzte, um ihre Dämpfe überhaupt zum Leuchten zu bringen. — Hingewiesen sei noch auf BUNSEN'S graphische Darstellung der Spektren.<sup>2</sup>

Die Empfindlichkeit der Spektralbeobachtungen übertrifft bekanntlich bei weitem die aller sonstigen chemischen Reaktionen. Den Grad derselben stellte BUNSEN durch besondere Versuche fest, indem er in einer entfernten Ecke des Zimmers kleine gewogene Mengen der Salze verpuffte und die Quantität schätzte, welche in dem Flammenraum enthalten war. Danach sind noch mit Sicherheit zu erkennen  $\frac{1}{3\,000\,000}$  mg Chlornatrium,  $\frac{1}{100\,000}$  mg Lithiumsalz,  $\frac{1}{1000}$  mg Baryumsalz. Mittelst dieser außerordentlichen Spürkraft der Methode fand man dann gewisse Stoffe vielen Orts auf, wo sie

---

<sup>1</sup> Erst nachträglich wurde man nun auf jene älteren Beobachtungen wieder aufmerksam. Wie unsicher sie waren, geht daraus hervor, daß die bekannte gelbe Linie zwar meistens einer Natriumverbindung, dann aber auch (und zwar von denselben Beobachtern) vermutungsweise wieder dem Wasser oder dem Schwefel zugeschrieben wurde, daß ferner die Spektrallinien unter Umständen eine kleine Verschiebung erleiden sollten. Auch findet sich die Behauptung, die Substanz rufe die Flammenfärbung durch ihre bloße Gegenwart hervor, ohne selbst eine Verminderung zu erfahren. Eine historisch-kritische Darstellung hat КИРСНОВ in den Berichten der Berliner Akademie 1861 gegeben; dieselbe ist abgedruckt bei Roscoe, Spektralanalyse S. 92—97.

<sup>2</sup> *Pogg. Ann.* 119.

bisher immer übersehen worden; das Lithium, das man für ein sehr seltenes Element gehalten hatte, erwies sich nun als außerordentlich verbreitet in Mineralien, Aschen und Wässern, wenn auch immer nur spurweise vorkommend, ähnlich das Strontium als fast nie fehlender Begleiter des Calciums.

Eine weitere Frucht der Untersuchungsmethode war die Entdeckung zweier neuer Metalle durch BUNSEN, welche er sogleich in seiner ersten Abhandlung ankündigte.<sup>1</sup> Diese, denen er die Namen Cäsium und Rubidium gab, sind dem Kalium so überaus ähnlich und begleiten es in so verschwindend kleiner Menge, daß sie durch Reagentien unmöglich neben ihm erkannt werden können. Im Spektralapparat verrieten sie sich durch ihre charakteristischen Linien, welche keinem der bisher bekannten Elemente angehörten. Ebenso führte der Spektralapparat später in den Händen anderer Chemiker zur Entdeckung des Thallium, Indium, Gallium und Skandium. Aber nicht bloß deren Aufspürung verdanken wir der neuen Methode, sondern auch bei ihrer nachfolgenden Isolierung war sie die sichere Führerin, ja hat den Erfolg überhaupt erst ermöglicht, wie sofort deutlich wird, wenn wir uns vergegenwärtigen, welche Aufgabe es war, eine Substanz von noch gänzlich unbekanntem Eigenschaften aus einem komplizierten Gemisch abzuscheiden, in welchem sie nur spurenweise vorkommt. So enthielt das Dürkheimer Wasser in 1000 Teilen 0.00021 Chlorrybidium und 0.00017 Chlorycäsium; es diente BUNSEN zu ihrer Darstellung, und zwar wurde die aus 44 000 kg gewonnene Mutterlauge in Arbeit genommen und ergab 16 $\frac{1}{2}$  g der beiden Chloride. Zur Darstellung des Rubidiums eignete sich noch besser ein Lepidolith, der in 100 Teilen 0.24 des Oxyds enthielt. Die Abscheidung der beiden Elemente aus den Laugen geschah durch Platinchlorid, das sie gemeinsam mit dem Kalium in großer Vollständigkeit niederschlägt, worüber eben der Spektralapparat Auskunft gab. Die Trennung vom Kalium gelingt sodann durch wiederholtes Auskochen der Platindoppelsalze mit Wasser, in welchem die Kaliumverbindung immer noch löslicher ist als die beiden anderen. Das Auskochen des Niederschlages wird so lange fortgesetzt, bis der Rückstand nur noch die Spektralreaktion des Cäsiums und Rubidiums, nicht mehr die des Kaliums giebt. Zur Trennung jener beiden diente das verschiedene Ver-

---

<sup>1</sup> *Pogg. Ann.* 110. Schon ein Jahr später folgte ihre erschöpfende Beschreibung, ebenda 113.



halten ihrer kohlensauren Salze gegen absoluten Alkohol, in dem nur das Cäsiumsalz löslich ist; später mit noch größerem Vorteil die verschiedene Löslichkeit der weinsauren Salze in Wasser. BUNSEN's Beschreibung der beiden neuen Elemente und ihrer Verbindungen,<sup>1</sup> einschließlic der Bestimmung ihrer Atomgewichte, war sogleich in dem Maße vollständig, daß späteren Untersuchungen kaum mehr etwas nachzutragen übrig blieb.

Hat so die Spektralanalyse sich als ein unschätzbares Hilfsmittel für den Chemiker erwiesen, so liegt ihre ganz einzige Bedeutung doch darin, daß durch sie (was niemand bisher für möglich gehalten hatte) über unsere Erde hinaus der Weltraum der Untersuchung zugänglich wurde. An diesen physikalisch-astronomischen Forschungen war BUNSEN nicht persönlich beteiligt, aber sie ruhen doch ganz auf seiner und KIRCHHOFF's großer Entdeckung, und die Studien über die Sonne, wenn sie auch von KIRCHHOFF allein ausgeführt wurden, hat er sichtlich mit lebhafter geistiger Anteilnahme begleitet und durch gelegentliche Beihilfe gefördert. Es ist daher unerläßlich, auf dieselben auch hier einzugehen, und es ist das um so mehr erforderlich, als gewisse Arbeiten BUNSEN's mit ihnen im engsten Zusammenhange stehen.

Wird das Licht der Sonne durch ein Prisma zerlegt, so giebt es ein Spektrum, welches alle Farben vom Rot bis zum Violett enthält. Zuerst WOLLASTON bemerkte im Jahre 1802, daß dasselbe von einer Menge feiner schwarzer Linien durchsetzt wird, welche dann 1814 von FRAUNHOFER genau untersucht und verzeichnet wurden und seitdem nach ihm benannt werden. Ihre Ursache blieb vollkommen unbekannt, doch bemerkte bereits FRAUNHOFER, daß die zwei gelben Natriumlinien denselben Ort einnehmen, wie die Doppellinie *D* im Sonnenspektrum. Die Genauigkeit dieser Coincidenz wünschte KIRCHHOFF auf die direkteste Weise zu prüfen und entdeckte dabei sein wichtiges Gesetz. Hören wir seine eigenen Worte! „Ich entwarf ein mäßig helles Sonnenspektrum und brachte dann vor den Spalt des Apparates eine Natriumflamme. Ich sah dabei die dunkeln Linien sich in helle verwandeln. Die BUNSEN'sche Lampe zeigte die Natriumlinien auf dem Sonnenspektrum mit einer nicht erwarteten Helligkeit. Um zu finden, wie weit die Lichtstärke des Sonnenspektrums sich steigern ließe, ohne daß die Natriumlinien dem Auge verschwänden, ließe ich den vollen Sonnen-

---

<sup>1</sup> KIRCHHOFF u. BUNSEN, *Pogg. Ann.* 113 (1861).  
Z. anorg. Chem. XXIII.

schein durch die Natriumflamme auf den Spalt fallen und sah da zu meiner Verwunderung die dunkeln Linien *D* in außerordentlicher Stärke hervortreten.“ Als das Sonnenlicht durch das Licht eines hellglühenden festen Körpers ersetzt wurde, dessen Spektrum ganz frei von dunkeln Linien ist, so zeigten sich wieder die dunkeln Linien an der Stelle der Natriumlinien, diese hatten eine „Umkehrung“ erfahren. „Diese Erscheinung findet eine leichte Erklärung in der Annahme, daß eine Natriumflamme eine Absorption ausübt auf die Strahlen von der Brechbarkeit derer, die sie selbst aussendet, für alle anderen aber ganz durchsichtig ist.“ Ein Versuch mit der Lithiumflamme gab das gleiche Resultat.

Dem so durch Beobachtung eines speziellen Falles experimentell aufgefundenen Prinzip hat KIRCHHOFF<sup>1</sup> dann eine theoretische Begründung und zugleich eine weitere Ausdehnung gegeben, wonach es nicht nur für die unserem Auge sichtbaren, sondern auch für Wärmestrahlen und chemisch wirksame Strahlen Geltung hat. Es lautet folgendermaßen:

„Für jede Strahlengattung ist das Verhältnis zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen für alle Körper bei derselben Temperatur das gleiche.“

(Die Einschränkung, welche in den letzten Worten liegt, ist wohl zu beachten.)

Zur Demonstration dieser ganz fundamentalen Thatsache hat BUNSEN einen einfachen Apparat<sup>2</sup> konstruiert, der sie in schlagendster Weise vor Augen führt. Er erzeugt durch besondere Mittel eine kühle kleine Natriumflamme und stellt dahinter eine große heiße und daher heller leuchtende Natriumflamme; die erstere erscheint dann schwarz, weil sie undurchsichtig ist für das gleichartige Licht und wegen ihrer geringen Helligkeit keinen Ersatz für dieses bietet. Dagegen ist sie für das bloße Auge ohne jede Wirkung, wenn sie vor eine gewöhnliche Leuchtflamme gestellt wird, welche alle möglichen Lichtarten aussendet, die von jener nicht ausgelöscht worden; erst mittels des Spektroskops würde die Auslöschung der *D*-Strahlen bemerkt werden, welche einen verschwindenden Bruchteil der gesamten Lichtmasse bilden.

Mit dem KIRCHHOFF'schen Satz war die Erklärung der FRAUNHOFER'schen Linien gegeben. Der heiße leuchtende Sonnenkörper

---

<sup>1</sup> *Pogg. Ann.* 109.

<sup>2</sup> S. ROSCOE, Spektralanalyse S. 155.

mufs von einer kühleren, daher schwächer leuchtenden Atmosphäre umhüllt sein, welche die von jenem ausgesendeten Strahlen passieren. Die im Spektrum auftretende *D*-Linie zeigt uns an, dafs die Sonnenatmosphäre Natriumdampf enthält, andere Linien coincidieren mit denen des Wasserstoffes. Das Eisen giebt im elektrischen Funken mehrere Hundert helle Spektrallinien, und für jede findet sich im Sonnenspektrum ein dunkler Stellvertreter; die Sonnenatmosphäre enthält also Eisendampf, welcher aus der gesamten, vom Kern ausgesendeten Lichtmasse eben die Eisenlinien herauschneidet u. s. w. So wurde durch Vergleichung der *FRAUNHOFER'S*chen Linien mit den Spektren der irdischen Elemente die Anwesenheit von 16 der letzteren in der Sonnenatmosphäre nachgewiesen. — Nach demselben Prinzip wurden die helleren Fixsterne untersucht (besonders von englischen und schwedischen Physikern); auch sie zeigen auf einem kontinuierlichen Spektrum schwarze Linien, die aber grofsenteils verschieden sind von denen der Sonne und auch verschieden für die einzelnen Sterne. So hat man auch über deren stoffliche Natur Aufschlüsse erhalten. Nicht minder über die der Nebelflecke. Diese hatten durch das Fernrohr zum Teil „aufgelöst“, d. h. als Schwärme von Sternen erkannt werden können, und es blieb zweifelhaft, ob die übrigen auch solche sind, für welche nur die auflösende Kraft der Instrumente nicht ausreicht, oder ob sie in der That Nebel sind, d. h. leuchtende Gase, welche ungeheure Himmelsräume erfüllen. Das Spektroskop entschied für das letztere, denn die Spektren bestehen aus wenigen hellen Linien, besonders des Stickstoffes und Wasserstoffes. — Wie das Spektroskop unsere kosmischen Kenntnisse noch weiter mächtig gefördert, wie es uns besonders mit einer ganzen Wissenschaft von der Sonne beschenkt hat, das kann hier nur erwähnt werden. Dagegen bleiben noch einige Fragen zu erörtern, welche uns in das Laboratorium des Chemikers zurückführen.

In ihrer zweiten Abhandlung über „Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen“, 1861, weisen *BUNSEN* und *KIRCHHOFF* darauf hin, dafs nach ihren bisherigen Erfahrungen die verschiedenen Salze eines Metalles, in der Flamme erhitzt, stets ein und dasselbe Spektrum gäben. Man könne dadurch zu der Annahme sich versucht fühlen, dafs in allen Fällen die Lichtlinien eines Elementes ganz unabhängig seien von seiner Verbindungsform und identisch für den freien und gebundenen Zustand. Berücksichtige man aber den vorher erörterten Zusammenhang zwischen Emissions- und Ab-

sorptionsvermögen, so sei mit jener Annahme die bekannte Erscheinung nicht vereinbar, daß die Absorptionslinien des Joddampfes durch Jodwasserstoff nicht hervorgebracht werden und daß andererseits die Absorptionslinien von salpetriger Säure sich nicht bei einem mechanischen Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff wiederfinden. Was hier bei niedrigen Temperaturen beobachtet werde, sei mit größter Wahrscheinlichkeit auch auf die Glühhitze zu übertragen. „Ändert aber die chemische Verbindung in einem glühenden Gase die Absorptionslinien, so muß sie auch die hellen Linien seines Spektrums ändern.“ Sie deuten auf die mögliche Erklärung hin, daß die verflüchtigten Salze bei der Temperatur der Flamme nicht bestehen blieben, sondern zerfielen, so daß thatsächlich immer die Dämpfe des freien Metalls zur Beobachtung kämen; und sie fügen hinzu: „Dann erscheint es ebenso denkbar, daß eine chemische Verbindung stets andere Linien zeigt, als die Elemente, aus welchen sie besteht.“

Man beachte die echt wissenschaftliche Vorsicht in der Beurteilung dieser Frage! Bald wurden neue Thatsachen aufgefunden, welche die letzte Vermutung bestätigen. Von den Spektren der Alkalisalze, welche lediglich aus schmalen, scharfen Linien bestehen, sind die der alkalischen Erden wesentlich verschieden, indem sie daneben breite Bänder mit wenig scharfer Begrenzung aufweisen. ROSCOE zeigte nun 1862, daß in dem elektrischen Funkenstrom von hoher Spannung diese breiten Streifen vollkommen verschwinden und durch helle Linien ersetzt werden, deren Lage meist nicht mit der der Streifen übereinstimmt. Es kann kaum ein Zweifel darüber bestehen, daß erst diese Linien das Spektrum des freien Metalles darstellen und daß alle wahren Metallspektren Linienspektren sind; der Unterschied zwischen den Salzen der Alkalien einerseits, der alkalischen Erden andererseits beruht dann darauf, daß jene schon bei der relativ niedrigen Temperatur der Bunsenflamme mit großer Vollständigkeit dissociirt werden, diese in geringerem Maße. Die gewöhnlichen Spektren des Calcium, Strontium, Baryum sind also gemischte Spektren.

Zu dem gleichen Schluß führte eine wertvolle Untersuchung AL. MITSCHERLICH'S, welche er in demselben Jahre veröffentlichte und der er 1864 eine ausführlichere Mitteilung folgen ließ. Ausgehend von der oben besprochenen Annahme, bemühte er sich mit Erfolg, die Dissoziation der Salze zu verhindern, indem er z. B. neben dem Chlorbaryum Chlorwasserstoff und Chlorammonium in

die Flamme brachte und ähnlich beim Brom- und Jodbaryum verfuhr. Es wurden dann Spektren erhalten, welche neben mehr verwaschenen Streifen zwei helle Linien enthalten; diese sind aber nicht nur verschieden von den Linien des Metallspektrums, sondern ihre Lage ist auch verschieden für jedes der drei Salze bei übrigens großer Ähnlichkeit des Gesamtblickes, und zwar verschieben sie sich mit wachsendem Molekulargewicht der Verbindung gegen das rote Ende des Spektrums hin. Ganz ähnliche Verhältnisse kehren beim Strontium und Calcium wieder. Es kommt also jeder Verbindung ihr eigenes Spektrum zu.

Das eigentliche Spektrum des Chlorkaliums sollte demnach auch von dem des Kaliums verschieden sein, kann aber überhaupt nicht erzeugt werden; führt man in die durch das Salz violett gefärbte Flamme Chlorammonium ein, so verschwindet die Färbung. Das Gleiche gilt vom Chlornatrium, nur dafs wegen der außerordentlichen Empfindlichkeit der Natriumreaktion ein Rest der gelben Linien bestehen bleibt. Chlornatrium in einem beiderseits durch Glasplatten verschlossenen Rohr in der Rotglut zum Verdampfen gebracht, giebt weder die hellen Linien, noch bei hindurchgesendetem Licht deren Umkehrung, während Natriumdampf sogar schon bei niedrigerer Temperatur die schwarzen Absorptionslinien mit großer Deutlichkeit zeigt.

Erscheinungen, welche zu dem gleichen Satze führen, beobachtete nun auch BUNSEN selbst an einem gänzlich verschiedenen Material — Erscheinungen, welche außerdem nicht nur eine höchst merkwürdige Illustration des KIRCHHOFF'schen Prinzips, sondern zugleich eine Erweiterung desselben darstellen.<sup>1</sup> Die Lösungen der Didymsalze geben, obgleich sie kaum merklich gefärbt sind, ein Absorptionsspektrum, das aus einer Reihe wohl definierter Linien und Streifen besteht. Die Lösungen verschiedener Salze lassen, wenn man Apparate mit nur einem Prisma und mäfsiger Vergrößerung des Fernrohres anwendet, keine Unterschiede erkennen, aber wenn man kräftigere Instrumente zu Hilfe nimmt, so treten solche hervor, und zwar konnte BUNSEN, bei Vergleichung von Chlordidym, schwefelsaurem und essigsauerm Didym feststellen, dafs mit zunehmendem Molekulargewicht die Linien sich gegen das rote Ende des Spektrums verschieben — genau so, wie MITSCHERLICH es für die Emissionsspektren des Baryums u. s. w. angegeben hat. Weiter liefs

---

<sup>1</sup> *Lieb. Ann.* 131; *Pogg. Ann.* 128.

er durch eine didymhaltige Phosphorsalzperle hindurch das Licht eines glühenden Platindrahtes auf den Spalt des Apparates fallen, stellte die Lage der Absorptionslinien fest und erhitzte dann die Perle zum Glühen unter Entfernung der anderen Lichtquelle. Es traten nun helle Linien auf, genau an der Stelle jener dunkeln — ungeachtet der in den beiden Versuchen sehr verschiedenen Temperatur. — Noch auffallender sind die Erscheinungen, welche die Erbinerde zeigt. Diese in einer Flamme erhitzt, leuchtet mit starkem grünlichen Licht und giebt dabei, wie alle festen Körper, ein kontinuierliches Spektrum, aus dem aber (wie *BAHR* zuerst beobachtete) eine Anzahl heller Linien noch besonders hervorleuchtet. Eine sorgfältige Untersuchung,<sup>2</sup> welche *BUNSEN* mit *BAHR*, der sich zu diesem Zweck von Upsala nach Heidelberg begab, gemeinsam ausführte, lehrte dann, daß die Krystalle eines Erbiums Salzes im durchfallenden Licht Absorptionsbänder geben, welche nach Lage und Abstufung der Intensität im wesentlichen durchaus jenen Bändern des leuchtenden Spektrums entsprechen. Wie die Verfasser zu bemerken nicht unterlassen, „ist die Erbinerde eines der merkwürdigsten Beispiele der theoretisch nicht vorauszusehenden Thatsache, daß die Lage der Spektralstreifen eines Körpers dieselbe bleiben kann, mag dessen Temperatur unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegen oder denselben um Tausende von Graden überschreiten.“

---

Diesen Überblick über *BUNSEN*'s Forscherthätigkeit kann ich nicht schliessen, ohne einige kurze Bemerkungen daran zu knüpfen, welche, zum Teil aus obiger Darstellung seiner Arbeiten bereits sich ergebend, seine wissenschaftliche Eigenart noch näher kennzeichnen sollen.

Eine besonders wichtige Seite seines Wesens war die Gewohnheit, bei seinen Arbeiten über jede Einzelheit des Vorganges sich genaueste Rechenschaft zu geben und die Resultate auf eine möglichst exakte Form zu bringen, wovon seine Abhandlungen eine Fülle von Beispielen enthalten. So seine Bemerkungen „über das Auswaschen der Niederschläge“: bis zu welcher Verdünnung dieses getrieben ist, soll in jedem Augenblick zahlenmäßig bekannt sein. Bei der elektrolytischen Abscheidung der Metalle verfolgt er sogleich

---

<sup>1</sup> *Lieb. Ann.* 137.

den Einfluß der Stromdichtigkeit; an einem eingeschalteten Voltmeter liest er ab, wieviel des Metalles der Strom hat in Freiheit setzen müssen, und vergleicht damit die thatsächliche Ausbeute; als er das Magnesium gewonnen und die glänzende Lichtentwicklung beobachtet hat, welche es beim Verbrennen giebt, mißt er sogleich deren Helligkeit mit der Anzahl von Wachskerzen, welche ihr gleichkommen u. s. w. Die Spektralanalyse hat in seinen Händen eben dadurch eine so hohe Bedeutung gewonnen, daß er sich nicht damit begnügte, die Elemente durch die ihnen eigentümlichen Farbenbilder zu charakterisieren, sondern im Verein mit KIRCHHOFF den Spektralapparat zu einem Melsapparat machte und die Lage der einzelnen Linien und Streifen genau feststellte. — Mit dieser Geistesrichtung, für welche beinahe jede seiner Arbeiten ein weiteres Beispiel liefert, steht die hohe Wertschätzung in Übereinstimmung, welche er für mathematische Studien hegte, und der Gewinn, welchen er aus ihnen zog. Daß die Neigung zu solchen unter dem vorwiegenden Einfluß der organischen Chemie den Chemikern zeitweise fast ganz verloren gegangen war, bedauerte er lebhaft; bekanntlich sind sie bei ihnen erst in neuester Zeit durch die aufblühende physikalische Chemie wieder zu Ehren gekommen. BUNSEN bedient sich der Methode der kleinsten Quadrate zur Ableitung des wahrscheinlichsten Wertes aus einer Vielzahl von Beobachtungen, der Determinanten zur Berechnung von  $n$  Unbekannten aus  $n$  homogenen Gleichungen; er ist vertraut mit Differential- und Integralrechnung und macht von ihnen vielfachen Gebrauch. Aber wie nützlich diese gelegentlichen Anwendungen ihm auch sind, so hat doch eine viel fundamentalere Bedeutung die strenge Schulung des Denkens, welche er der Mathematik verdankt. Sie giebt ihm die Umsicht, mit welcher er alle Möglichkeiten erfafst, einem Problem exakte Gestalt zu geben und es von verschiedenen Seiten her in Angriff zu nehmen. Wer die große photochemische Arbeit von BUNSEN und ROSCOE liest, der mag erkennen, wie gar manchem der Mut gesunken sein würde nicht erst über den experimentellen Schwierigkeiten, sondern schon über dem Unternehmen, alles das vorweg klar und scharf zu formulieren, was geschehen und was in Rechnung gezogen werden mußte, um die Aufgabe in ihrem ganzen Umfange zu bewältigen.

Weshalb hat BUNSEN wohl von der organischen Chemie, die ihm doch eine so bedeutsame Untersuchung verdankt, sich bald für immer abgewendet? Freilich haben äußere Anlässe dazu anschei-

nend mitgewirkt und besonders war das Gebiet, welches seine ferneren Arbeiten umfassen, schon ein so gewaltiges, daß eine Beschränkung unerläßlich wurde. Indes deuten manche Umstände darauf hin, daß hier doch noch eine tiefere Ursache zu Grunde lag. BUNSEN hatte sehr wenig Anerkennung für Hypothesen — das geht aus manchen Äußerungen in seinen geologischen Abhandlungen hervor und es war auch in seiner Vorlesung zu erkennen. Nun gar, wenn sie auf allzu unsicherem oder zu schmalen Boden sich aufbauen! „Eine Hypothese, die noch mehreren anderen eine gleiche Berechtigung neben sich gestattet, ist als wertlos zu bezeichnen.“ Eine Hypothese hatte ihm nur die Bedeutung einer Frage und war für ihn jedenfalls nicht etwas, worauf man einstweilen ausruhen dürfte. Nun brachte es aber die historische Entwicklung mit sich, daß in der Zeit, welche für seine Anteilnahme entscheidend war, Hypothesen in der organischen Chemie eine große Rolle spielten und der Streit um die Deutung von Thatsachen zuweilen breiteren Raum einnahm, als die Thatsachen selbst. So wurde ihm dieser ganze Zweig unserer Wissenschaft verleidet.

In seiner Arbeit über die Kakodylverbindungen (1843) findet sich bereits folgende Bemerkung: „Die Äußerung der Kräfte, welche die organischen Atome zusammenfügen und trennen, ist der Beobachtung fast völlig unzugänglich geblieben, und auf diesem Felde hat nicht selten eine übertriebene Spekulation das zu ergänzen gesucht, was die Erfahrung zu erforschen uns bisher versagte. Als ein Ergebnis solcher Spekulation müssen wir namentlich die extremen Ansichten einer neueren Schule betrachten, welche das wahre Wesen einer organischen Verbindung in einem gänzlichen Mangel jenes bimären Gegensatzes zu finden geglaubt hat, der als der wesentlichste Charakter in den Elementen der leblosen Natur hervortritt und der unter dem gemeinschaftlichen Bande der elektrochemischen Theorie eine Reihe von Thatsachen umfaßt, welche die Grundlage der heutigen Wissenschaft bilden.“ Das Radikal Kakodyl war ihm nun dadurch besonders wertvoll, daß es sich den Metallen sehr ähnlich verhält und den gleichen chemischen „Gegensatz“ gegen Sauerstoff, Chlor u. a. zeigt. Doch läßt er sich auf eine Erörterung gar nicht ein, sondern will lieber die Thatsachen unmittelbar sprechen lassen: Die experimentellen Resultate selbst „dürften geeignet sein, den Eifer in etwas zu mäfsigen, mit dem man neuerdings nicht selten den herrschenden Ansichten der Wissenschaft entgegentreten zu müssen geglaubt hat.“



In dem Streit der Meinungen seine Stimme zu erheben, war nicht seine Sache. Er glaubte der Wissenschaft besser zu dienen, wenn er schweigend in den Schacht hinabstieg, wo reiche Schätze seines Späherblickes und seiner begnadeten Hand harrten. Auch wurde er bei der Arbeit nicht leicht von irgend einer vorgefaßten Ansicht geleitet, für welche er Bestätigung gesucht hätte (daß auch dieser Weg oft trefflich zum Ziele führt, soll gar nicht geleugnet werden), sondern mit vollkommener Unbefangenheit trat er der Natur gegenüber, und manches Beispiel zeugt von der strengen Vorsicht, mit welcher er vermied, die Grenze gesicherter Erkenntnis selbst nur vermuthungsweise zu überschreiten.

---

Es bleibt uns noch übrig, von seinem Wirken als Lehrer zu sprechen, und ich bin in der glücklichen Lage, hierüber nach eigener Erfahrung berichten zu können, da ich (es war während des Jahres 1866) seine Vorlesung gehört und im Laboratorium unter seiner persönlichen Leitung gearbeitet habe.

In der Vorlesung sprach er mit großer Leichtigkeit und natürlicher Lebhaftigkeit, so daß man ihm die eigene Freude an der Sache anzusehen glaubte, und vollkommen frei, ohne die geringste schriftliche Notiz. Dem flüchtigen Wort kamen häufig Tabellen zu Hilfe, wo es galt, Zahlenangaben u. dgl. zu fixieren, dagegen mochte es jeden, der vergleichen konnte, überraschen, einen wie ganz geringen Gebrauch er von der Wandtafel machte. Was der Zuhörer empfing, war ganz und gar keine Buchgelehrsamkeit, sondern alles wurde ihm zur Anschauung — sehr oft durch die (mit strengster Auswahl und unfehlbarer Sicherheit vorgeführten) Experimente zur eigenen Erfahrung. Es ist nicht möglich, in geringerem Mafse, als BUNSEN es that, die Chemie als beschreibende Naturwissenschaft erscheinen oder sie zu einer Abhandlung der einzelnen Elemente und ihrer Verbindungen werden zu lassen. Vielmehr wufste er vom ersten Anfang an uns zu interessieren für Fragen von weittragender Bedeutung wie für speziellere Aufgaben, welche die Wissenschaft zu lösen hat, und erweckte so die lebhafteste Spannung für den Weg, der zum Ziele führt, und Befriedigung über die Besiegung der Schwierigkeiten, welche dabei überwunden werden mußten. Für diese Lehrmethode eignete sich nichts besser, als BUNSEN's eigene Arbeiten. So trug er die eben abgeschlossene Untersuchung über die Temperatur der Flamme vor, und nie werde ich die Freude vergessen, welche ich über die einfache Lösung des

scheinbar höchst schwierigen Problems empfand, wie über das überraschende Resultat der ungeahnt niedrigen Temperatur und über die vollkommene Durchsichtigkeit, in welcher der Vorgang sich darstellte und eben diese niedrige Temperatur verständlich wurde. Ebenso liefs er uns teilnehmen an der kürzlich von ihm ausgeführten Untersuchung über die Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Gase und Dämpfe mit allen ihren Verbesserungen und Feinheiten. Dieser Auseinandersetzung wurde eine volle Stunde gewidmet; ebenso der chemischen Wirkung des Lichtes, wie sie von BUNSEN und ROSCOE am Chlorknallgas studiert worden ist. Gerade diese eindringende Behandlung einzelner Fragen und des zu ihrer Lösung führenden Weges war es, welche den Zuhörern (und auch solchen, die die Chemie nicht zu ihrem Spezialstudium machten) einen Einblick in Werkstatt und Arbeitsweise des Chemikers gewährte, wie er meist erst durch praktische Beschäftigung im Laboratorium erreicht wird; eine schnell dem Resultate zueilende Darstellung, zu welcher die Fülle des Stoffes nur zu leicht verführt, vermag das niemals zu leisten. Dafs es trotz alledem möglich war, in einem kurzen Sommersemester den reichen Stoff zu bewältigen, erschien fast wunderbar; es erklärt sich durch die unübertreffliche Präzision des Vortrages wie des Experimentes und auch dadurch, dafs alle Überladung mit Experimenten vermieden wurde und nur solche von entscheidender Bedeutung zur Ausführung kamen. Unter diesen verdienen besonders Erwähnung eine Anzahl von quantitativen Versuchen, welche meines Wissens damals noch nirgends sonst als Vorlesungsversuche vorgeführt wurden. So die Demonstration der Volumverhältnisse bei gleichzeitiger Elektrolyse von Wasser und Chlorwasserstoff (HOFMANN'S Veröffentlichung derselben datiert aus dem Jahre 1869). Dabei wurde das Verschwinden von einem Teil des Chlors dadurch vermieden, dafs die Elektrode aus einem Iridiumdraht bestand und über ihr nur eine ganz niedrige Flüssigkeitsschicht, dann Luft sich befand; das Chlor verdrängte sein gleiches Volum Luft, welches in einem besonderen Mafsgefäfs aufgefangen wurde — ein Prinzip, welches dann V. MEYER zu seiner Dampfdichtebestimmung durch Luftverdrängung entwickelt hat.

Wie BUNSEN bemüht war, die Erscheinungen auf ihre einfachste Form reduziert zur Anschauung zu bringen, zeigt folgendes Beispiel, das zur Nachahmung nicht genug empfohlen werden kann. Um das Grundprinzip der Spektralanalyse zu verdeutlichen, brachte er in eine Flamme zugleich Natrium- und Lithiumsalz und liefs nun

ein Prisma à vision directe ohne Spalt von Hand zu Hand durch das Auditorium gehen; man sah jetzt zwei Flammen, eine gelbe und eine rote. Dann erst wurden die Vorteile hervorgehoben, welche das Vorsetzen eines Spaltes gewährt, dessen sekundäre Bedeutung so ohne weiteres sich einprägt (und sonst vielleicht einem großen Teil der Studenten niemals zu klarem Bewußtsein kommt.) — Allbekannt ist die von BUNSEN angegebene einfache Demonstration des die FRAUNHOFER'schen Linien erklärenden KIRCHHOFF'schen Gesetzes: eine kühle Natriumflamme, welcher vor einer heißeren und daher heller leuchtenden Natriumflamme schwarz erscheint.

Immer hatten wir das Gefühl, daß der Vortragende aus dem Vollen schöpfte, aus dem reichen Schatz seiner Kenntnis und persönlichsten Erfahrung — wußten auch, daß gar manches (besonders bei den seltenen Metallen und Erden) nirgends publiziert und eben nur aus seinem Munde zu lernen war. Übrigens erwähnte er kaum jemals (meines Wissens nicht einmal bei der Spektralanalyse) seinen eigenen Anteil an den Untersuchungen, sondern begnügte sich mit allgemeinen Redewendungen: „man hat gefunden“ und dgl. Freilich, wenn er von seinen glänzendsten Entdeckungen berichtet hatte, bewies ihm am Schluß der Stunde ein donnerndes Beifallsgetrampel, daß wir denn doch Bescheid wußten, und das vergnügte Lächeln, mit dem er aus dem Auditorium verschwand, verriet, daß ihm dies nicht gerade unlieb war.

Daß BUNSEN während einer langen Reihe von Jahren Semester um Semester dieselbe Vorlesung halten konnte, ohne dessen überdrüssig zu werden, mag dem Fernstehenden schwer verständlich sein; wer ihn hörte, begriff es sofort. Es lag offenbar daran, daß sein Vortrag zu einem sehr großen Teil auf eigenen Untersuchungen beruhte und daß er diese in der Erinnerung immer wieder mit naiver Entdeckerfreude neu durchlebte.

Geradezu großartig war die allgemeine Einleitung, welcher ungefähr drei Wochen gewidmet wurden. Hier und in einigen der nachfolgenden Vorlesungen ließ er vor uns ein naturwissenschaftliches Weltbild erstehen, soweit das von chemischen und chemisch-physikalischen Ausgangspunkten her möglich ist. Er begann (ein höchst origineller Gedanke) mit einer ganz kurzen Aufzählung und Charakterisierung sämtlicher Elemente (1 Stunde), die er nun nach Bedarf heranziehen konnte, ohne daß ihr Name den Hörern nur ein leerer Schall gewesen wäre. Es folgte eine Aufweisung der Stoffe, welche gefunden werden in der Luft, in den Wässern, in den

plutonischen und neptunischen Gesteinen; Anreicherung mancher von ihnen an besonderen Stellen der Erdrinde durch Gangbildung vermittelt Infiltration, Injektion und Sublimation; außerirdisches Vorkommen der Elemente in Meteoriten, ferner (spektralanalytisch nachgewiesen) in Gestirnen und Nebelflecken. Es folgten die Aggregatzustände und deren Übergang in einander, Gasmischung und Gasabsorption, Partialdruck, Dampfdruck, Lösung, Diffusion und Osmose, Krystalloide und Kolloide; die Krystalssysteme nebst dem Tangentengesetze. Der Sauerstoff gab dann Gelegenheit zu ausführlicher Besprechung der Verbrennung, Verbrennungswärme und Entzündungstemperatur; beim Wasser und der Kohlensäure wurden natürlich mancherlei atmosphärische und klimatische Verhältnisse besprochen, beim Chlor (wie bereits angedeutet) die chemische Wirkung des Lichtes, ihre Änderung mit dem Stande der Sonne, die neben einander hergehenden Wirkungen des direkten Sonnenlichtes und des diffusen Lichtes, das Vorwalten des ersteren in den höheren Schichten der Atmosphäre und die mit dadurch bedingte Besonderheit der Alpenflora.

Im Laboratorium sah man BUNSEN fast den ganzen Tag, und zwar widmete er damals alle seine Zeit den Praktikanten, zumal den fortgeschritteneren, die zum großen Teil nach Heidelberg gekommen waren, um ganz bestimmte Dinge dort zu lernen: Gasanalyse, Mineralanalyse, Analyse des Roheisens und dgl., oder um Studien über seltene Metalle, auch physikalisch-chemische Arbeiten zu machen. Man konnte mit Sicherheit darauf rechnen, daß der verehrte Lehrer nicht nur täglich den Fortgang der Arbeit verfolgte, sondern auch, daß er ihren bisherigen Verlauf aufs genaueste im Kopfe hatte — oft (bei langwierigen Silikatanalysen und dgl.) besser als der Praktikant selber. Als Meister jeder Technik ließ er es an häufiger Anleitung in praktischen Handgriffen nicht fehlen. Wie man einen Kork mit tadellos runder Bohrung versieht, wie man ein Filter in der Platinspirale verbrennt, wie ein Kautschukventil hergestellt wird, wie man einen Abdampfdruckstand in einem Minimum von Flüssigkeit gelöst in den Tiegel hinüberspült, wie man Schwefelsäure ohne jedes Spritzen verflüchtigt — das alles und vieles andere hat mancher vermeintlich fertige Chemiker eigentlich erst von ihm gelernt.<sup>1</sup> Ein besonderes Vergnügen machte es ihm,

<sup>1</sup> Seine Hand war unglaublich abgehärtet. So existierte denn auch ein launiges Bild von ihm, wie er ein kleines Schälchen zwischen den Fingern in die Gasflamme längen läßt mit den Worten: „Man dampft es ganz ruhig ab.“

uns die damals eben von ihm ausgearbeiteten „Flammenreaktionen“ zu zeigen und wie sie es ermöglichen, die in kaum sichtbaren Spuren vorliegende Substanz durch mannigfaltige Erscheinungen in aller Schärfe zu identifizieren. Immer sah man ihm an, wie die Arbeit als solche, das Gefühl der „gelingenden Thätigkeit“ ihm die reinste Freude war. Oft umstand ihn ein halbes Dutzend von Schülern, deren jeder Rat und Hilfe von ihm wollte und darauf wartete, daß er an die Reihe käme, gewiß, auch inzwischen noch manches nützliche Wort aufzufangen. Nur wenn er einmal ans Fenster trat und den Blick gedankenverloren über den Garten hinaus schweifen liefs, wagte ihn niemand zu stören; wir nahmen an, daß er dann mit Größerem beschäftigt wäre.

Eine besondere Anziehungskraft hatte für ihn der Glasblasetisch, und es war nicht schwer, dort etwas von ihm zu erreichen. Viele Stunden safs er einmal vor dem Gebläse und versuchte, in ein Glasrohr eine poröse Thonscheibe als Diaphragma einzukitten; leider vergeblich, beim Erkalten sprang das Glas jedesmal ab.

Diese angespannte Thätigkeit während vieler Stunden des Tages war schon als körperliche Leistung für einen Mann seines Alters ganz respektabel, um so mehr als die Hitze im Laboratorium während des Sommers oft recht arg wurde; doch sein rüstiger Körper schien es nicht zu empfinden. Für eigene wissenschaftliche Arbeiten blieb ihm während der ganzen Woche keine Stunde übrig; er hatte sich auch gar keinen eigentlichen Arbeitsplatz reserviert, sondern nur einen Tisch, der mit tausend Dingen bedeckt war, unter welchen er mit schier unbegreiflich schnellem Blick auch den unscheinbarsten Gegenstand, den er gerade brauchte; herausfand. Um so eifriger arbeitete er am Sonntag und in den Ferien in dem nun freien Raum, wie ich aus meiner gegenüberliegenden Dachstube oft beobachten konnte.

Diese unermüdliche Arbeitsfreudigkeit strömte auf alle seine Schüler über; es herrschte im ganzen Laboratorium ein solcher Geist der Emsigkeit und scharfer Ausnutzung der Zeit, daß jeder unwillkürlich erfaßt und mitgenommen wurde. Es wollte das um so mehr heißen, als wir (1866) in einer Zeit höchster Aufregung, nämlich mitten im Kriege lebten und abwechselnd preussische und süddeutsche, auch einmal österreichische Truppen Heidelberg passierten.

Auch arbeiteten dicht neben einander Angehörige der feindlich sich gegenüber stehenden Volksstämme, und oft kam es zu heftigen

Disputationen; trat dann BUNSEN ein, so fuhren wir aus einander und eilten an unsere Plätze. Der Frieden des Hauses aber wurde niemals ernstlich gestört.

Der Ton, in dem BUNSEN mit den Praktikanten verkehrte, war der vollendeter Höflichkeit und unstörbarer heiterer Freundlichkeit, welcher bei begangenen Fehlern sich eine leise Ironie beimischte; hatte einmal jemand eine Arbeit recht gründlich verpfuscht, so nahm sein Gesicht wohl den Ausdruck aufrichtiger Trauer an. — Ein Verkehr mit ihm außerhalb des Laboratoriums kam meines Wissens nicht vor; dazu war vielleicht der Altersunterschied schon zu groß und seine freie Zeit in der That zu kostbar. — Alle seine Schüler nahmen einen mächtigen Eindruck seiner reinen und großen Persönlichkeit mit sich ins Leben hinaus, alle hegten für ihn hohe Verehrung, die meisten eine fast zärtliche Zuneigung.

Aber weit über den Kreis derer hinaus, welche ihn gekannt haben, war er ein Lehrer seiner Zeit und kommender Geschlechter. Wann immer die Männer genannt werden, denen das 19. Jahrhundert seinen wissenschaftlichen Ruhm verdankt, wird BUNSEN'S Name in erster Reihe leuchten.

Bei der Redaktion eingegangen am 21. Februar 1900.

---