
Klaus Danzer

**Richard Wilhelm Bunsen
Gustav Robert Kirchhoff**

Biografien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner Band 9
1972 BSB B. G. Teubner Leipzig
Abschrift und LaTeX-Satz: 2023

<https://mathematikalpha.de>

Inhaltsverzeichnis

1	Der Lebensweg der beiden Forscher bis zu ihrer großen gemeinsamen Entdeckung	7
1.1	Robert Wilhelm Bunsen	7
1.2	Gustav Robert Kirchhoff	18
2	Die wissenschaftliche Begründung der Spektralanalyse	24
2.1	Die Vorgeschichte	24
2.2	Kirchhoffs und Bunsens gemeinsame Arbeiten zur Spektralanalyse	26
3	Der weitere Lebens- und Schaffensweg Kirchhoffs	35
3.1	Die Heidelberger Zeit	35
4	Bunsens weitere wissenschaftliche Leistungen und sein späterer Lebensweg	41
5	Schlussbemerkungen	48
6	Die bedeutendsten Schüler Bunsens	49
7	Zeittafel	53
8	Schrifttum	56

Vorwort des Herausgebers



Abb. 1. Robert Wilhelm Bunsen etwa im 55. Lebensjahre
(Ausschnitt aus einem Gemälde, im Besitz der Sektion Chemie der TU Dresden)

Abb. 2. Gustav Robert Kirchhoff, Jugendbildnis aus [32]

Wissenschaftler sein, heißt revolutionär denken und handeln. Das ist so, weil der Sinn der Wissenschaft darin besteht, an die Stelle der alten Qualitäten neue zu setzen.

Die Erkenntnis der Menschen von der Materie, deren Bestandteil sie selbst sind, zu mehren, ist die Voraussetzung dafür. Jahrhunderte, ja Jahrtausende hat der Mensch im Produktionsprozess Naturgesetze benutzt, ohne sie zu kennen und sie formuliert zu haben.

"Die moderne Naturforschung, die einzige, die es zu einer wissenschaftlichen, systematischen, allseitigen Entwicklung gebracht hat, ... datiert, ... von jener gewaltigen Epoche, die wir Deutsche ... die Reformation, die Franzosen die Renaissance und die Italiener das Cinquecento nennen, und die keiner dieser Namen erschöpfend ausdrückt", schrieb Friedrich Engels in seiner Einleitung zur "Dialektik der Natur".¹

Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts blieb die Naturwissenschaft vorwiegend sammelnde Wissenschaft und wurde erst im 19. Jahrhundert "ordnende Wissenschaft, Wissenschaft von den Vorgängen, vom Ursprung und der Entwicklung dieser Dinge und vom Zusammenhang, der diese Naturvorgänge zu einem großen Ganzen verknüpft."²

Diese Entwicklung war im 19. Jahrhundert mehr denn je notwendig, weil die industrielle Revolution eine völlig neue Qualität der Produktionssysteme schuf, die auf die Dauer wissenschaftliche Durchdringung verlangten. Durch die Naturwissenschaft des 19. Jahrhunderts wurden die Produzenten "in den Stand gesetzt, auch die entfernteren natürlichen Nachwirkungen wenigstens der gewöhnlichsten Produktionshandlungen kennen und damit beherrschen zu lernen."³

Das Schaffen Bunsens und Kirchhoffs fiel vor allem in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts. Sie gelangten zu Erkenntnissen, die ein neues Verhältnis der Wissenschaft zur Produktion manifestierten. Die Aufnahme der Produktion auf der Grundlage naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, wie es in den deutschen Partikularstaaten bzw. vor allem nach 1870 im Deutschen

¹Friedrich Engels: Dialektik der Natur, Einleitung, in: Marx; Engels, Werke Bd. 20, Berlin 1962, S. 311.

²Friedrich Engels: Ludwig Feuerbach und der Ausgang der klassischen deutschen Philosophie, in: Marx; Engels, Werke Bd. 21, Berlin 1962, S. 294.

³ Friedrich Engels: Dialektik der Natur, a. a. O. S. 453

Reich Bismarckscher Prägung im Bereich der chemischen, feinmechanisch-optischen und elektrotechnischen Industrie geschah, war ohne solche naturwissenschaftliche Leistungen wie die von Bunsen und Kirchhoff undenkbar.

Sie schufen Neues in der Wissenschaft, und sie schufen die Voraussetzung für Neues in der Produktion. Darin besteht ihre große und unvergängliche gesellschaftliche Leistung.

Aber sie hatten keinen Einfluss auf die gesellschaftlichen Folgen ihres Wirkens. Ihnen ging es im Prinzip wie jenen Leuten, "die im siebzehnten und achtzehnten Jahrhundert an der Herstellung der Dampfmaschine arbeiteten" und nicht ahnten, dass sie die Maschine erfanden, die "namentlich in Europa durch Konzentrierung des Reichtums auf der einen Seite der Minderzahl und der Besitzlosigkeit auf der anderen Seite einen Klassenkampf zwischen Bourgeoisie und Proletariat erzeugen sollte, der nur mit dem Sturz der Bourgeoisie und der Abschaffung aller Klassengegensätze endigen kann"⁴, wie Friedrich Engels formulierte.

Auch Bunsen und Kirchhoff blieben zeit ihres Lebens trotz ihrer großen unvergänglichen Leistungen bescheidene Wissenschaftler, denen Profitdenken in ihrer Arbeit fremd war und die nicht übersahen, welche politischen und finanziellen Vorteile das werdende deutsche Finanzkapital aus den Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeit im Kampf gegen die Arbeiterklasse und ihre eigenen internationalen Klassengenossen ziehen wollte und zog. Sie befanden sich in jener widerspruchsvollen Position, die Marie Curie zu ihrer eigenen Selbstverständigung 1922 in folgenden Worten einfiel:

"Die Menschheit braucht sicherlich praktisch denkende Menschen, die zwar für die Bedürfnisse der Allgemeinheit arbeiten, dabei aber vor allem an ihre eigenen Ziele denken. Sie braucht jedoch auch Schwärmer, deren Drang, gesteckte Ziele zu erreichen, derartig groß ist, dass sie ihre persönlichen Interessen völlig außer acht lassen, dass sie gar nicht in der Lage sind, an eigene materielle Vorteile zu denken.

Man könnte auch sagen, dass diese Idealisten vielfach keinen Reichtum gewinnen, weil sie ihn nicht erstreben. Es scheint jedoch, dass eine fortgeschrittenere Gesellschaft die entsprechenden Mittel für eine erfolgreiche Tätigkeit dieser Schwärmer sicherstellen müsste, damit sie befreit von materiellen Sorgen, sich voll und ganz dem Dienste der Wissenschaft widmen können."⁵

Die Überwindung des Kapitalismus als Voraussetzung für optimale und uneingeschränkt humanistische Wirkbedingung für die Wissenschaft, die Marie Curie prinzipiell - wenn auch nicht so klar in der Konzeption - wie Friedrich Engels als Notwendigkeit aussprach, lässt uns die Leistung vergangener Generationen von Wissenschaftlern als unser Erbe erscheinen.

Die Geschichte der Wissenschaft ist vor allem auch die Geschichte schöpferischer Menschen. Es ist notwendig, ihre Arbeit zu achten und in der sozialistischen Gesellschaftsordnung als traditionelles Vorbild zu erhalten, weil bei uns in der Deutschen Demokratischen Republik wissenschaftliches Schöpferturn zum Anliegen aller Werktätigen erhoben wurde.

Die historischen Leistungen der Naturwissenschaftler sind vor allem das Erbe der Arbeiterklasse.

Freiberg, im Mai 1971

Eberhard Wächtler

⁴Ebenda S. 454.

⁵Marie Sklodowska Curie: Selbstbiographie. Leipzig 1964. S, 68/69.

Vorwort des Verfassers

Im Jahre 1959 feierte die wissenschaftliche Welt den hundertsten Jahrestag der Entdeckung der Spektralanalyse. In zahlreichen Festveranstaltungen, -vorträgen und Aufsätzen wurde dabei der historischen Entwicklung dieses Analysenprinzips, das auch heute noch zu den leistungsfähigsten Verfahren zählt, sowie seiner Schöpfer Gustav Robert Kirchhoff und Robert Wilhelm Bunsen gedacht.

Obwohl die Entdeckung der Spektralanalyse die bekannteste und wohl auch die bedeutendste Leistung der beiden Wissenschaftler darstellt, hätten auch ihre anderen wissenschaftlichen Arbeiten ausgereicht, sie zu den Größten ihres Fachgebietes im vorigen Jahrhundert zu zählen. Der Bunsenbrenner, die Bunsensche Wasserstrahlpumpe, das Bunsenelement oder die Kirchhoffschen Gesetze für verzweigte Stromleiter gehören heute wie vor hundert Jahren zum praktischen bzw. theoretischen Rüstzeug aller angehenden Chemiker und Physiker.

Diese Aufzählung nur einiger weniger bleibender Leistungen zeigt schon, dass Bunsens Arbeit stärker auf die Praxis orientiert war, Kirchhoffs Bemühungen dagegen mehr in theoretische Richtung gingen. Der Anteil beider Forscher an der Entdeckung der Spektralanalyse ist bei späteren Würdigungen zwar hin und wieder Anlass zu Meinungsverschiedenheiten gewesen, doch liegt die wesentliche Ursache für die rasche und umfassende Bewältigung des Problems gerade in der Zusammenarbeit des theoretischen Physikers und des praktischen Chemikers.

Deshalb muss man die Begegnung und die Freundschaft zwischen Bunsen und Kirchhoff zu den äußerst glücklichen Umständen im Hinblick auf die Entstehung der Spektralanalyse rechnen. Dazu kam natürlich als wesentlicher Faktor, dass die Zeit für eine Verallgemeinerung des bis dahin vorliegenden, empirisch zusammengetragenen Materials zu diesem Gegenstand herangereift war.

Die gesellschaftlichen Verhältnisse um die Mitte des 19. Jahrhunderts stimulierten wissenschaftliche Entdeckungen wie auch technische Erfindungen außerordentlich stark. Die aufstrebende Bourgeoisie, deren wirtschaftliche Macht im Verlaufe der industriellen Revolution, vor allem nach der Revolution 1848/49 in Deutschland, immer mehr gewachsen war und die in England, Frankreich und den USA die politische Macht uneingeschränkt ausübte, sah immer stärker den Nutzen der Wissenschaft für die Produktion, das Verkehrswesen und den Handel.

Die Erfindung der Dampfmaschine und ihre Verwendung als Antriebsmittel für Maschinensysteme und Verkehrsmittel hatten ein augenfälliges Beispiel dafür gegeben. Die aufblühende Wissenschaft erfuhr deshalb eine immer stärkere Förderung, wobei sich schon bald sichtbare Erfolge zeigten.

Aufgrund bedeutender wissenschaftlicher Entdeckungen und Verallgemeinerungen um die Jahrhundertmitte entstanden seit den 60er und 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts neue, wichtige Industriezweige, wie die Elektroindustrie, die feinmechanisch-optische Industrie und die chemische Großindustrie.

Die Wechselbeziehungen zwischen Wissenschaft und Technik verdichteten sich, und das System der technischen Wissenschaften entwickelte sich entsprechend der Dynamik der Produktivkräfte.

Bunsens und Kirchhoffs Schaffen spiegelt diesen Prozess wider. Während Bunsens Arbeiten teilweise direkt produktionswirksam wurden, so z. B. im Hüttenwesen und in der Elektrotechnik oder auch bei der Gasbeleuchtung, haben Kirchhoffs theoretische Untersuchungen, vor allem zur Elektrizitätslehre, mitgeholfen, spätere technische Umwälzungen vorzubereiten.

Ihre Werke, allen voran die gemeinsam begründete Spektralanalyse, werden auch im kommenden Jahrtausend ihre berechnete Würdigung erfahren. Nicht nur die Ergebnisse ihrer Arbeit, sondern auch die Methodik ihrer Arbeitsweise, z. B. bei der Lösung eines solch komplexen Problems, wie es die Spektraluntersuchungen darstellten, vermittelt auch in unserer Zeit wichtige Lehren.

Während der Person und dem Werk Bunsens mehrere biographische Arbeiten gewidmet worden sind, darunter die umfang- und inhaltsreiche von Georg Lockemann [24], existieren über Kirchhoffs Leben bisher kaum Arbeiten, die über den Rahmen knapper Gedenk- und Würdigungartikel hinausgehen.

Eine Ausnahme bildet lediglich ein Aufsatz E. Warburgs, der sich auf Kirchhoffs Briefwechsel, insbesondere mit seinen näheren Angehörigen, stützt.

Es war deshalb nötig, Nachforschungen in Archiven einiger Wirkungsstätten Kirchhoffs anzustellen. Für die Unterstützung dabei möchte ich an dieser Stelle Frau Dr. Kirsten, Leiterin des Zentralen Archivs der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, und ihren Mitarbeitern sowie Herrn Dr. Kossak, Leiter des Archivs der Humboldt-Universität Berlin, danken.

Dank gebührt auch der Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz Berlin-Dahlem, die einen Mikrofilm von Briefen Kirchhoffs aus der ausgelagerten Sammlung Darmstaedter zur Verfügung stellte. Bei der Beschaffung waren in dankenswerter Weise die Herren Dr. Teitge und Dr. Wolf von der Handschriftenabteilung der Deutschen Staatsbibliothek Berlin behilflich.

Die Sektion Chemie der Technischen Universität Dresden erteilte die Erlaubnis zum Abdruck eines wenig bekannten Bunsen-Gemäldes; für seine diesbezüglichen Bemühungen möchte ich insbesondere Herrn Prof. Dr. Steger herzlich danken.

Karl-Marx-Stadt, im Mai 1971

Klaus Danzer

1 Der Lebensweg der beiden Forscher bis zu ihrer großen gemeinsamen Entdeckung

1.1 Robert Wilhelm Bunsen

Jugend, Studium und Wanderjahre

Am 30. März 1811⁶ wurde Robert Wilhelm Eberhard Bunsen in Göttingen geboren. Er war der vierte Sohn des Professors für neuere Sprachen, Dr. Christian Bunsen, der gleichzeitig Bibliothekar an der Göttinger Universität war, und dessen Ehefrau Auguste Friederike, geborene Quensel.

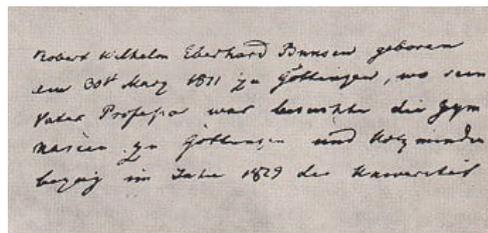


Abb. 3. Die ersten Zeilen eines handschriftlichen Lebenslaufes von Bunsen [24]

Von Bunsens Brüdern erkrankte der älteste, Carl, als Achtzehnjähriger beim Baden in der Leine; der zweite Bruder, Gustav, wandte sich nach dem Jurastudium der Beamtenlaufbahn zu und wurde später Ministerialrat in Hannover und Kurator der Universität Göttingen; sein dritter Bruder, Julius, studierte ebenfalls Jura und war später Amtsassessor und Bürgermeister von Einbeck.

Es nimmt bei der gesellschaftlichen Stellung seines Vaters nicht wunder, dass in Bunsens Elternhaus ein geistig reges Leben herrschte. Dazu trug auch bei, dass häufig ausländische Studenten als Pensionäre aufgenommen wurden und oft wissenschaftliche Persönlichkeiten dort verkehrten. Den Söhnen bot sich dabei Gelegenheit, sich Fremdsprachenkenntnisse und eine gute Allgemeinbildung zu erwerben.

Bunsens Wesen, das sich vor allem im Alter durch eine heitere Ausgeglichenheit und einen abgeklärten Humor auszeichnete, geht sicher nicht nur auf den Vater zurück, der von heiterem, humorvollem Gemüt war, sondern auch auf die stille, tief veranlagte Mutter.

In seiner Kindheit war Bunsen dagegen so lebhaft und eigensinnig, dass er damit die Eltern, vor allem aber seine Lehrer, oft in Aufregung versetzte. So zerschlug er im ersten Schuljahr, weil er eine scherzhaftige Bemerkung seines Lehrers als Verhöhnung auffasste, kurzerhand seine Schiefertafel auf dessen Kopf.

Wie seine Brüder besuchte auch Bunsen zunächst das Göttinger Gymnasium und wechselte für die beiden letzten Schuljahre nach Holzminden über. Hier legte er Ostern 1828 das Abitur ab, wobei nicht nur die Naturwissenschaften, sondern auch die alten Sprachen zu seinen stärksten Fächern zählten.

Insbesondere seine Liebe zum Lateinischen hat er bis ins hohe Alter gepflegt, originalsprachige Ausgaben von Cicero und Sueton waren seine bevorzugte Lektüre.

⁶Fast alle Bunsen-Biographien und Nachschlagewerke verzeichnen den 31. März 1811 als Geburtstag Bunsens, und seltsamerweise soll er selbst im Alter an diesem Tag seinen Geburtstag gefeiert haben. Ein handschriftlicher Lebenslauf (Abb. 3) weist jedoch den 30. März als Geburtsdatum aus; und auch die grundlegende Biographie von Lockemann [24] gibt diesen Tag - wohl nach der Eintragung im Kirchenbuch - an.

1828 bezog Bunsen die Universität seiner Vaterstadt, um hier Chemie zu studieren. Ordinarius dieses Faches war in Göttingen Friedrich Strohmeyer (1776-1835), der durch die Entdeckung des Cadmiums (1817) Berühmtheit erlangt hatte und ein glänzender Analytiker war.

Er hatte eines der wenigen chemischen Universitätslaboratorien für Unterrichtszwecke eingerichtet, noch ehe Justus Liebig (1803-1873) sein berühmtes Gießener Laboratorium gründete. Strohmeyer lehrte seine Schüler hier gründliches analytisches Arbeiten. Diese vorzügliche Ausbildung ist Bunsen später bei seinen eigenen Forschungen sehr zustatten gekommen.

Neben seinem chemischen Unterricht widmete sich Bunsen über das übliche Maß hinaus dem Studium der Mathematik und der Physik sowie den Lehrveranstaltungen Johann Friedrich Hausmanns (1782-1859) über Mineralogie, Geologie und Technologie.

Auch in botanischen und anatomischen Vorlesungen war er anzutreffen. Darüber hinaus vervollkommnete er sein handwerkliches Talent durch praktische Arbeit bei einem Glasbläser sowie bei einem Mechaniker. Hier fertigte er u. a. eine Waage an, die bei 200 g Belastung auf 10 mg genaue Werte lieferte und an der er noch als Professor in Marburg seine Schüler in die Grundzüge quantitativen Arbeitens einwies.

Bunsen erwarb sich so eine breite naturwissenschaftliche und praktische Bildung, die er in seinem späteren Leben stets glücklich zu vereinen und anzuwenden wusste.

Als die philosophische Fakultät 1829 eine Preisaufgabe über die verschiedenen Hygrometerarten stellte, entschloss sich Bunsen, dieses Thema zu bearbeiten. Seine reich illustrierte, lateinisch verfasste Abhandlung wurde mit dem ausgesetzten Preis ausgezeichnet und gedruckt, und Bunsen konnte sie darüber hinaus als Dissertation einreichen.

Das letzte Studienjahr vor Bunsens Promotion war auch in Göttingen durch die Auswirkungen der französischen Julirevolution von 1830 gekennzeichnet. In Paris und anderen Industriezentren hatten sich dabei die Arbeiter, Kleinbürger und Studenten gegen die reaktionären Verordnungen und Maßnahmen der Regierung erhoben.

Die französischen Juliereignisse blieben nicht ohne Auswirkungen auf die anderen europäischen Staaten. In Deutschland gehörte auch Göttingen zu den revolutionären Zentren. Eine 1200 Mann starke Bürgergarde und eine 600 Mitglieder umfassende Studentenwehr unterstützten gemeinsam einen demokratischen Gemeinderat, der die fortschrittlichen französischen Ideen auch hier zu verwirklichen suchte.

Die revolutionäre Atmosphäre wurde mit Hilfe hannoverscher Truppen zwar erstickt, glomm aber unter der progressiven Intelligenz und dem Bürgertum weiter und entfachte sich wenige Jahre später aufs neue an der Aktion der sogenannten "Göttinger Sieben", deren antiabsolutistischer Protest die liberale Oppositionsbewegung im Vormärz förderte.

Angesehene Göttinger Professoren protestierten durch die Verweigerung des Treueeides gegen die Politik der Regierung, insbesondere gegen einen Verfassungsbruch des hannoverschen Königs.

Unter ihnen befanden sich auch der Physiker Wilhelm Weber (1804 bis 1891), der durch seine Wellenlehre bekannt geworden war und der zusammen mit Karl Friedrich Gauß (1777-1855) in Göttingen den ersten elektromagnetischen Telegraphen gebaut hatte, der Historiker Georg Gottfried Gervinius (1805-1871), der später in Heidelberg zu dem Freundeskreis um Bunsen gehörte, sowie die Sprachforscher Jakob und Wilhelm Grimm (1785-1863 bzw. 1786-1859), unvergessen durch ihre Sammlung der "Kinder- und Hausmärchen".

Bunsen scheint sich an den damaligen politischen Ereignissen nicht beteiligt zu haben, wenn

er auch, wie sich noch zeigen wird, sein ganzes Leben ein gesundes Urteil über "die Obrigkeit" hatte. Er bereitete sich während jener Monate intensiv auf sein Dokorexamen vor, das er im Oktober 1931 mit der feierlichen Promotion abschloss.

Ein Reisestipendium der hannoverschen Regierung ermöglichte ihm die Erfüllung seines sehnlichen Wunsches, nach dem "Bücherstudium" nun seine praktische Anwendung, die Natur, die Menschen und ihre technischen Werke, kennzulernen. Einen großen Teil der Reise legte er zu Fuß zurück, was nicht nur seinem Geldbeutel, sondern auch seinem geologischen Forscherdrang zugute kam.

Hatte er schon von früheren gelegentlichen Ausflügen in den Ferien kistenweise Steine und Mineralien nach Hause geschickt, so sollte er nun in noch größerem Maße Gelegenheit dazu haben.

Im Mai 1832 trat er seine Reise in Göttingen an und fuhr zunächst mit der Postkutsche nach Kassel. Recht originell erscheint uns heute Bunsens Schilderung der "strapaziösen und schnellen" Reise:

"Die Gegenstände fliegen bei dieser Art zu reisen so schnell an einem vorüber, dass man sich erst an den gehäuften Wechsel von Eindrücken gewöhnen muss, um sie mit gehöriger Aufmerksamkeit und ohne eine Art von Betäubung ertragen zu können."

In Kassel besichtigte er zahlreiche Fabriken, darunter auch die derzeit berühmten Maschinenwerke von Henschel, in denen er eine der ersten deutschen Dampfmaschinen sehen konnte. Über Nordhausen, Stolberg, Quedlinburg und Magdeburg, wo er die Sammlungen der höheren Gewerbeschule sowie zahlreiche Betriebe besichtigte, gelangte Bunsen nach Berlin.

Die große Stadt mit ihrem regen Verkehr, ihren imposanten Gebäuden und ihren Lebensgewohnheiten machte auf Bunsen großen Eindruck. Neben den für ihn unumgänglichen Besuchen von Sammlungen und Fabriken, darunter der königlichen Porzellanmanufaktur, machte er sich mit zahlreichen bedeutenden Wissenschaftlern bekannt, für die er meist Empfehlungsschreiben vorzuweisen hatte.

Darunter waren der pharmazeutische Chemiker Sigismund Friedrich Hermbstädt (1760-1833), dessen Vorlesungen er zeitweilig hörte, der Mineraloge Gustav Rose (1798-1873) und dessen Bruder, der bedeutende analytische Chemiker Heinrich Rose (1795-1864).

Bei diesem lernte Bunsen auch Friedlieb Ferdinand Runge (1795-1867) kennen, der später durch die Entdeckung des Phenols, des Anilins und der ersten Teerfarbstoffe berühmt werden sollte. Die Originalität dieses Mannes beschrieb Bunsen:

"... ich fand ihn auf dem Sofa liegend, mit langem gelockten, bis auf die Schultern herabhängendem Haar, in einer Toilette à la Schustergeselle, mit der einen Hand einen Niederschlag filtrierend, während er mit der anderen ein paar Kartoffeln umrührte, die er sich über einer chemischen Lampe briet. - Ich habe viel Neues und Interessantes bei ihm gesehen."

Besonders freundete sich Bunsen mit dem Ordinarius für Chemie Eilhard Mitscherlich (1794-1863) an, bei dem er oft zu Gast war und dessen experimentelle Forschungen ihn sehr beeindruckten. Mit ihm vereinbarte er beim Abschied eine gemeinsame geologische Forschungswanderung durch die Eifel.

Nach zweimonatigem Aufenthalt verließ Bunsen Berlin mit dem Vorsatz, dem Rate Heinrich Roses folgend, Paris und Wien zu besuchen. Zunächst wandte er sich jedoch auf gleichem Wege zurück nach Kassel, unterwegs stets bemüht, kein Bergwerk, keine Fabrik und keinen

geologisch interessanten Fleck auszulassen.

Von Kassel aus begab er sich zunächst nach Gießen, um hier Justus Liebig und dessen neuartiges Unterrichtslaboratorium kennenzulernen. Hier traf er auch Friedrich Wöhler (1800-1882), der kurz zuvor den Harnstoff synthetisiert hatte und nun gemeinsam mit Liebig an der später berühmt gewordenen Untersuchung der Benzoesäure und ihrer Abkömmlinge arbeitete.

Auch hier wurde Bunsen freundlich und zuvorkommend aufgenommen und mit Empfehlungen an die bedeutendsten französischen Chemiker, die Liebig von seinem Studium in Paris her kannte, versehen.

Im September 1832 gelangte er nach Heidelberg, wo er u. a. den Chemieprofessor Leopold Gmelin (1788-1853) besuchte.

Als er ihm gegenüber saß, ahnte er gewiss nicht, dass er zwanzig Jahre später als Nachfolger seines Gesprächspartners nach Heidelberg berufen werden und in dieser Stadt, deren Schönheiten er seinen Eltern nicht genug preisen konnte, den größten Teil seines Lebens verbringen sollte.

Über Mannheim gelangte er dann - zunächst mit dem Dampfschiff - nach Mainz und von dort nach Wiesbaden, von wo aus er den Rheingau zu Fuß durchwanderte und über die Stationen Hattenheim, Rüdesheim, St. Goar mit dem Loreleifelsen, Koblenz und Niedermendig, das er der berühmten Basaltsteinbrüche wegen aufsuchte, schließlich nach Bonn gelangte.

Hier wurde er bereits von Mitscherlich erwartet, und die beiden Forscher unternahmen nun ihre verabredete geologische Wanderung durch das Siebengebirge und die Eifel. Dabei hat Bunsen, wie er selbst berichtete, "... sehr genussreiche und interessante Tage verlebt. Ich weiß nicht, ob mich mehr die Merkwürdigkeiten der Gegend oder die Unterhaltung mit Mitscherlich angezogen hat, dessen Anspruchlosigkeit und einnehmendes Wesen ein Zusammensein mit ihm so angenehm macht."

Anschließend: reiste Bunsen im überfüllten Postwagen nach Paris, wo er sich acht Monate aufhielt. Nachdem er sich in den ersten Wochen mit der Stadt und ihrem Leben vertraut gemacht hatte, suchte er dann die ihm empfohlenen Wissenschaftler auf, darunter den bedeutenden Physiker und Chemiker Henri Victor Regnault (1810-1878), den Chemiker Theophile Jules Pelouze (1807-1867), den Physiker Cesar Mansudte Desprez (1792-1863) und den Mineralogen Alexander Brongniart (1770-1847).

Er nahm an einer Sitzung der Academie des Sciences teil, besuchte im Wintersemester 1832/33 Vorlesungen an der Ecole polytechnique und arbeitete sogar eine Zeitlang im Laboratorium des Pharmazeuten Henri Francois Gaultier de Claubry (1792-1878).

Darüber hinaus verbrachte er wieder viel Zeit mit der Besichtigung von naturwissenschaftlichen Museen, Sammlungen und Betrieben. Aber auch der reizvollen Pariser Umgebung und den Kulturstätten widmete er viel Zeit.

Ende Mai 1833 verließ Bunsen die französische Hauptstadt.

Die hannoversche Regierung hatte ihm weitere Mittel zur Fortsetzung seiner Studienreise bewilligt, die ihn zunächst mit der Post durch das Loire-Tal nach Clermont-Ferrand führte. Weiter ging es über Montbrison nach St. Etienne, wobei Bunsen einen Teil der Strecke mit der Eisenbahn zurücklegte, die er hier das erste Mal in seinem Leben kennenlernte.

Sie diente in der Hauptsache der Kohlenbeförderung und führte einen Personenwagen mit. Den großen Eindruck, den dieses Ereignis auf ihn ausübte, schilderte Bunsen mit folgenden Worten:

"Wir hatten kaum das Frühstück beendet, als auch schon alles herauslief, um den wunder-

baren Dampfwagen zu sehen, welcher sich aus der Ferne majestätisch auf uns zu bewegte. Befremdender gibt es gewiss keinen Anblick, als den dieser lokomotiven Dampfmaschine.

... Es gibt in der Tat nichts wohlfeileres und bequemerer als das Reisen à la vapeur, und ich glaube, die Zeit ist nicht fern, wo man auch in Deutschland anfangen wird, die Pferde durch den Dampfwagen und den Hafer durch die Steinkohle zu ersetzen."

Damit sollte er recht behalten, denn schon zwei Jahre später wurde mit der Strecke Nürnberg-Fürth der erste Schritt auf dem Wege zu einem deutschen Eisenbahnnetz getan.

Nachdem Bunsen noch die mechanischen Seidenwebereien von Lyon besichtigt hatte, wanderte er zu Fuß durch das Rhonetal bis Genf. Auf ausgedehnten Märschen von täglich 10 bis 12 Stunden lernte er "alle Schönheiten der Schweiz von den ewigen Schneefeldern der Gemmi an bis zu der himmlischen Aussicht des Rigi in ihrer vollen Pracht" kennen.

Als Bunsen dann im Juni die Grenze nach Österreich überschreiten wollte, wurde er von den Beamten der reaktionären Habsburger Monarchie, denen die revolutionären Vorkommnisse in Göttingen gut bekannt waren, unter fadenscheinigen Vorwänden zurückgewiesen.

Mit Hilfe von Freunden gelang ihm jedoch der Grenzübertritt an anderer Stelle, und er wanderte nun nach Innsbruck, besichtigte die Salzwerke bei Reichenhall und gelangte über Salzburg nach Wien.

Da er in den Universitätsferien eintraf, fand er hier nur wenige Wissenschaftler vor. Dennoch blieb er sechs Wochen, in denen er wieder viele technische Anlagen studierte.

Die Heimreise führte ihn über Prag und durch die Sächsische Schweiz nach Dresden, von wo aus er der Bergakademie Freiberg und den dortigen Erzgruben einen Besuch abstattete.

Über Leipzig und Halle gelangte er schließlich wieder nach Göttingen, wo er von seinen Eltern nach 17monatiger Abwesenheit herzlich begrüßt wurde.

Die Reichhaltigkeit der Eindrücke, die er auf dieser Reise gewonnen hatte sowie die wissenschaftlichen und technischen Kenntnisse, die er dabei erwarb, wurden ihm ein wertvolles Rüstzeug für seine weitere wissenschaftliche Laufbahn, für die er sich inzwischen entschlossen hatte.

Bunsen begann sofort nach seiner Rückkehr mit der Arbeit an seiner Habilitationsschrift über komplexe Doppelcyanide.

Im Januar 1834 fand die Habilitation zum Privatdozenten für Chemie statt, und Bunsen hielt in den folgenden Semestern Vorlesungen über Stöchiometrie (Maß und Gewicht in der Chemie), toxikologische Chemie (Chemie der Gifte) sowie Zoo- und Phytochemie (Chemie im Tier- und Pflanzenreich) als Ergänzung zu Strohmeyers chemischer Hauptvorlesung. Daneben beschäftigte er sich eingehend mit mineralogischen Fragen.

Sehr bald schon konnte er eine weittragende Entdeckung über die Anwendung frischgefällten Eisenhydroxids als Gegengift bei Arsenvergiftungen veröffentlichen. Dieses Heilmittel bewährte sich sofort in einigen Vergiftungsfällen, so dass alle Apotheken des Rheinlandes angewiesen wurden, die erforderlichen Chemikalien vorrätig zu haben.

Als akademischer Lehrer in Kassel

Als 1834 Strohmeyer starb, übernahm Bunsen kommissarisch dessen Vorlesungen und die Leitung des Laboratoriums, bis Wöhler offiziell als Nachfolger berufen wurde. Um dessen frei werdende Stelle an der Gewerbeschule Kassel bewarb sich neben anderen auch Bunsen, der zu seiner großen Freude ernannt wurde, nicht zuletzt aufgrund der Fürsprache Wöhlers.

Im April 1836 siedelte der fünfundzwanzigjährige Bunsen als einigermaßen gut bezahlter Leh-

rer nach Kassel über. Seine dortige Unterrichtstätigkeit ließ ihm genügend Zeit für eigene wissenschaftliche Untersuchungen. Durch seine Beschäftigung mit Arsenik war er auch auf die sogenannte Cadetsche Flüssigkeit aufmerksam geworden, eine giftige, widerlich riechende, selbstentzündliche Substanz, deren Zusammensetzung damals noch nicht erforscht war und deren Gefährlichkeit man nicht in vollem Umfang kannte.

Bunsen interessierte vor allem die Frage, in welchem Umfang das "giftige" Arsen, dem Stickstoff analog, in organischen Verbindungen auftreten kann.

Die durch Erhitzen eines Gemisches von Arsenik und Kaliumacetat erhaltene Flüssigkeit, die er Alkarsin nannte, reinigte er zunächst gründlich und ermittelte ihre physikalisch-chemischen Konstanten und die Zusammensetzung $C_4H_{12}As_2O$.

Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), neben Liebig und Wöhler einer der Hauptverfechter der Radikaltheorie, nahm in dieser Substanz ein tertiäres Radikal Kakodyl (nach dem widerlichen Geruch so benannt) an und bezeichnete Bunsens Alkarsin danach als Kakodyloxid.

Nach der Radikaltheorie, die in die damals ständig wachsende Fülle organischer Substanzen eine gewisse Ordnung bringen konnte, wurden alle organischen Verbindungen als Oxide, Hydride, Hydroxide, Chloride usw. sogenannter Radikale betrachtet, die als eine Art Elemente der organischen Chemie galten.

Die Versuche, sie zu isolieren, waren aber bislang fehlgeschlagen. Durch Bunsens weitere Arbeiten sollte die Radikaltheorie ihre bis dahin stärkste Stütze erhalten.

Ungeachtet einer schweren Explosion, die sich im November 1836 ereignete und bei der sich Bunsen eine bleibende Augenschädigung zuzog, setzte er seine Experimente fort, wobei er das Oxydationsprodukt des Alkarsins, das er Alkargen nannte (die Kakodylsäure), herstellen konnte und daraus eine ganze Reihe weiterer Abkömmlinge, wie Kakodylsulfid, -fluorid, -jodid, -bromid, -chlorid und -cyanid.

Die beiden letztgenannten erwiesen sich dabei als besonders gefährlich; aufgrund ihrer Giftigkeit wurden sie seit dem ersten Weltkrieg als sogenannte Blaukreuz-Kampfstoffe in verbrecherischer Weise im chemischen Giftkrieg eingesetzt.

Die verheerende Wirkung des Kakodyleyanids musste Bunsen am eigenen Leibe erleben. Eine Vergiftung warf ihn auf das Krankenlager, wo er mehrere Tage zwischen Leben und Tod schwebte. Es zeugt von seinem Mute und seinem Forscherdrang, dass er die gefährlichen Arbeiten dennoch fortsetzte.

Den Höhepunkt seiner jahrelangen Untersuchungen stellte die Isolierung des freien Radikals Kakodyl dar, das er durch Umsetzung von Kakodylchlorid mit Zink erhielt (tatsächlich handelt es sich dabei allerdings um die bimolekulare Verbindung $(CH_3)_2As-As(CH_3)_2$, das Tetramethyl-diarsin).

In seinen Jahresberichten würdigte Berzelius die meisterhafte Experimentalarbeit Bunsens, die dieser 1841 in drei größeren Abhandlungen "Untersuchungen über die Kakodylreihe" veröffentlicht hatte, mit den Worten:

"Bunsen hat durch diese Untersuchungen seinen Namen in der Wissenschaft unvergesslich gemacht ... ; Diese Arbeit ist ein Grundpfeiler für die Lehre von zusammengesetzten Radikalen, von denen das Kakodyl noch das einzige ist, welches ... bis in alle Einzelheiten verfolgt werden konnte."

Darüber hinaus stellte Bunsens Kakodylarbeit aber auch den Ausgangspunkt zur Untersuchung der metallorganischen Verbindungen dar, deren Erforschung durch Edward Frankland

(1825-1899) grundlegende Fragen zur Wertigkeit der Elemente beantwortete und schließlich zu August Kekules (1829 bis 1896) Erkenntnis der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs und der Strukturtheorie der organischen Verbindungen führte.

Bunsen selbst hat sich jedoch mit derartigen theoretischen Fragen nicht beschäftigt. Da ihm in der jungen organischen Chemie theoretische Meinungsverschiedenheiten einen zu breiten Raum einnahmen, hat er ihr nach seinen Kakodyluntersuchungen ganz den Rücken gekehrt und sich ausschließlich anorganischen und physikalisch-chemischen Arbeiten zugewandt, wobei praktische Fragen für ihn stets im Vordergrund standen.

Mit einer solchen wurde er in seiner Kasseler Zeit ebenfalls konfrontiert. Die hessische Oberbergdirektion forderte ihn auf, die Prozesse der Eisenverhüttung in den Hochöfen von Veckershausen und der Kupfergewinnung bei Rotenburg zu untersuchen, um den Betrieb möglicherweise rentabler zu gestalten.

Dazu schien Bunsen eine Analyse der sich entwickelnden Gase am geeignetsten zu sein, von denen er Proben aus den verschiedenen Zonen des Hochofens entnahm.

Alle dazu nötigen Apparaturen und Bestimmungsverfahren musste er selbst schaffen. Er tat dies mit gewohnter Gründlichkeit, so dass er mit diesen Untersuchungen die klassische Gasanalyse begründete.

Bunsen stellte fest, dass 75% der zugeführten Wärmeenergie nutzlos verloren ging (50% durch unvollständige Verbrennung und 25% Wärmeverluste durch Entweichen der heißen Gichtgase). Diese Bilanz ließ sich seiner Meinung nach verbessern durch Verwendung der Gichtgase zum Graueisen- und Rohstahlschmelzen, zur Feuerung der gebläsetreibenden Dampfmaschinen bzw. zur Produktion der für die Öfen nötigen Kohlen.

Es muss hervorgehoben werden, dass Bunsen diese bedeutsamen Ergebnisse 1838/39 veröffentlichte, zu einer Zeit also, als der Satz von der Erhaltung der Energie noch nicht aufgestellt war, sondern erst in den Köpfen einiger weniger Wissenschaftler Gestalt anzunehmen begann. Bunsen legte diese Ideen, deren er sich rein intuitiv sicher war, seinen Betrachtungen und Rechnungen konsequent zugrunde.

Bei der Kupferverhüttung ermittelte er 50% Brennstoffverluste. Seine Untersuchungen und Empfehlungen wurden zur Grundlage wichtiger Umwälzungen im Hüttenwesen, und zwar weit über Deutschlands Grenzen hinaus.

Seitdem ist die Nutzung der Gichtgase im Verhüttungsprozess selbst oder zu Heizzwecken ebenso selbstverständlich geworden wie die Anwendung seiner gasanalytischen Methoden. Obwohl durch seine Arbeiten sofort bedeutende Einsparungen erzielt werden konnten, die in die Millionen gingen, hat Bunsen den Gedanken an eine finanzielle Ausbeutung weit von sich gewiesen.

Auch wenn man ihm später bei ähnlich bedeutenden Entdeckungen und Erfindungen dergleichen nahelegte, war er zutiefst empört, er konnte sich nicht genug über Wissenschaftler wundern, die bestrebt waren, ihre Forschungsergebnisse in bare Münze umzuwandeln. Sein Leitspruch "Arbeiten ist schön, aber Erwerben ist ekelhaft" entspricht einem Wesenszug bürgerlicher humanistischer Wissenschaftler, den sich viele bedeutende Gelehrte, unter anderen auch Marie Curie, zu eigen machten.

In ihm drückt sich neben der Freude an der schöpferischen wissenschaftlichen Arbeit auch ein gewisses Unverständnis für gesellschaftliche Zusammenhänge, insbesondere für den Produktionsprozess als Ganzes, aus.

Als gewissenhafter Analytiker untersuchte er auch die beim Verhüttungsprozess anfallenden Schlacken und fand dabei größere Mengen Molybdän neben Kupfer, Nickel, Cobalt und Mangan. Daraufhin wurden diese Abfälle in Zukunft aufgearbeitet.

Während seiner Kasseler Zeit veröffentlichte Bunsen weitere Arbeiten, vor allem über Mineralanalysen. Hauptsächlich seine beiden bedeutenden Untersuchungen über Kakodyl und über die Hochofenprodukte hatten seinen Namen so berühmt gemacht, dass er im August 1839 einen Ruf als außerordentlicher Professor an die hessische Landesuniversität Marburg erhielt.

Bunsen als Professor an der Universität Marburg

Nachdem Bunsen seine Stellung im Oktober angetreten hatte, richtete er nach dem Gießener Vorbild Liebig's in Marburg ein chemisches Unterrichtslaboratorium ein. Seine Experimentalvorlesungen über allgemeine und anorganische Chemie, Elektrochemie und Stöchiometrie zogen Scharen von Hörern, auch aus dem Ausland an. Von seinen damaligen Schülern erinnerte sich später Heinrich Debus (1824-1916):

"Schon die erste Vorlesung machte einen großen Eindruck auf mich. Einen solchen Vortrag hatte ich vorher nie gehört. In freier fließender Rede entwickelte er den Gegenstand vor seinen Zuhörern, kein Experiment unterbrach den Vortrag, jedes war am rechten Platz und wurde mit einer Sicherheit und Leichtigkeit ausgeführt, wie sie wohl selten vorkommen."

Und John Tyndall (1820-1893) meinte:

"Die hervorragendste Erscheinung an der Universität war Bunsen. Ich blickte auf ihn zurück als auf den Mann, der meinem Ideal eines Universitätslehrers am nächsten kommt."

Binahe alle Experimente dachte sich Bunsen selbst aus; sie waren verblüffend einfach und überzeugend. Ein Ereignis ersten Ranges für alle Marburger Studenten war stets die letzte elektrochemische Vorlesung, in der Bunsen die Wärme- und Lichtwirkung des elektrischen Flammenbogens demonstrierte.

Dazu verwendete er seine Zink-Kohle-Batterie, die später als "Bunsenelement" weltbekannt wurde und bis zur Erfindung der Dynamomaschine durch Werner v. Siemens (1816-1892) die stärkste und billigste Stromquelle darstellte.

In dem 1839 von William Robert Grove (1811-1896) erfundenen galvanischen Element (aus den Halbelementen Zink/Schwefelsäure und Salpetersäure/Platin) hatte er das teure Platin durch Kohleelektroden ersetzt, die er durch Glühen einer Masse von feingepulvertem Koks, Steinkohle und Zuckerlösung selbst anfertigte. Als Elektrolytlösung diente konzentrierte Salpetersäure, später Chromsäure.

Mit dieser Batterie schmolz und verbrannte er in seiner Vorlesung, die dieser Effekte wegen abends stattfand, verschiedene Metalle im Lichtbogen und beleuchtete mit seiner Hilfe die nahegelegene Elisabethkirche.

Auch bei seinem Element verzichtete Bunsen auf jegliche kommerzielle Nutzung. Der französische Fabrikant Louis Joseph Deleuil (1805-1862), der damit zu großem Reichtum gelangt war, gab anlässlich eines Parisaufenthaltes Bunsens ein Fest, bei dem er seinen Garten durch Bogenlampen; die von Bunsenbatterien gespeist wurden, taghell erleuchtete.

Die akademischen Sommerferien verbrachte Bunsen auf ausgedehnten Reisen und Wanderungen, die auch immer zu geologischen Exkursen genutzt wurden. So reiste er mehrmals nach Frankreich und Italien sowie nach England und Schweden, wo er in Stockholm mit dem Altmeister der Chemie, Berzelius zusammentraf.

Bunsens Hochofenuntersuchungen veranlassen die British Association for Advancement of Science, ihn um eine Analyse des englischen Eisenhüttenprozesses zu bitten, bei dem nicht wie in Deutschland Holz sondern Steinkohle verwendet wurde.

Gemeinsam mit seinem ehemaligen Schüler Lyon Playfair (1819-1898) stellte er fest, dass hier sogar 81,5% der Wärmeenergie verloren ging.

Als die dänische Regierung für 1846 eine eingehende geologische Erkundung Islands vorbereitete, forderte sie neben dem Geologen Wolfgang Sartorius v. Waltershausen (1809-1876), einem bekannten Vulkanforscher, sowie dem Mineralogen Alfred des Cloizeau (1817-1897) auch Bunsen auf, an der Expedition teilzunehmen.

Bunsen sagte zu und begab sich im Mai auf die Reise, die ein halbes Jahr dauern sollte. Im Mittelpunkt stand die Untersuchung der Geysire und des Vulkans Hekla, dessen Tätigkeit gerade im Abklingen war.

Bunsen sammelte Mineralien und Aschen, entnahm allerorten Gas- und Wasserproben, die er teilweise in einem improvisierten Labor an Ort und Stelle untersuchte, und nahm zahlreiche Temperaturmessungen vor. Auf diese Weise gelangte er zu grundsätzlichen Erkenntnissen über die chemischen Vorgänge in Vulkanen und zur Erklärung der periodischen Geysirtätigkeit.

Von der Eigenart der isländischen Gebirgswelt zeigte sich Bunsen sehr beeindruckt:

"Es ist eine grauenhafte aber wunderbar schöne Natur, hier in diesem hohen Norden, die ich nie bereuen werde, gesehen zu haben, trotz der unerhörten Entbehrungen und Anstrengungen, denen man hier ausgesetzt ist, bei denen ich mich aber ... kräftig und kerngesund fühle ..."

Nach seiner Rückkehr konnte er Berzelius mitteilen:

"Ich bin in diesen Tagen von meiner isländischen Reise mit einem wissenschaftlichen Material zurückgekehrt, dessen Bearbeitung meine Tätigkeit wohl ausschließlich auf längere Zeit in Anspruch nehmen wird."

Tatsächlich hat er volle fünf Jahre gebraucht, um alle Gas-, Wasser- und Gesteinsproben zu analysieren. Dabei vervollkommnete er insbesondere die schwierige Silikatanalyse und gab gleichzeitig seinen Schülern Gelegenheit, sich darin auszubilden.

Als Professor in Breslau und Heidelberg

Die industrielle Umwälzung, die Bunsen auf seinen Reisen in Frankreich und England kennengelernt hatte, zeichnete in den dreißiger und vierziger Jahren in immer stärkerem Maße auch Deutschland.

Der Zusammenschluss der meisten deutschen Partikularstaaten zum Zollverein (1834) hatte wesentliche Schranken beseitigt, die der Entfaltung der industriellen Revolution in Deutschland entgegenstanden. Der Bergbau, die Eisenindustrie, der Maschinenbau und nicht zuletzt auch die chemische Industrie dehnten sich sprunghaft aus, und auch das deutsche Eisenbahnnetz wuchs, wie Bunsen vorhergesehen hatte, rasch an.

1845 umfasste es bereits mehr als 2000 km.

Bald jedoch genügten die Fortschritte, die der Zollverein gebracht hatte, nicht mehr. Nur eine vollständige wirtschaftliche und politische Einheit Deutschlands konnte der kapitalistischen Produktionsweise und damit der vollen Entfaltung ihrer Produktivkräfte zum Durchbruch verhelfen.

Dieses Ziel erstrebte die deutsche Bourgeoisie. Aber nur der Heroismus des kämpfenden Proletariats, das unter den Wirtschaftskrisen, Missernten und Hungersnöten am stärksten zu leiden

hatte, erbrachte schließlich nach 1848/49 eine Liberalisierung der Produktionsverhältnisse.

Die demokratische Einheit Deutschlands wurde mit dem Verrat der Revolution durch die Großbourgeoisie an den Adel verhindert. Dafür hatte die Bourgeoisie wirtschaftliche Zugeständnisse erhalten und nutzte nun die restaurierte reaktionäre Macht gegen Demokratie und Arbeiterklasse zur Steigerung ihres Profits.

Auch in Hessen wurden 1849/50 die politischen Verhältnisse unter dem reaktionären Regime des berüchtigten Ministers Hassenpflug immer unerträglicher. Sie zeigten ihre Auswirkungen bis in das Universitätsleben, so dass Bunsen, der an den revolutionären Ereignissen keinen aktiven Anteil genommen hatte, den Gedanken an einen Fortgang immer ernsthafter erwo.

Sein Ansehen als Lehrer und Forscher war in- zwischen so gewachsen, dass er mehrere Berufungen an andere Universitäten erhielt. Bunsen entschloss sich deshalb, nach Breslau an die dortige Universität zu gehen, wo ihm der Bau eines neuen chemischen Institutes zugesichert wurde.

Er blieb auch bei seiner Zusage, als ihm wenig später der Lehrstuhl des in den Ruhestand tretenden Leopold Gmelin in Heidelberg angeboten wurde, und siedelte im April 1851 nach Breslau über.

Hier sollte er jedoch nur kurze Zeit wirken. In Breslau mit seiner "preußischen Atmosphäre" scheint er sich nie recht wohl gefühlt zu haben. Allein die Bekanntschaft mit Kirchhoff, der ein Jahr früher als außerordentlicher Professor für Physik hierher berufen worden war, ließ ihn die Gedanken an seinen aufgegebenen Marburger Freundeskreis vergessen.

Als jedoch 1852 der dritte Ruf aus Heidelberg an ihn erfolgte, sagte Bunsen schließlich zu. Der Lehrstuhl für Chemie war nach Gmelins Rücktritt noch immer unbesetzt, da die dortige Fakultät nur eine anerkannte Kapazität vom Range Liebig's oder Bunsens gewinnen wollte, was ihr "jedes Opfer" wert war.

Liebig, dem im voraus alle Forderungen, die er stellen würde, bewilligt wurden, hatte jedoch ebenfalls abgelehnt und statt dessen München vorgezogen.

Sofort nach seiner Ankunft in Heidelberg wurde Bunsen der Titel eines "Großherzoglichen Hofrats" verliehen. Sein anfängliches Gehalt war für damalige Verhältnisse ungewöhnlich hoch, es betrug 2700 Gulden, wozu noch 400 G. Mietentschädigung und 750 G. Laboratoriumskosten kamen.

Außerdem wurde ihm die Errichtung eines neuen, großzügig ausgestatteten Laboratoriums zugesichert. Vorläufig musste er sich jedoch mit den Räumen des alten Dominikanerklosters begnügen, in denen Abzüge, Wasser- und natürlich auch Gasleitungen fehlten.

Bunsens Name sorgte dafür, dass seine Vorlesungen und Praktika von Anfang an von in- und ausländischen Studenten, die später größtenteils selbst bedeutende Wissenschaftler werden sollten, überlaufen waren (siehe Übersicht im Anhang). Zum Geheimnis seiner erfolgreichen Lehrtätigkeit gehörte vor allem, dass er den ganzen Tag bei seinen Schülern im Laboratorium verbrachte und sie mit allen Handgriffen und all den kleinen Tricks, die er in seiner langjährigen analytischen Praxis ersonnen hatte, vertraut machte.

Bereits in Breslau war es Bunsen gelungen, mit Hilfe seiner Zink-Kohle-Batterie erstmals Magnesium in größeren kompakten Stücken elektrolytisch abzuscheiden. In Heidelberg setzte er diese Versuche fort, wobei es ihm glückte, auch Chrom und Aluminium elektrolytisch darzustellen.

Als 1855 das neuerbaute Universitätslaboratorium mit seinen Gasanschlüssen bezogen werden konnte, fand Bunsen sogleich Gelegenheit für eine Erfindung, die große allgemeine Bedeutung erlangen sollte. Einen Gasbrenner, den sein Schüler Henry Enfield Roscoe (1833-1915) aus England mitgebracht hatte, konstruierte er so um, dass das in den Brenner einströmende Gas regulierbare Mengen Luft ansaugen konnte, wodurch man sowohl leuchtende als auch nichtleuchtende, ruhig brennende und rußfreie Flammen erhalten konnte.

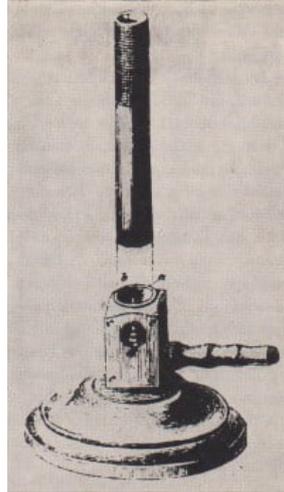


Abb. 4. Ursprüngliche Form des Bunsenbrenners [3] von Bunsen [24]

Dieser Bunsenbrenner (Abb. 4) ist auch heute noch - teilweise mit geringfügigen Veränderungen - in den chemischen Labors der ganzen Welt zu finden, und auch die modernen Gaskocher beruhen auf seinem Prinzip.

Der Bunsenbrenner war damals zusammen mit einem anderen von Bunsen erfundenen Instrument, dem ebenso einfachen wie genial erdachten Fettfleckphotometer, eine wichtige Grundlage seiner gemeinsam mit Roscoe durchgeführten photochemischen Untersuchungen. Diese in fünf Abhandlungen veröffentlichten Arbeiten bezeichnete Wilhelm Ostwald (1853-1932), der sie später in seine Reihe "Klassiker der exakten Wissenschaften" aufnahm, nicht nur schlechthin

"... als ein klassisches Vorbild, sondern geradezu als das klassische Vorbild für alle späteren experimentellen Arbeiten auf dem Gebiet der physikalischen Chemie ...

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.

Dadurch bietet diese Untersuchung eine hohe Schule der Experimentierkunst dar ..."

Im Mittelpunkt der Arbeit, mit der der Grundstein der wissenschaftlichen Photochemie gelegt wurde, standen photochemische Reaktionen (wie die von Wasserstoff mit Chlor zu Chlorwasserstoff), die um so rascher verlaufen, je stärker die Belichtung ist.

Bunsen und Roscoe fanden bei ihren diffizilen Untersuchungen, dass dabei tatsächlich Strahlungsenergie verbraucht wird und das Licht die Reaktion nicht nur auslöst.

Dabei erwies es sich, dass die verschiedenen Spektralbereiche des Sonnenlichtes unterschiedlich wirkten, und zwar vom Rot zum Violett und Ultraviolett hin zunehmend schneller und energischer.

Die Experimente und Berechnungen zogen sich beinahe über sieben Jahre hin. Als Roscoe 1859 als Professor nach London ging, blieb er mit Bunsen in Verbindung und kam jedes Jahr in den Herbstferien nach Heidelberg, um die gemeinsame Arbeit fortzusetzen.

Anschließend unternahmen die beiden Freunde dann stets eine Erholungs- und Bildungsreise, oft gemeinsam mit anderen Heidelberger Bekannten. Zuletzt schien das Interesse Bunsens an den photochemischen Untersuchungen zu erlahmen. Auf eine rücksichtsvolle Mahnung Roscoes entschuldigte sich Bunsen jedoch:

"Im Augenblick bin ich und Kirchhoff mit einer gemeinschaftlichen Arbeit beschäftigt, die uns nicht schlafen lässt."

Kirchhoff, der Freund aus der Breslauer Zeit, war auf Bunsens Veranlassung 1854 nach Heidelberg berufen worden. Mit ihm begann er 1859 jene Versuche, die zur Begründung der wissenschaftlichen Spektralanalyse führten und die die Namen der beiden Wissenschaftler in der ganzen Welt bekannt machen sollten.

1.2 Gustav Robert Kirchhoff

Jugend und wissenschaftlicher Werdegang

Gustav Robert Kirchhoff wurde am 12. Mai 1824 in Königsberg (jetzt Kaliningrad) geboren. Er war der jüngste von drei Söhnen des Justizrates Carl Friedrich Kirchhoff und dessen Frau, einer geborenen v. Wilcke. Das zurückhaltende und ernste Wesen des Vaters scheint sich mit dem lebhaften Temperament der Mutter, die eine geistig ungewöhnlich rege Frau war, sehr gut ergänzt zu haben.

Gemeinsam mit seinen Brüdern Carl und Otto konnte Gustav eine frohe und unbeschwertere Kindheit erleben. Sein damals ungestümes Wesen, das oft durch Ermahnungen gezügelt werden musste, steht in völligem Gegensatz zu seiner späteren Zurückgezogenheit und Bescheidenheit.

Wegen seines kleinen Wuchses und seiner Mädchenhaftigkeit wurde er vor allem von der Mutter häufig "Julchen" gerufen. In den gemeinsamen Theateraufführungen, an denen die drei Brüder große Freude hatten, waren Gustav deshalb von vornherein die weiblichen Rollen vorbehalten.

Wie seine Brüder, die später als praktischer Arzt bzw. als Gerichtsrat in Berlin wirkten, besuchte auch Gustav Kirchhoff das Königsberger Kneiphofsche Gymnasium.

Hier legte er achtzehnjährig das Abitur mit sehr gutem Erfolg ab, lediglich die sprachlichen Fächer zählten nicht zu seinen Stärken. Das Abgangszeugnis vermerkte auch seine Absicht, Mathematik zu studieren, und 1842 ließ er sich zu dem Zweck an der Universität seiner Heimatstadt immatrikulieren.

In einem Brief an seinen Bruder Otto zeigte sich Kirchhoff anfangs vor allem wegen seiner geringen Körpergröße betrübt:

"... ich gehe nun schon eine Woche mit dem Albertus (Mütze der Königsberger Studenten - K. D.) in der Stadt herum, muss aber wegen meiner Kleinheit öfter dabei hören: ach, ein kleiner Student!

Ich ärgere mich jetzt mehr denn je über meine Kleinheit und würde mich auf der Universität besser amüsieren, wenn meine Gestalt mit meinen Jahren im Einklang wäre."

Es beschlich ihn aber auch Zweifel, ob die Wahl der Studienrichtung die richtige war:

"Ich bin jetzt in einer Periode, in welcher ich an allen meinen Fähigkeiten zu zweifeln beginne; und mehr als einmal habe ich mir die Frage vorgelegt, ob ich wirklich einen Beruf für die Mathematik habe und nicht. besser täte, dieses Studium ganz aufzugeben, das mir bisher doch soviel Freude gemacht hat."

Neben dem Mathematiker Friedrich Julius Richelot (1808 bis 1875) beeindruckte Kirchhoff vor allem der Physiker Franz Ernst Neumann (1798-1895), der als der eigentliche Begründer der mathematischen Physik in Deutschland angesehen werden kann.

Seine Vorlesungen hatten einen großen Einfluss auf Kirchhoffs weiteren Entwicklungsgang.

"Neumann ist jetzt mein Hauptlehrer", berichtete er seinem Bruder, dem ich mit größtem Vergnügen und Eifer zuhöre. Durch ihn ist auch größtenteils meinem Schwanken, welcher Wissenschaft ich mich zuwenden soll, ein Ende gemacht und ich bin fest entschlossen, mich ganz auf die Physik zu legen, wenn das auch langweilige Beobachtungen und noch langweiligere Rechnungen mit sich bringt.

Von ersteren habe ich neulich eine kleine Probe gehabt, da saß ich von 10 Uhr abends bis 2 Uhr ... hinter einem Fernrohr und beobachtete bei nur 1° Wärme von 15 zu 15 Sekunden einen Magneten, dessen Stand ich aufschreiben musste. Doch bei einer Zigarre ... vergingen die 4 Stunden pfeilschnell, ehe ich es gedacht hatte."

Im Seminar Neumanns fertigte Kirchhoff 1845 seine erste wissenschaftliche Arbeit "Über den Durchgang des elektrischen Stromes durch eine Ebene, besonders durch eine kreisförmige" an, eine Preisschrift, die für ihn außerordentlich bedeutungsvoll wurde.

Mit ihr errang er nicht nur den doppelten Preis der philosophischen Fakultät, sie diente ihm auch als Dissertation, mit der er am 4. September 1846 promovierte.

In ihr sprach er bereits die Gesetze aus, nach denen sich elektrische Ströme in einem System verzweigter linearer Leiter verteilen und die später als Kirchhoffsche Gesetze zu einer wesentlichen Grundlage der Elektrizitätslehre wurden. Die Bedeutung dieser Arbeit wurde sofort allgemein anerkannt.

Die Physikalische Gesellschaft zu Berlin ernannte Kirchhoff daraufhin zu ihrem auswärtigen Mitglied und verband damit die Bitte, über die ihm naheliegenden Gebiete der Elektrizitätslehre für den Jahrgang 1846 der "Fortschritte der Physik" zu berichten. Diese Ehrung bereitete ihm sehr viel Freude.

Darüber hinaus beantragte die Fakultät nach seiner Promotion ein Stipendium für ihn zum Zwecke einer wissenschaftlichen Weiterbildung in Paris.

In Vorbereitung dessen ging Kirchhoff im Oktober 1846 nach Berlin, um sich ein halbes Jahr lang auf seinen Auslandsaufenthalt vorzubereiten. Hier lernten mit Heinrich Gustav Magnus (1802-1870), dem bedeutenden Experimentalphysiker, Chemiker und Technologen, der das erste physikalische Forschungsinstitut Deutschlands gegründet hatte, und dem Mathematiker Carl Gustav Jakob Jacobi (1804-1851), der sich um die theoretische Mechanik sehr verdient gemacht hatte, Wissenschaftler von internationalem Ruf. Bei ihnen wollte Kirchhoff seine Ausbildung vervollkommen.

Magnus und Jacobi rieten ihm jedoch, das Stipendium für einen weiteren Aufenthalt in Berlin zu erbitten. Die Reise nach Paris hielten sie aufgrund der dort herrschenden politischen Verhältnisse für wenig ratsam. Die wachsende Ausbeutung des Volkes durch die Julimonarchie hatte immer wieder zu Unruhen und Aufständen geführt, die sich durch die Auswirkungen der Wirtschaftskrise von 1847 noch verstärkten.

Die französische Februarrevolution des folgenden Jahres warf bereits deutliche Schatten voraus, die auch in Deutschland wahrgenommen und von der herrschenden Klasse mit Unruhe verfolgt wurden. Aus Furcht vor der wachsenden Kraft des Proletariats stellte sich die liberale Bourgeoisie mehr und mehr auf die Seite der Reaktion.

Kirchhoff nahm also Abstand von seinem Parisaufenthalt und siedelte statt dessen nach Berlin über, wo er sich 1848 mit der Arbeit "Einige neue Schlussfolgerungen aus dem Ohmschen Gesetz, besonders über die Reflexion und Refraktion des elektrischen Stromes" habilitierte. Darin erweiterte und ergänzte er die Ergebnisse seiner ersten Untersuchung.

Als "wohlbestallter" Privatdozent, wie er sich selbst bezeichnete, knüpfte er freundschaftliche Beziehungen zu den bedeutendsten Wissenschaftlern der Berliner Universität an, wie dem Physiker und Physikhistoriker Johann Christian Poggendorff (1796-1877), der die "Annalen der Physik und Chemie" herausgab, dem Begründer der Elektrophysiologie Emil Du Bois-Reymond (1818-1896) und natürlich zu seinen Lehrern Magnus und Jacobi.

Er beschäftigte sich auch weiterhin vorzugsweise mit mathematischen Problemen der Bewegung elektrischer Ströme in Leitern und Leitersystemen. Kirchhoffs Untersuchungen, vor allem seine Verallgemeinerungen des Ohmschen Gesetzes, gehören zu den grundlegendsten Arbeiten auf diesem Gebiete.

Sie waren eine wesentliche Voraussetzung für die praktische Anwendung der Elektrizitätslehre, für die Herausbildung der Elektrotechnik.

Aus dieser Zeit ist noch seine "Bestimmung der Konstanten, von welcher die Intensität induzierter elektrischer Ströme abhängt" (1849) bemerkenswert. Mittels einer sinnvollen Methode ermittelte er den elektrischen Leitungswiderstand in absoluten mechanischen Maßen.

Auf gleichem Wege gelangte Weber einige Jahre später zur absoluten Widerstandseinheit, wobei er die Konstante des Neumannschen Induktionsgesetzes, die Kirchhoff gerade zu ermitteln suchte, gleich 1 setzte.

Kirchhoff dagegen fand die Neumannsche Konstante unter Zugrundelegung einer willkürlichen Widerstandseinheit.

Kirchhoff als Professor in Breslau und Heidelberg

Diese Leistungen trugen entscheidend dazu bei, dass Kirchhoff 1850 einen Ruf als außerordentlicher Professor für Experimentalphysik nach Breslau erhielt. Obwohl eine Stellung für mathematische Physik seinen Fähigkeiten und Neigungen besser entsprochen hätte, sagte er zu.

Die Einrichtung "reiner" Lehrstühle für theoretische Physik war damals zwar schon abzusehen, es vergingen jedoch noch einige Jahre bis zur Verwirklichung dieses Gedankens. Kirchhoff blieb also gar keine andere Wahl, als sich in das ihm ungewohnte Metier einzuarbeiten.

In Breslau musste er die Direktion des Institutes und die Benutzung des physikalischen Kabinetts mit dem Physik-Ordinarius Moritz Ludwig Frankenheim (1801-1869) teilen.

Die gelegentlichen Streitigkeiten und Reibungen, die diese Situation mit sich brachte, waren Kirchhoff zutiefst zuwider, und einmal um das andere gab er bei solchen Gelegenheiten nach, um Misshelligkeiten aus dem Wege zu gehen.

Sehr bald jedoch musste Kirchhoff auf ärztlichen Rat um Urlaub nachsuchen, den er in seiner Heimatstadt Königsberg verbrachte.

Bei dieser Gelegenheit lernte er Hermann Helmholtz (1821 bis 1894) kennen, der hier lehrte

und sich gleichfalls aus gesundheitlichen Gründen an der See aufhielt. Helmholtz hatte kurz zuvor mit seiner später berühmt gewordenen Schrift "Über die Erhaltung der Kraft" (1847) auf sich aufmerksam gemacht, in der er den 1842 von Julius Robert Mayer (1814 bis 1878) zuerst ausgesprochenen Energieerhaltungssatz selbständig herleitete und verallgemeinerte.

Helmholtz, mit dem Kirchhoff später in seiner Heidelberger Zeit eng befreundet war, meinte bereits damals Bekannten gegenüber: "Kirchhoff ist von dem bewundernswürdigsten Scharfblick und Klarheit in den verwickeltesten Verhältnissen."

Nach seiner Genesung widmete sich Kirchhoff weiteren theoretischen Untersuchungen. Neben den elektrischen und magnetischen beschäftigten ihn nun zunehmend auch mechanische Probleme, die vor allem die Theorie der Elastizität betrafen.

Zunächst stellte er 1850 die wichtigsten Bedingungen für den Gleichgewichtszustand zweidimensionaler Gebilde auf, auf die beliebige äußere Kräfte einwirken. Die bis dahin gültige Theorie von Simeon Denis Poisson (1781-1840) stimmte mit den praktischen Ergebnissen nur ungenügend überein; sie wurde durch Kirchhoffs Arbeiten verbessert und verallgemeinert.

Kirchhoff wandte seine Theorie auf die Chladnischen Klangfiguren dünner elastischer Scheiben an und erhielt dabei gute Übereinstimmung mit dem Experiment. Später verallgemeinerte er diese Prinzipien für den Gleichgewichtszustand von Körpern und zugleich für den Fall endlich großer Verrückungen aus der Gleichgewichtslage.

Entscheidend für seinen weiteren wissenschaftlichen und persönlichen Werdegang wurde die Berufung Bunsens nach Breslau. Seiner Mutter teilte er erfreut mit:

"Mein Aufenthalt in Breslau ist mir neuerdings angenehmer geworden durch die Besetzung der Professur der Chemie, die durch den Tod schon vor 3/4 Jahren erledigt worden war. Zu Anfang des Semesters kam der neue Chemiker Prof. Bunsen, früher in Marburg, hier an; über seine Berufung freue ich mich ungemein, weil ich in ihm einen ausgezeichneten Fachgenossen erhalten habe und weil er ein Mensch von ungewöhnlicher Liebenswürdigkeit ist. Seine Ankunft gab zu Gesellschaften Anlass, bei denen ich auch war ..."

Es zeugt von der wissenschaftlichen Aufgeschlossenheit des 13 Jahre älteren Bunsens, aber wohl auch von seiner Zuneigung zu Kirchhoff, wenn er dessen Nachmittagsvorlesungen besuchte. Anschließend begaben sich dann beide, oft gemeinsam mit anderen Bekannten, zum Abendessen in eine Bier- oder Weinstube.

Die Freude Kirchhoffs über diese Bekanntschaft währte jedoch zunächst nicht lange, denn bereits nach drei Semestern folgte Bunsen einem Rufe nach Heidelberg.

Als Anfang 1854 der Heidelberger Physik-Ordinarius Philipp Jolly (1809-1884) nach München überwechselte, verwendete sich Bunsen sofort für den Freund, und er konnte bald nach Breslau berichten:

"Die gestrige Fakultätssitzung ist auf eine in den Annalen der Fakultät noch nicht dagewesene Weise verlaufen. Sie sind nämlich einstimmig und allein von der Fakultät zum Nachfolger Jollys vorgeschlagen worden. Morgen geht mein zwei Bogen langer Fakultätsbericht samt den Sie empfehlenden Briefen von Weber, v. Ettingshausen, Regnault u. a., denen dieses Resultat besonders zu verdanken ist, nach Karlsruhe ab.

Vermeiden Sie in Ihrer Antwort an das Ministerium jede Äußerung einer unzeitigen Bescheidenheit (im Original unterstrichen - K. D.)."

Im Herbst 1854 trat Kirchhoff dann die Reise nach Heidelberg "mit vielen schönen Hoffnungen"

an, die ihn auch nicht enttäuschen sollten. In diese Hoffnungen mischten sich jedoch Zweifel, ob er auch in der Lage sei, die dort in ihn gesetzten Erwartungen zu befriedigen.

Dieses mangelnde Selbstvertrauen machte ihm beinahe sein ganzes Leben hindurch zu schaffen. Vor allem glaubte er, dass sein Vortrag den Ansprüchen nicht genüge; er meinte "... ich habe auffallend wenig die Rede in meiner Gewalt."

Tatsächlich wurden seine Vorlesungen aber schon bald zu einem Anziehungspunkt der Heidelberger Studenten. Das seiner Meinung nach mangelnde Redetalent glückte er durch eine äußerst gründliche Vorbereitung und ein bis ins letzte ausgearbeitetes Manuskript aus.

Der ruhige und klare Vortrag wurde unterstützt durch exakte und elegante Experimente, zu denen er nicht selten selbstkonstruierte Apparate, wie sein Elektrometer, verwendete.

So kam es, dass sich Kirchhoffs Ruf bald über Heidelberg hinaus verbreitete und ihm Schüler von anderen deutschen Universitäten und auch aus dem Ausland zuströmten. Sie konnten bei ihm wöchentlich sechs Stunden Experimentalphysik, drei Stunden theoretische Physik und Spezialvorlesungen über Hydrodynamik, Elastizität sowie Elektrizität und Magnetismus hören.

Kirchhoff gab ihnen darüber hinaus nicht nur Gelegenheit zu praktischen physikalischen Übungen, sondern in Seminaren auch die Möglichkeit zur theoretischen Verallgemeinerung ihrer Versuchsergebnisse.

Viele später berühmte Physiker befanden sich unter Kirchhoffs Heidelberger Studenten, unter anderen Georg Quincke (1834-1924), der später selbst hier Physik lehrte, Eilhard Ernst Gustav Wiedemann (1852-1928), Miterforscher der Kathoden- und Kanalstrahlen, Gabriel Lippmann (1845-1924), der für die von ihm erfundene Interferenz-Farbphotographie 1908 den Nobelpreis erhielt, Arthur Schuster (1851-1934), später Physik-Professor in Manchester, der Mathematiker Alfred Pringsheim (1850-1941), und Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), der Entdecker der Supraleitung und Nobelpreisträger 1913.

Selbst der damals schon promovierte Ludwig Boltzmann (1844-1906) kam Ende der sechziger Jahre eigens nach Heidelberg, um die Vorlesungen und Seminare des berühmten Duos Kirchhoff und Königsberger zu besuchen.

Zielstrebige Unterrichtstätigkeit auf höchstem Niveau war Kirchhoffs Hauptziel, und er hatte außerordentlichen Erfolg darin.

Seine Forschungen betrafen zunächst noch immer das Gebiet der Elektrizitätslehre. In seiner ersten Heidelberger Arbeit "Über die Bewegung der Elektrizität in Drähten" kam er aufgrund mathematischer Überlegungen zu dem Resultat, dass elektrische Strömungen sich in dünnen Drähten wellenartig mit der Geschwindigkeit des Lichtes fortpflanzen.

Gleiches fand etwa gleichzeitig W. Weber. Die eindrucksvollste experimentelle Bestätigung dieser theoretisch gewonnenen Erkenntnis gelang 1888 Kirchhoffs Schüler Heinrich Hertz (1857-1894).

Seine Arbeiten über Elastizität setzte Kirchhoff in Heidelberg ebenfalls fort. Er wandte sich dabei einem aktuellen Problem zu, der Bestimmung der Querkontraktion im Verhältnis zur Längsdilatation, der sogenannten Poissonschen Zahl.

Verschiedene Wissenschaftler hatten die Richtigkeit der Theorie Poissons angezweifelt, nach der dieses Verhältnis für feste Körper stets gleich 0,25 ist, und statt dessen Werte zwischen 0 und 0,5 für möglich gehalten. Kirchhoff kam in Experimenten mit federhartem Stahl, von dem er Stäbe gleichzeitig einer Biegung und einer Torsion unterwarf, zu sehr genauen Messungen, die den Wert von 0,294 ergaben.

Die Theorie Poissons erwies sich damit und aufgrund gleichartiger Ergebnisse anderer Forscher als unvollkommen.

1858 begann sich Kirchhoff eingehender mit Problemen der mechanischen Wärmetheorie zu beschäftigen. Ihre Anwendung auf physikalisch-chemische Prozesse wie die Gasabsorption, die Auflösung von Salzen oder die Verdampfung von Mischungen aus konzentrierter Schwefelsäure und Wasser sind möglicherweise nicht ohne den Einfluss von Bunsen zustande gekommen.

Die freundschaftlichen Beziehungen der beiden Wissenschaftler, die seit der Breslauer Zeit bestanden, vertieften sich nun noch. Kirchhoff wurde sofort mit offenen Armen in den Freundeskreis um Bunsen und den Historiker Ludwig Häußler (1818-1867) aufgenommen, zu dem bald auch Helmholtz, der Mathematiker Leo Königsberger (1837-1921) und später auch der Chemiker Hermann Kopp (1817-1892) stießen.

Kirchhoff und Bunsen sah man täglich zusammen. Bei Spaziergängen durch Heidelbergs Straßen waren sie meist in wissenschaftliche Gespräche vertieft, wobei das äußerlich ungleiche Paar - Bunsen groß, breitschultrig und stämmig, Kirchhoff dagegen klein und zierlich - einen vergnüglichen Anblick geboten haben muss.

Von diesem regelmäßigen Meinungs-austausch profitierten wohl beide, wenn auch sicher der weitgereiste, lebenserfahrene Bunsen, der damals schon zu den ganz Großen seiner Wissenschaft zählte, dem jüngeren Kollegen in manchem mehr zu raten hatte.

Die später im Scherze gebrauchte Redewendung "Bunsens größte Entdeckung war Kirchhoff" hatte bereits vor der Entdeckung der Spektralanalyse eine gewisse Bedeutung.

1856 lernte Kirchhoff bei einem Ferienaufenthalt in seiner Heimatstadt die achtzehnjährige Tochter Clara seines ehemaligen Mathematikprofessors Richelot näher kennen und verlobte sich mit ihr.

Als er sie ein Jahr darauf heiratete und nach Heidelberg führte, wurde die temperamentvolle junge Frau von seinen Freunden ebenfalls herzlich aufgenommen.

Zwar zog sich Kirchhoffs "frühere Frau" - wie Häußler Bunsen scherzhaft nannte - zeitweilig etwas zurück, aber schon bald wurde das Kirchhoffsche Heim Bunsens zweites Zuhause, und vor allem nach der Geburt der Kinder war der "Onkel Hofrat" dort ein ebenso oft wie gern gesehener Gast.

Auch jetzt, nach seiner Verheiratung, behielt Kirchhoff die Gewohnheit bei, mit Bunsen auf ausgedehnten Spaziergängen Fachprobleme auszutauschen und sich an den Schönheiten der Natur zu erfreuen.

Ein Sonnenuntergang, beobachtet von den waldigen Höhen der Heidelberger Umgebung aus, soll Anlass gewesen sein zu den Erörterungen, die schließlich in die Entdeckung der Spektralanalyse mündeten.

Der Begriff "Entdeckung" wird in diesem Zusammenhang häufig zurückgewiesen. Tatsächlich ist es treffender, von der Begründung der Spektralanalyse als Wissenschaft zu sprechen.

Dieses Gebiet konnte bereits auf eine ausgedehnte Vorgeschichte zurückblicken, in deren Verläufe zahlreiches empirisches Material zusammengetragen wurde, das Bunsen und Kirchhoff dann unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten zusammenfassten und verallgemeinerten.

2 Die wissenschaftliche Begründung der Spektralanalyse

2.1 Die Vorgeschichte

Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen des Sonnenspektrums stammen von Isaak Newton (1642-1727). Der Begriff "Spektrum" (lat.: Erscheinung, "Geisterbild") reicht jedoch bis in die vorwissenschaftliche Zeit zurück, wobei er sich insbesondere auf den Regenbogen bezog. Im 16. Jahrhundert wiesen mehrere Gelehrte auf die Gleichheit der Farberscheinungen beim Regenbogen und bei einem Prisma hin.

Während vor ihm angenommen wurde, dass das weiße Licht im Prisma in farbiges umgewandelt würde, bewies Newton 1672, dass weißes Licht selbst uneinheitlich ist und sich aus verschiedenen Bestandteilen, den Spektralfarben, zusammensetzt.

Die wissenschaftliche Untersuchung dieses Gegenstandes zeigte nicht nur, dass die Ursache der prismatischen Ablenkung in der unterschiedlichen Brechung der einzelnen Spektralfarben zu suchen war, sondern führte Newton auch zu seiner Korpuskular- (Teilchen-) Theorie des Lichtes.

Nach diesen grundlegenden Arbeiten vergingen mehr als 100 Jahre, ehe wieder entscheidende Fortschritte bei der Erforschung des Sonnenspektrums verzeichnet werden konnten.

Das lag daran, dass dieses Problem keinerlei Bedeutung für die Praxis zu haben schien, die zunehmend als stimulierendes Element der Wissenschaft in Erscheinung trat. Zum anderen lagen die Ursachen für diese lange Stagnation in der Optik selbst.

Der Meinungsstreit zwischen den scheinbar unvereinbar nebeneinanderstehenden Grundansichten über das Licht, der Newtonschen Teilchentheorie und der Wellentheorie, die insbesondere Francesco Maria Grimaldi (1618 bis 1663), Robert Hooke (1635-1703) und Christian Huygens (1629 bis 1695) entwickelten, befruchtete die Entwicklung der Optik zwar insgesamt sehr und führte zu wertvollen Erkenntnissen, jedoch schienen Untersuchungen des Sonnenspektrums in dieser Hinsicht wenig erfolgversprechend zu sein.

Fortschritte setzten erst wieder nach einem Anstoß von seiten der Praxis ein. Friedrich Wilhelm Herschel (1738-1822) versuchte im Jahre 1800, für ein Teleskop Linsen mit geringem Erwärmungsvermögen herzustellen.

Er durchforschte deshalb das Sonnenspektrum auf die Wärmeverteilung hin und fand zu seiner Überraschung und im Widerspruch zu älteren Arbeiten das Maximum jenseits des roten Endes, im Ultraroten.

Dadurch angeregt, stellte ein Jahr später Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) fest, dass die chemische Wirkung des Lichtes, insbesondere die Schwärzung von Silberhalogeniden, ebenfalls nicht auf das sichtbare Spektrum beschränkt ist, sondern über das Violett hinaus ins Ultraviolett reicht. Damit kannte man nun drei Spektralbereiche, deren Einheit zuerst Jean Baptist Biot (1774-1862) und Andre Marie Ampere (1775-1836) vermuteten.

Ein weiterer entscheidender Schritt auf dem Wege zur Spektralanalyse wurde ebenfalls durch ein Bedürfnis der praktischen Optik veranlasst.

Joseph Fraunhofer (1787-1826) suchte im Jahre 1814 Glassorten für achromatische Linsen. Um die Dispersion verschiedener Gläser zu bestimmen, benutzte er eine Kerze bzw. Öllampe, deren Licht er durch einen feinen Spalt auffallen ließ. Dabei fand er im Spektrum eine gelbe Linie, die als Markierung verwendbar schien, weshalb er sie auch im Sonnenspektrum suchte.

Er fand sie nicht, konnte statt dessen aber eine Vielzahl dunkler Linien mit seiner Versuchsan-

ordnung beobachten. Fraunhofer zählte über 500 solcher Linien, deren acht charakteristischste er mit den Buchstaben A bis H bezeichnete (Abb. 5).

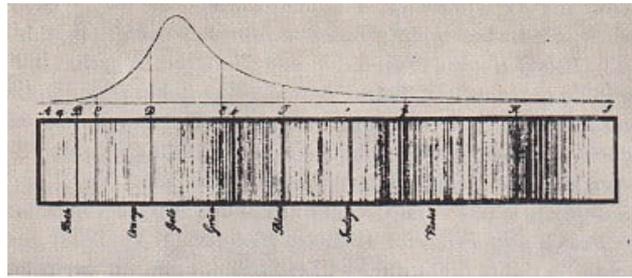


Abb. 5. Fraunhofers Zeichnung des Sonnenspektrums

Die helle Linie des Kerzenspektrums fiel dabei zusammen mit der dunklen D-Linie im Gelben. Fraunhofer wies nach, dass diese später nach ihm benannten Linien im Sonnenlicht enthalten sind und nicht etwa im Apparat oder durch die Erdatmosphäre entstanden.

Die gleichen Linien entdeckte er auch im reflektierten Licht der Planeten, während die Fixsterne andere Linienstrukturen aufwiesen. Obwohl Fraunhofer den Ursachen der Entstehung seiner Linien nicht weiter nachging, ist er mit seiner Entdeckung wohl der bedeutendste Vorläufer der Spektralanalyse, deren Entwicklung er damit starke Impulse verlieh.

Die Erforschung des Sonnenspektrums war aber nur eine Voraussetzung für die Herausbildung der Spektralanalyse. Aus ihr allein ergaben sich zunächst keine Möglichkeiten einer praktischen Nutzung. Erst als man die Tatsache erkannte, dass die Spektren irdischer Lichtquellen ebenfalls Linien ähnlich den Fraunhoferschen enthalten, wurde die Forschung erneut aktiviert.

Verschiedene Chemiker wussten nämlich seit langem, dass bestimmte Metallsalze die Flamme charakteristisch färben, und benutzten diese Erscheinung nicht nur für Buntfeuerwerke, sondern auch zur chemischen Analyse.

Thomas Melvill (1726-1753) betrachtete gefärbte Flammen bereits durch ein Prisma, ohne jedoch zu praktischen Schlussfolgerungen zu gelangen.

Nach Fraunhofers epochemachenden Arbeiten entstand nun aus der Verknüpfung dieser beiden Richtungen, der physikalischen und der chemischen, im Verlaufe weniger Jahrzehnte die wissenschaftliche Spektralanalyse.

John Herschel (1792-1871), David Brewster (1781-1868) und William Henry Fox Talbot (1800-1877) erkannten zwar, dass die spektrale Beobachtung gefärbter Flammen ein gutes Mittel ist, die färbenden Stoffe zu ermitteln, die Allgegenwart der gelben D-Linie hinderte sie aber daran, die Spektralreaktion als spezifisch für einen bestimmten Stoff anzusehen.

Ihr Zustandekommen versuchte man u.a. auf Feuchtigkeit bzw. Kristallwasser zurückzuführen. Charles Wheatstone (1802 bis 1875) dehnte die Spektralbeobachtungen von der Flamme auf den elektrischen Funken aus, mit dessen Hilfe insbesondere Anders Jöns Angström (1814-1874) zu weittragenden Erkenntnissen gelangte.

Er unterschied zwischen dem Spektrum der Elektrodenmetalle und denen der Gase, durch die der Funken schlägt, und wies auch darauf hin, dass Legierungen stets die Linien der Einzelbestandteile zeigen. Angström versuchte darüber hinaus, theoretisch einen Zusammenhang zwischen Lichtemission und -absorption herzustellen, und wurde damit einer der bedeutendsten Vorläufer der wissenschaftlichen Spektralanalyse.

In den USA war etwa gleichzeitig David Alter (1807 bis 1881) zu ähnlichen Resultaten wie Angström gelangt. Dabei vermutete er, dass auf spektralem Wege chemische Elemente auch auf leuchtenden Himmelskörpern erkannt werden könnten.

Die einzige Tatsache, die die Physiker noch hinderte, die Spektralanalyse als spezifisch für einen bestimmten Stoff anzusehen, war die rätselhafte gelbe D-Linie, die fast in allen Spektren auftrat.

1857 konnte William Swan (1818-1894) nachweisen, dass sie von Natriumsalzen hervorgerufen wird, Ihre Allgegenwart ergab sich aus der Tatsache, dass NaCl, mit anderen Salzen im Verhältnis 1:2500000 vermischt, durch seine gelbe Linie noch nachweisbar ist. Der Staub in der Luft genügt meist, die Natriumlinie erscheinen zu lassen. Mit diesem Nachweis war ein Haupthindernis für eine Verallgemeinerung beseitigt worden.

Ende der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts hatte das empirisch zusammengetragene Faktenmaterial einen solchen Umfang erreicht, dass seine Durchmusterung nach Gesetzmäßigkeiten dringlich wurde. Die Tatsache, dass die Spektralbeobachtungen chemischer Substanzen aus einem physikalischen und einem chemischen Forschungszweig hervorgegangen sind, machte die Beurteilung, Zusammenfassung und Verallgemeinerung der vorliegenden Ergebnisse unter diesen beiden Gesichtspunkten erforderlich.

Die Zusammenarbeit Kirchhoffs und Bunsens bot dafür beste Voraussetzungen und führte schließlich auch zum Erfolg. Erst mit ihren Arbeiten wurde das wissenschaftliche Fundament der Spektralanalyse geschaffen. Am besten drückte das wohl Georg W. A. Kahlbaum (1853-1905) aus, der seine "Vorgeschichte der Spektralanalyse" mit den Worten beschloss:

"Wer die Geschichte dieser Entdeckung schreiben will, hat nicht weit auszuholen, er beginne getrost mit dem Jahre 1859 und knüpfe an an die Namen Robert Bunsen und Gustav Kirchhoff."

2.2 Kirchhoffs und Bunsens gemeinsame Arbeiten zur Spektralanalyse

Wie schon andere Chemiker vor ihm, hatte auch Bunsen seit längerem die verschiedenen Flammenfärbungen zur Identifizierung chemischer Elemente verwendet. Dabei wandte er Farblösungen und -gläser an, um bei Substanzgemischen aus deren gefärbter Flamme einzelne Komponenten auszufiltern.

Gemeinsam mit seinem Schüler Cartmell führte Bunsen 1858 eine Untersuchung über den Nachweis verschiedener Erdalkalien und Alkalien neben Natrium in der Flamme mittels Kobaltglas und Indigolösung durch. Als er Kirchhoff von diesen Versuchen erzählte, empfahl ihm dieser, das gefärbte Licht spektral zu zerlegen, da das gewiss eine bessere Unterscheidung ermögliche. Da sich die Interessen beider Wissenschaftler hier berührten, erwuchs aus diesem Rat eine längere, fruchtbare Zusammenarbeit.

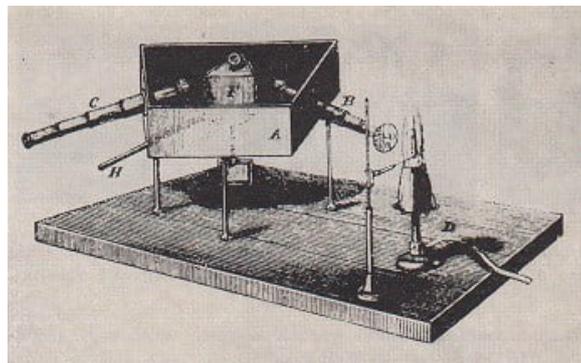


Abb. 6. Bunsens und Kirchhoffs erstes selbstgefertigtes Spektroskop [10]

Mit Hilfe eines einfachen selbstgebauten Spektroskops (Abb. 6) stellten sie zunächst sicher, was auch schon andere vor ihnen mit mehr oder weniger großer Gewissheit ausgesprochen hatten, dass nämlich verschiedene Metallsalze beim Verdampfen in der Flamme ein charakteristisches Emissionsspektrum erzeugen und dass die hellen gelben Linien des Natriums mit den Fraunhoferschen D-Linien zusammenfallen (Abb. 7).

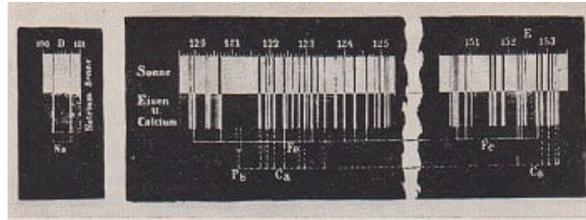


Abb. 7. Zusammentreffen der Fraunhoferschen Linien mit denen des Natriums, Eisens und Kalziums nach Kirchhoff und Bunsen

Bei dem Versuch, diese dunklen Linien des Sonnenspektrums durch eine vor dem Spektrographenspalt aufgestellte Kochsalzflamme aufzuhellen, mussten sie zu ihrem großen Erstaunen feststellen, dass sie im Gegenteil viel dunkler als vorher erschienen. Nach Kirchhoffs Meinung war das "entweder ein Unsinn oder eine ganz große Sache".

Kirchhoff hatte eine Idee, wie sich dieser Sachverhalt möglicherweise deuten ließe. Licht einer bestimmten Wellenlänge müsste danach in der Lage sein, andere einfallende Lichtstrahlen der gleichen Wellenlänge zu absorbieren, ähnlich der Erscheinung der akustischen Resonanz.

Bei der Nachprüfung fanden Kirchhoff und Bunsen, dass die dunklen D-Linien künstlich hervorgebracht werden können, wenn z. B. intensives Drummondsches Kalklicht durch eine relativ kalte Kochsalz-Alkoholflamme auf den Spalt des Spektrographen fällt.

Auf die gleiche Weise gelang es außerdem, eine rote Lithiumlinie umzukehren, die im Sonnenspektrum nicht vorhanden war.

Aus diesen Beobachtungen konnte Kirchhoff nun sein bekanntes Gesetz ableiten, nach dem "... für Strahlen derselben Wellenlänge bei derselben Temperatur das Verhältnis des Emissionsvermögens zum Absorptionsvermögen bei allen Körpern dasselbe ist".

In diesem Zusammenhang führte Kirchhoff den Begriff des "schwarzen Körpers" ein, der später so bedeutungsvoll für die Erforschung der Wärmestrahlung werden sollte.

Mit dem Strahlungsgesetz wurde auch die Natur der Fraunhoferschen Linien aufgeklärt. Es zeigte sich, "... dass das Sonnenspektrum mit seinen dunklen Linien nichts anderes ist, als die Umkehrung des Spektrums, welches die Atmosphäre der Sonne für sich zeigen würde. Hiernach erfordert die chemische Analyse der Sonnenatmosphäre nur die Aufsuchung derjenigen Stoffe, die, in eine Flamme gebracht, helle Linien hervortreten lassen, die mit den dunklen Linien des Sonnenspektrums koinzidieren."

An der Existenz von Natrium in der Sonnenatmosphäre ließ sich danach kaum noch zweifeln. Kirchhoff verdachte es einem Bekannten von ihm, einem Doktor der Philosophie, jedoch nicht, "... dass er mir bei einem Spaziergange ... erzählte, ein verrückter Kerl wolle auf der Sonne Natrium entdeckt haben.

Ich suchte diesen begreiflich zu machen, dass die Sache so unsinnig nicht sei, und dass es wirklich möglich sein müsse, von dem Licht, das ein Körper aussende, auf die chemische Beschaffenheit desselben Schlüsse zu ziehen, aus dem Sonnenlicht also auf die der Sonne. Dabei konnte ich der Versuchung nicht widerstehen, ihm zu sagen, dass ich dieser verrückte Kerl sei."

Mit den Kirchhoffschen Arbeiten war aber auch die theoretische Voraussetzung für die praktische Spektralanalyse gegeben, deren Grundlagen in den beiden 1860 erschienenen klassischen Abhandlungen "Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen" entwickelt wurden. Der Hauptanteil an dieser Experimentalarbeit kommt zweifellos Bunsen zu.

Die Methode wurde vor allem für die Alkali- und Erdalkalimetalle ausgearbeitet. Dazu musste eine große Zahl verschiedener Salze für jedes Metall hergestellt und sorgfältig gereinigt werden; es erwies sich außerdem als vorteilhaft, unterschiedliche Flammen und außerdem den elektrischen Funken anzuwenden.

"Bei dieser umfassenden und zeitraubenden Untersuchung, deren Einzelheiten wir übergehen zu dürfen glauben", schrieben die beiden Wissenschaftler daraufhin, "hat sich herausgestellt, dass die Verschiedenheit der Verbindungen, in denen die Metalle angewandt wurden, die Mannigfaltigkeit der chemischen Prozesse in den einzelnen Flammen und der ungeheure Temperaturunterschied dieser letzteren keinen Einfluss auf die Lage der einzelnen Metallen entsprechenden Spektrallinien ausübt ...

Es zeigt sich, dass dieselbe Metallverbindung in einer dieser Flammen ein um so intensiveres Spektrum gibt, je höher die Temperatur derselben ist. Von den Verbindungen desselben Metalls liefert in einer Flamme diejenige die größere Lichtstärke, der eine größere Flüchtigkeit zukommt."

Danach stand fest, "... dass die hellen Linien der gezeichneten Spektren als sichere Kennzeichen der Anwesenheit der betreffenden Metalle betrachtet werden dürfen. Sie können als Reaktionsmittel dienen, durch welche diese Stoffe schärfer, schneller und in geringeren Mengen sich nachweisen lassen, als durch irgend ein anderes (bis dahin bekanntes - K. D.) analytisches Hilfsmittel"[10].

Bei der Feststellung der Nachweisgrenzen, die auch gleichzeitig eine Erklärung für die Allgegenwart der gelben Natriumlinien brachte, erwies sich Bunsen einmal mehr als genialer Analytiker. Das von ihm erdachte Experiment beschrieb er folgendermaßen:

"Folgender Versuch zeigt, dass die Chemie keine einzige Reaktion aufzuweisen hat, welche sich auch nur im entferntesten mit dieser spektralanalytischen Bestimmung des Natriums an Empfindlichkeit vergleichen ließe.

Wir verpufften in einer vom Standorte unseres Apparates möglichst entlegenen Ecke des Beobachtungszimmers; welches ungefähr 60 Kubikmeter Luft fasst, 3 Milligramm chloresures Natron mit Milchzucker, während die nicht leuchtende Lampe vor dem Spalt beobachtet wurde.

Schon nach wenigen Minuten gab die allmählich sich fahlgelblich färbende Flamme eine starke Natriumlinie, welche erst nach 10 Minuten wieder völlig verschwunden war. Aus dem Gewicht des verpufften Natronsalzes und der im Zimmer enthaltenen Luft lässt sich leicht berechnen, dass in einem Gewichtsteile der letzteren nicht einmal $1/20000000$ Gewichtsteil Natronrauch suspendiert sein konnte.

Da sich die Reaktion in der Zeit einer Sekunde mit aller Bequemlichkeit beobachten lässt, in dieser Zeit aber nach dem Zufluss und der Zusammensetzung der Flammengase nur ungefähr 50 ccm oder 0,0647 g Luft, welche weniger als $1/20000000$ des Natronsalzes enthalten, in der Flamme zum Glühen gelangen, so ergibt sich, dass das Auge noch weniger als $1/3000000$ Milligramm des Natronsalzes mit der größten Deutlichkeit zu erkennen vermag.

Bei einer solchen Empfindlichkeit der Reaktion wird es begreiflich, dass nur selten in glühen-

der atmosphärischer Luft eine deutliche Natronreaktion fehlt. Die Erde ist auf mehr als zwei Dritteln ihrer Oberfläche mit einer Kochsalzlösung bedeckt, welche von den zu Schaumfällen sich überstürzenden Meereswogen unaufhörlich in Wasserstaub verwandelt wird:

Die Meerwassertröpfchen, welche auf diese Art in die Atmosphäre gelangen, verdunsten und hinterlassen kochsalzhaltige Sonnenstäubchen, die zwar einen der Größe nach wechselnden, aber wie es scheint nur selten fehlenden Gemengteil der Atmosphäre ausmachen."

Auf gleiche Weise wurden die Nachweisgrenzen der anderen Spektralreaktionen bestimmt, wobei sich ergab, dass sie zwar geringer sind als bei Natrium, aber immer noch $9 \cdot 10^{-6}$ mg Lithium, $6 \cdot 10^{-5}$ mg Strontium und Calcium sowie 10^{-4} mg Kalium und Barium zu erkennen sind.

Damit deutete sich aber sofort auch eine technische Anwendungsmöglichkeit an, z. B. bei der Gewinnung solcher Metalle oder Salze, die zwar weit verbreitet sind, aber in sehr geringen Konzentrationen vorkommen.

So enthielten viele Mineralquellen und Salinenrückstände, wie Bunsen feststellte, erhebliche Mengen an Lithiumverbindungen, die damals sehr teuer waren.

Zugleich wiesen Bunsen und Kirchhoff auch auf die Bedeutung der Spektralanalyse für die Entdeckung neuer chemischer Elemente hin:

"... wenn es Stoffe gibt, die so sparsam in der Natur verbreitet sind, dass uns die bisherigen Mittel der Analyse bei ihrer Erkennung und Abscheidung im Stiche lassen, so wird man hoffen dürfen, viele solcher Stoffe durch die einfache Betrachtung ihrer Flammenspektren noch in Mengen zu erkennen und zu bestimmen, die sich auf gewöhnlichem Wege jeder chemischen Wahrnehmung entziehen.

Dass es wirklich solche bisher unbekanntes Elemente gibt, davon haben wir uns bereits zu überzeugen Gelegenheit gehabt. Wir glauben, auf unzweifelhafte Resultate der spektralanalytischen Methode gestützt, mit völliger Sicherheit schon jetzt die Behauptung aufstellen zu können, dass es neben dem Kalium, Natrium und Lithium noch ein viertes der Alkaliengruppe angehöriges Metall gibt, welches ein ebenso charakteristisches und einfaches Spektrum gibt wie das Lithium - ein Metall, das mit unserem Spektralapparate nur zwei Linien zeigt."

In ihrer zweiten Abhandlung berichteten die beiden Wissenschaftler nicht nur ausführlicher über die Gewinnung und die Eigenschaften dieses neuen Elementes, das Bunsen nach seinen charakteristischen blauen Spektrallinien Caesium nannte, und seiner Salze, sondern auch über die Entdeckung und Isolierung eines fünften Alkalimetalls, des Rubidiums, so benannt nach seinen "merkwürdigen dunkelroten Spektrallinien".

Die Reindarstellung dieser neuen Substanzen gestaltete sich jedoch äußerst schwierig, da sie in sehr geringen Konzentrationen vorkommen. Es bedurfte der Aufarbeitung von 44200 kg Dürkheimer Solwassers, um 7,272 g CsCl und 9,237 g RbCl zugewinnen. Die erste Stufe der Rohmaterialaufbereitung wurde in einer Sodafabrik vorgenommen.

Zur Isolierung des Rubidiums aus sächsischem Lepidolith ging Bunsen von 150 kg des Minerals aus.

Gleichzeitig beschäftigte sich Kirchhoff weiter mit den Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum. Als er dabei feststellte, dass viele von ihnen mit den Linien im Funkenspektrum des Eisens zusammenfallen, war für ihn das Zustandekommen und die Natur der Fraunhoferschen Linien endgültig geklärt.

Wenn die Übereinstimmung der gelben Na-Linien mit den dunklen D-Linien von manchen noch als Zufall bezeichnet werden konnte, so schloss die Wahrscheinlichkeitstheorie das zufällige

Zusammenfallen einer so großen Linienzahl beim Eisen aus.

Kirchhoff und Bunsen prüften nun systematisch auf weitere Übereinstimmungen und stellten so weitere zwölf Elemente auf der Sonne fest: Calcium, Barium, Magnesium, Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Strontium, Cadmium, Cobalt, Wasserstoff, Mangan, Aluminium und Titan.

Die Anwesenheit weiterer Elemente, darunter Gold, schien ihnen wahrscheinlich. Seitdem sind insgesamt 66 chemische Elemente auf der Sonne nachgewiesen worden.

Durch Kirchhoff wurde auch die physikalische Beschaffenheit der Sonne richtig erkannt. Bis dahin galt W. Herschels Ansicht, die Sonne sei eine kalte Kugel mit einer Wolkenschicht und einer Leuchthülle. Aus Kirchhoffs Absorptionsgesetz ergab sich aber, dass die Sonne aus einem sehr heißen, leuchtenden Kern besteht, der wahrscheinlich flüssig und von einer Schicht etwas niedrigerer Temperatur umgeben ist, die die Dämpfe der auf der Sonne festgestellten Elemente enthält.

Mit diesen Erkenntnissen lieferten Kirchhoff und Bunsen einen der besten Beweise für die materielle Einheit der Welt, ja für die materialistische Weltanschauung überhaupt. Insbesondere wurde die These des französischen positivistischen Philosophen Auguste Comte (1798-1857) widerlegt, der 1824 als Beispiel für die Begrenztheit der menschlichen Erkenntnis angeführt hatte, der Mensch könne z. B. nie die chemische Zusammensetzung der Himmelskörper aufklären.

Mehr als 100 Jahre, bevor die ersten Proben von Mondgestein durch Raumschiffe zur Erde gebracht und analysiert wurden, hatten Kirchhoff und Bunsen dieses Problem bereits prinzipiell gelöst.

Sie konnten also mit Recht feststellen, dass durch die Spektralanalyse "... der chemischen Forschung ein bisher völlig verschlossenes Gebiet, das weit über die Grenzen der Erde, ja selbst unseres Sonnensystems hinausreicht", eröffnet wurde.

Die beiden Freunde erregten mit ihrer Entdeckung nicht nur in der wissenschaftlichen Welt großes Aufsehen. In bis dahin nicht gekanntem Maße verbreitete sich die Kunde davon in allen gebildeten Schichten und machte die Namen Bunsen und Kirchhoff weltbekannt.

Der badische Großherzog Friedrich II., der sich an der Heidelberger Universität eine umfangreiche naturwissenschaftliche Bildung erworben hatte, ließ sich in einem Experimentalvortrag von den beiden Wissenschaftlern selbst ausführlich informieren.

Kirchhoff und Bunsen wurden in jener Zeit von Besuchern geradezu überlaufen, die ihnen zu ihrer großen Entdeckung gratulieren wollten. Kirchhoff erzählte in diesem Zusammenhang gern die folgende Anekdote.

Als er sich mit seinem Bankier über dieses Thema unterhielt, fragte dieser ihn, was es ihm denn nütze, dass eine Anzahl seltener Metalle, ja selbst Gold auf der Sonne zu finden sei, wenn er es nicht herunterholen könne.

Als Kirchhoff bald darauf für seine Verdienste um die Entwicklung der Spektralanalyse mit der goldenen Rumford-Medaille geehrt wurde, brachte er sie jenem Bankier zur Aufbewahrung und erhob den mit dieser Auszeichnung verbundenen Geldbetrag mit der Bemerkung: "Sehen Sie, da habe ich mir doch etwas von dem Gold der Sonne geholt."

Kirchhoff und Bunsen beschäftigten sich auch weiterhin mit Arbeiten im Zusammenhang mit der Spektralanalyse, allerdings mehr oder weniger unabhängig voneinander. Kirchhoff stellte einen umfangreichen und genauen Atlas des Sonnenspektrums zusammen, bei dem er viele der Linien aufgrund von Vergleichen mit Metall-Emissionsspektren bestimmten Elementen zuord-

nen konnte. In diesen Tafeln sind auch schon einige der Linien als den seltenen Erdmetallen zugehörig gekennzeichnet.

Mit diesen Elementen, deren Erforschung damals erst am Anfang stand und durch ihr ähnliches chemisches Verhalten sehr erschwert war, beschäftigte sich auch Bunsen, der in der Spektralanalyse ein Mittel zu ihrer einwandfreien Identifizierung sah. Bei der Trennung der Erbin- und Yttererde, die er gemeinsam mit seinem schwedischen Schüler Johann Friedrich Bahr (1815-1875) ausführte, wandte er eine der ersten quantitativen Methoden der Absorptionsspektralanalyse an.

Eine Lösung mit unbekanntem Didymgehalt wurde solange verdünnt, bis die Intensität der Absorptionslinien gleich der war, die ein darunter projiziertes Vergleichsspektrum zeigte. Sie erkannten jedoch, dass diese "spektralanalytische Titriermethode" aufgrund des subjektiven Intensitätsvergleichs keine exakten Werte lieferte.

In seiner umfangreichen Abhandlung "Spektralanalytische Untersuchungen II. Funkenspektren, Flammenspektren und Absorptionsspektren der Elemente", die 1875 erschien, verglich Bunsen die auf verschiedenem Wege erhaltenen Spektren der Alkalien und Erdalkalien sowie der damals bekannten seltenen Erden miteinander.

Dem Erscheinen dieser Arbeit ging ein tragisches Geschick voraus, das er Roscoe in einem Brief schilderte:

"... ich habe in der letzten Zeit an nichts denken mögen, was mich an den Verlust meiner verbrannten Arbeiten erinnern konnte ... Ich wollte eine Abhandlung, an der ich fast 3 Jahre gearbeitet, vor der Absendung an Poggendorff noch mit der Abschrift und meinen Notizen kollationieren und fand alle diese Papiere, die in meiner Abwesenheit in Brand geraten, als einen glühenden Aschenhaufen wieder.

Die Photographien der Apparate und die Zeichnungen aller Funkenspektren, namentlich die der seltenen Erden, deren Entwirrung mir unsägliche Mühe gekostet hatte - alles ist mit verbrannt."

Er vermutete, dass eine neben dem Manuskript stehende Wasserflasche als Brennglas gewirkt und dieses so in Brand gesteckt habe. Bunsen überwand jedoch seine Enttäuschung und Niederlagen bald und begann alle Versuche zu wiederholen und zu einer neuen Abhandlung zusammenzustellen.

Der mitfühlende Freund Kirchhoff bewunderte "die wunderbare Elastizität seines Geistes", die ihn diesen Schlag überwinden ließ.

In den 15 Jahren, die zwischen der gemeinsamen Entdeckung und dieser letzten Bunsenschen Arbeit auf diesem Gebiet lagen, war die Spektralanalyse längst zu einer allgemein anerkannten und in der Wissenschaft weit verbreiteten Untersuchungsmethode geworden.

Dieser Entwicklung trug auch die junge feinmechanisch-optische Industrie Rechnung. Die selbstgebauten Geräte der Pionierzeit wurden durch industriell gefertigte Apparate abgelöst, die meist noch nach individuellen Wünschen und dem speziellen Verwendungszweck konstruiert wurden.

Kirchhoff und Bunsen verwendeten für ihre späteren Arbeiten ein Gerät der Firma Steinheil, München, (Carl August Steinheil, 1801-1870), bei dem auf Bunsens Vorschlag unter anderem eine Skala im Gesichtsfeld erschien und durch ein Vergleichsprisma vor dem Spalt zwei verschiedene Spektren gleichzeitig beobachtet werden konnten.

Kirchhoff regte an, die Dispersion durch die Anwendung von vier Prismen anstelle eines einzigen

zu erhöhen (Abb. 8).

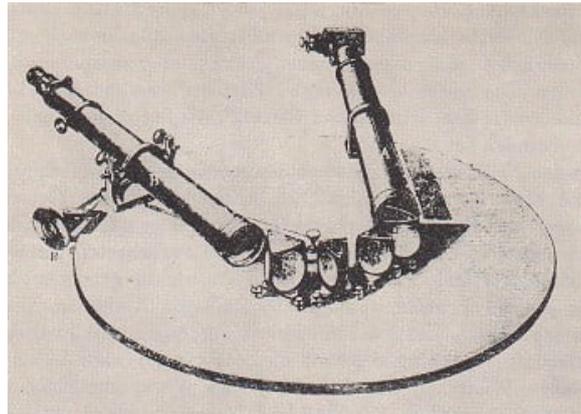


Abb. 8. Nach Kirchhoffs Angaben von der Firma Steinheil angefertigtes Spektroskop

Solche Spektroskope waren damals weit verbreitet. Die Hoffnung der beiden Entdecker, dass die Spektralanalyse bald als allgemeine Untersuchungsmethode Eingang in die Chemie findet, erfüllte sich vor allem aufgrund ihrer großen Erfolge bei der Auffindung neuer chemischer Elemente schnell.

Der Entdeckung des Caesiums und des Rubidiums folgte schon ein Jahr später die des Thalliums durch William Crookes (1832-1919), der bei der spektralanalytischen Prüfung des bei der Schwefelsäureherstellung anfallenden Selenschlammes eine bis dahin unbekannte charakteristische grüne Linie im Spektrum fand. 1863 entdeckten Ferdinand Reich (1799-1882) und Theodor Richter (1824-1898) in der Freiburger Zinkblende ebenfalls spektroskopisch das Indium.

Die Erforschung der Seltenen Erden nahm um 1880 durch die Anwendung des Spektroskops ebenfalls einen neuen Aufschwung.

Einige der damals bekannten Erden erwiesen sich so als uneinheitlich, andere wurden neu aufgefunden. Auch die Gruppe der Edelgase wurde spektroskopisch entdeckt. Von den 27 Elementen, die zwischen 1860 und 1910 gefunden wurden, sind 21 mit Hilfe spektralanalytischer Methoden entdeckt worden.

Diese Tatsache unterstreicht augenfällig die Bedeutung des von Kirchhoff und Bunsen begründeten neuen Analysenprinzips.

Die Astronomie verdankt der Spektralanalyse die bis dahin bedeutendste Erweiterung ihres Forschungsgegenstandes. Während sie sich bis dahin hauptsächlich damit begnügen musste, mechanische Eigenschaften der von ihr untersuchten Objekte, wie Planetenbahnen und -umlaufzeiten, zu beobachten, wurde es nun möglich, auch die chemische Zusammensetzung, den Aggregatzustand, die Temperatur und andere Parameter von Sternen zu erforschen und damit auch Aussagen über deren Alter und Entwicklungsgeschichte zu erhalten.

Innerhalb der Physik hat die Spektroskopie mehrere Forschungszweige befruchtet. Von allgemeinem Interesse waren exakte Wellenlängenmessungen; auf der Grundlage der Pionierarbeiten von Kirchhoff, vor allem aber von A. J. Angström und Henry A. Rowland (1848-1901) wurden später physikalische bzw. allgemeine Wellenlängenstandards eingeführt. Heute ist sogar der Zeitstandard auf eine spektroskopische Größe zurückgeführt.

Vermutete Regelmäßigkeiten in den Spektren konnte 1884 als erster Johann Jakob Balmer (1825-1898) bestätigen, als es ihm gelang, empirisch eine Formel für das Wasserstoffspektrum aufzustellen.

Im folgenden wurden diese Gesetzmäßigkeiten auch auf die Spektren anderer Elemente ausgedehnt. Diese Arbeiten fanden 1913 einen gewissen Abschluss, als Niels Bohr (1885-1962) mit Hilfe seines Atommodells nicht nur die empirischen Formeln physikalisch erklären konnte, sondern auch das Zustandekommen der Linienspektren überhaupt.

Eine andere Forschungsrichtung betraf die spektroskopische Untersuchung der Wärmestrahlung. An derartigen Forschungen war auch die Praxis interessiert; sowohl der Beleuchtungs- als auch der Wärmetechnik war an der genauen Kenntnis der Energieverteilung auf die einzelnen Teile des Spektrums gelegen.

Im Zusammenhang mit seinem Absorptionsgesetz hatte Kirchhoff den "schwarzen Strahler" definiert und in der Hohlraumstrahlung seine beste Realisierung gesehen. Durch Untersuchungen von Boltzmann, Joseph Stefan (1835-1893), Willy Wien (1864-1928) u.a. wurden die Strahlungsgesetze von Friedrich Paschen (1865-1947) und Wien bzw. von Lord Rayleigh (1842-1919) und James H. Jeans (1877-1946) vorbereitet.

Experimentell festgestellte Diskrepanzen zwischen beiden Gesetzen überwand 1900 Max Planck (1858-1947) mit seinem Strahlungsgesetz, aus dem er seine berühmte Quantenhypothese entwickelte. Mit ihrer Anwendung im Bohrschen Atommodell traf dieser Zweig der Spektroskopie wieder mit dem der Linienspektren zusammen.

Die Messungen der Wärmestrahlung standen in engem Zusammenhang mit einem anderen aktuellen Problem, der Erforschung des ultraroten Spektralbereichs nach immer längeren Wellen. Besonders verdient machte sich dabei Heinrich Rubens (1865-1922), der gemeinsam mit seinen Mitarbeitern einen großen Teil der Lücke zu den elektrischen Wellen hin schloss.

Nach der anderen Seite des Spektrums, ins ferne Ultraviolett, drang Viktor Schumann (1841-1913) vor. Derartige Fortschritte brachten wertvolle neue Erkenntnisse vor allem in Bezug auf die Maxwell-Hertzsche Theorie der elektromagnetischen Wellen.

Sie gingen aber auch Hand in Hand mit zahlreichen technischen Verbesserungen der Spektrogeräte, die wiederum der Spektrochemie zugute kamen.

Die von Bunsen und Kirchhoff ausgesprochene Hoffnung auf eine baldige breite Anwendung der Spektroskopie in der Industrie erfüllte sich zunächst noch nicht. Zwar hatte Bunsens Freund Roscoe in England bereits 1863 eine spektralanalytische Methode ausgearbeitet, mit der sich der Bessemerprozess der Stahlherstellung leicht und sicher überwachen ließ, doch blieb das über Jahrzehnte hinaus die einzige technische Anwendung der Atomspektroskopie.

Ausschlaggebend dafür war in erster Linie, dass keine wissenschaftlich begründeten quantitativen Methoden für die Bestimmung von Elementen existierten. In der Industrie interessierte aber nicht so sehr, ob ein Stoff überhaupt vorhanden, sondern viel mehr, wieviel davon in einer Probe enthalten ist, da die Verunreinigungen in der Regel erst ab einer gewissen Mindestgrenze die Eigenschaften des Materials störend beeinflussen.

Empirische Versuche von Joseph Norman Lockyer (1836 bis 1920), Walter Noel Hartley (1843-1913), Arnaud de Gramont (1861-1923) u. a. führten nur zu halbquantitativen Verfahren, so dass die praktische Anwendung weiterhin ausblieb.

Erst als Walter Gerlach (1889 geb.), zum Teil gemeinsam mit Eugen Schweitzer (1905-1934) durch eine Verknüpfung dieser empirischen Methoden mit den Erkenntnissen der theoretischen Atomphysik 1924 die wissenschaftlichen Grundlagen der quantitativen Spektralanalyse schuf und gleichzeitig ein allgemein anwendbares Verfahren entwickelte, setzten sich spektralanalytische Methoden in der Industrie immer stärker durch.

Bereits in den dreißiger Jahren wurde in der Leichtmetall-, später auch in der Stahlindustrie ein hoher Prozentsatz aller Analysen spektrochemisch durchgeführt. Heute ist die Spektralanalyse, inzwischen weitgehend automatisiert und mit elektronischen Datenverarbeitungsgeräten gekoppelt, aus den Forschungs- und Industrielaboratorien nicht mehr wegzudenken.

Den wissenschaftlichen Erfolgen bei der Schaffung unseres modernen naturwissenschaftlichen Weltbildes, die den Mikrokosmos wie den Makrokosmos gleichermaßen betreffen, sind damit nun auch Erfolge im Bereiche der materiellen Produktion ebenbürtig an die Seite getreten.

3 Der weitere Lebens- und Schaffensweg Kirchhoffs

3.1 Die Heidelberger Zeit

Im Zusammenhang mit den Arbeiten zur Spektralanalyse beschäftigte sich Kirchhoff eingehend mit der theoretischen Durchdringung seines Strahlungsgesetzes. In einer Veröffentlichung von 1862 "Über das Verhältnis zwischen dem Emissionsvermögen und des Absorptionsvermögens der Körper für Wärme und Licht" kam er zu Ergebnissen, die zusammen mit dem Strahlungsgesetz selbst für die Weiterentwicklung der Theorie der Wärmestrahlung von größter Bedeutung wurden.

Er definierte hier den idealen "schwarzen Körper" oder "schwarzen Strahler", an dessen Oberfläche keine Reflexion eintritt, der also alle auftreffenden Strahlen vollständig absorbieren würde.

Eine relativ einfache Verwirklichung des schwarzen Strahlers sah Kirchhoff in einem Hohlraum, der von Körpern gleicher Temperatur umschlossen ist und eine kleine Öffnung zum Austritt der Strahlung besitzt. Diese Hohlraumstrahlung ist dann nur von der Temperatur, nicht aber von der Beschaffenheit der Innenwandungen abhängig.

Die weitere Erforschung der Wärmestrahlung, die 1900 schließlich in Plancks Strahlungsgesetz und der Quantenhypothese gipfelte, basierte auf diesen Kirchhoffschen Grundsätzen.

1862 wurden Bunsen und Kirchhoff von Roscoe zu einem längeren Aufenthalt nach England eingeladen (Abb. 9).



Abb. 9. G. R. Kirchhoff, R. W. Bunsen und H. E. Roscoe (1862)

Für Kirchhoff war es die erste Bekanntschaft mit diesem Land, während Bunsen bereits dreißig Jahre vorher in England seine berühmten Hochofenuntersuchungen vorgenommen hatte.

Nun aber machte der Gastgeber sie mit zahlreichen Schönheiten und Sehenswürdigkeiten seiner Heimat vertraut. Ein Besuch der Londoner Jahresausstellung, Anziehungspunkt für Besucher aus aller Welt, rundete die Eindrücke dieser Reise ab. Auf zahlreichen Gesellschaften hatten Kirchhoff und Bunsen Gelegenheit, prominente englische Wissenschaftler, wie Charles Wheatstone, einen der Vorkämpfer der Spektralanalyse und Erfinder der nach ihm benannten elektrischen Messbrücke, und James Prescott Joule (1818-1889), den englischen Mitentdecker des Energieprinzips, kennenzulernen.

Die persönliche Bekanntschaft mit dem greisen Michael Faraday (1791-1867) war für beide ein Höhepunkt ihres Aufenthaltes auf der Insel.

Ebenfalls 1862 wurde Kirchhoff aufgrund seines hohen Ansehens zum Prorektor der Heidelberger Universität gewählt. In seiner Antrittsrede formulierte er als einer der führenden Vertreter der sogenannten mechanistischen Naturauffassung das "Ziel der Naturwissenschaft".

Danach ist in der organischen wie in der anorganischen Natur "... das wahre Verständnis nicht gewonnen, solange die Zurückführung auf die Mechanik nicht gelungen ist. Vollständig erreicht wird dieses Ziel der Naturwissenschaft nie werden; aber schon die Tatsache, dass es als solches erkannt ist, bietet eine gewisse Befriedigung."

Während die frühen Verfechter des mechanischen Materialismus - John Locke (1632-1704) und Julien Offray de La Mettrie (1709-1751, "Der Mensch - eine Maschine") - aufgrund ihrer damals fortschrittlichen Weltanschauung zu den Wegbereitern der bürgerlichen Revolutionen in ihren Heimatländern England und Frankreich zählten, verlor diese Ideologie im 19. Jahrhundert immer mehr ihren revolutionären Charakter.

Sie beschränkte die materialistische Betrachtungsweise allein auf die Natur und sah sich darüber hinaus außerstande, den gesetzmäßigen Entwicklungsprozess zu verstehen, dem die Welt insgesamt unterworfen ist.

Kirchhoff wandte sich in den folgenden Jahren wieder stärker theoretischen Untersuchungen zu. Besonders eine schmerzhafteste Fußverletzung, die er sich 1868 zuzog und die ihn jahrelang zwang, an Krücken zu gehen, machte ihm während dieser Zeit experimentelles Arbeiten so gut wie unmöglich.

Im gleichen Jahr traf ihn ein weiteres Unglück; seine Frau, die er sehr liebte, erkrankte an einer Rippenfellentzündung, zu der sich bald darauf eine Schwindsucht gesellte. 1869 verstarb sie, und Kirchhoff blieb mit seinen vier Kindern, zwei Söhnen und zwei Töchtern, allein.

Trotz seines Schmerzes ließ es sein tiefverwurzeltes Pflichtgefühl selbst an ihrem Sterbetage nicht zu, seine Vorlesungen abzusagen, wie er überhaupt seine Verzweiflung durch intensive wissenschaftliche Arbeit zu überwinden suchte. Das gelang ihm aber scheinbar nur schlecht, "das Messer, mit dem ich schneiden will, ist stumpf", schrieb er an seinen Freund Du Bois-Reymond.

Seine Heidelberger Freunde, allen voran Bunsen und Helmholtz, unternahmen alles, um ihn seinen Schmerz vergessen zu lassen. Auch der im gleichen Jahr nach Heidelberg berufene Mathematiker Königsberger schloss sich dem Freundeskreis an, und man traf ihn wie Helmholtz oft in Kirchhoffs und Bunsens Begleitung, die nun wieder täglich ausgedehnte gemeinsame Spaziergänge unternahmen.

Kirchhoff hat Bunsen auch auf mehreren Ferienreisen begleitet, so Anfang der siebziger Jahre nach Südfrankreich, nach Italien und der Schweiz, wo sie jedesmal erholsame Wochen verbrachten.

1870 wurde Kirchhoff aufgrund seiner Verdienste zum auswärtigen Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften ernannt, nachdem er schon seit 1861 zu deren korrespondierenden Mitgliedern zählte. Als im gleichen Jahr Magnus starb, entstanden um seine Nachfolge in Berlin heftige Diskussionen.

Zwar war sich die Fakultät bald einig, dass nur zwei Wissenschaftler ernsthaft in Frage kämen, "... welche unter ihren Fachgenossen in dem Grade hervorrangen, dass von den ... Physikern sich keiner verletzt fühlen kann, wenn er ihnen nachgestellt wird; es sind die beiden Heidelberger Professoren Hermann Helmholtz und Gustav Kirchhoff."

Die Entscheidung zwischen diesen beiden fiel jedoch nicht leicht. Das geht wohl auch aus dem Schreiben der Fakultät an das preußische Unterrichtsministerium hervor, in dem zunächst die

Berufung Kirchhoffs vorgeschlagen wurde:

"Während Helmholtz ein Forscher ist, welcher dem ganzen Gebiet der experimentellen Naturforschung angehört, ist Kirchhoff von Hause aus Physiker, ein Schüler Neumanns und zugleich Jacobis, von Anfang an darauf gerichtet, jeden Fortschritt des mathematischen Denkens für die Erkenntnis der Naturgesetze auszubeuten ...

(Er ist) ein Mann, dessen Forschungen auf dem Gebiete der mathematischen Physik epochemachend sind, wie namentlich seine Theorie der Elastizität, seine Theorie für die Bewegung der Elektrizität in Leitern beliebiger Form unter Berücksichtigung der Induktionswirkungen und seine ... Forschungen auf dem Gebiete der Hydrodynamik.

Durch die glänzende Entdeckung der Spektralanalyse, an welcher er und Bunsen gleiche Anteile haben, ist sein Name in den weitesten Kreisen bekannt geworden, während seine Fachgenossen seinen an diese Entdeckung sich knüpfenden theoretischen Untersuchungen ... fast noch größere Bedeutung beigelegt haben." [34]

Aber auch für Helmholtz wurden gewichtige Gründe vorgebracht. Den Ausschlag für Kirchhoffs Berufung gaben schließlich seine Fähigkeiten und Neigungen für die Lehre.

"Wenn wir indessen ... das Universitätsinteresse in erster Linie berücksichtigen", heißt es in dem obengenannten Schreiben weiter, "So wird in dieser Beziehung zu betonen sein, dass, wenn Helmholtz der genialere und umfassendere Forscher ist, Kirchhoff der geschulte Physiker und der berühmtere Lehrer ist.

Während Helmholtz produktiv, mit immer neuen Problemen innerlich beschäftigt ist, hat Kirchhoff mehr Lust und Liebe zum Lehren; seine Vorträge sind durch musterhafte Klarheit und Abrundung ausgezeichnet; er ist auch, um Arbeiten von Anfängern zu leiten ... geeigneter als Helmholtz."

Als Kirchhoff durch Du Bois-Reymond von der Berufung erfuhr, schrieb er ihm:

"Es überkommt mich ein Gefühl, das dem Schwindel einigermaßen ähnlich ist, bei dem Gedanken an die Stellung, die Du mir schilderst und die mir vielleicht geboten werden soll; sie ist ja die höchste, die ich anstreben könnte ... mit Spannung sehe ich den Dingen, die da kommen sollen, entgegen."

In Heidelberg, vor allem aber im Karlsruher Ministerium unternahm man jedoch alles, um Kirchhoff zu halten, so dass er den Ruf nach Berlin schließlich doch ablehnte. Statt seiner trat Helmholtz die Nachfolge von Magnus an.

Bald darauf heiratete Kirchhoff zum zweiten Male. Mit Luise Brömmel, einer medizinischen Oberschwester, führte er eine ebenso glückliche Ehe wie mit seiner ersten Frau, so dass er später oft äußerte, ihm habe des Lebens Mai zweimal geblüht.

1874 erhielt Kirchhoff eine zweite Berufung nach Berlin, diesmal als Direktor der neugegründeten astrophysikalischen Sonnenwarte bei Potsdam.

"Eine fürstlichere Stellung in der Wissenschaft ist noch kaum einem deutschen Gelehrten geboten worden", schrieb Du Bois, der wieder die Verhandlungen führte, "und es muss Dich doch auch locken, der Direktor einer großen Staatsanstalt zu sein, die aus Deiner Gedankenarbeit entsprungen ist."

Aber auch diesmal lehnte Kirchhoff ab. Einmal. waren ihm in Heidelberg weitere Verbesserungen zugesagt worden, zum anderen wäre es ihm, wie er selbst schrieb, auch sehr schwergefallen,

"... von meinen Heidelberger Freunden mich zu trennen. Dazu kam der Wunsch, ungestört in der Richtung fortarbeiten zu können, in der ich seit einer Reihe von Jahren tätig gewesen bin, an der Herausgabe von Vorlesungen über mathematische Physik nämlich.

Als Direktor der astrophysikalischen Warte hätte ich das nicht tun können; da hätte ich es für meine Pflicht gehalten, die Mittel des Institutes so gut zu benützen, als meine Kräfte es gestatten ..."

Seine Arbeiten in dieser Richtung wurden sehr gefördert durch die wissenschaftliche Zusammenarbeit mit Königsberger. Infolge dieses Zusammenwirkens war an der Heidelberger Universität eine mathematisch-physikalische Schule entstanden, die bis über Deutschlands Grenzen hinweg Ruhm erlangte und auch die beiden Wissenschaftler selbst mit "Stolz und Freude" erfüllte.

Als Kirchhoff den ehrenvollen Ruf nach Potsdam abgelehnt hatte, fand sich der Freundeskreis Bunsen, Kirchhoff, Königsberger und der neu dazu gestoßene Physiologe Wilhelm Kühne (1837-1900), der die Nachfolge von Helmholtz angetreten hatte, zu einem kleinen Festessen zusammen, bei dem sie sich versprachen, auch in der Zukunft treu zusammenzubleiben.

Aber schon bald änderte sich die Situation für Kirchhoff entscheidend, als nämlich Königsberger einen Ruf an die Technische Hochschule Dresden erhielt. Ungeachtet wiederholter Vorstellungen Kirchhoffs unternahm das badische Ministerium nichts, um Königsberger zum Bleiben zu bewegen, selbst dann nicht, als Kirchhoff erklärte, er werde dann bei der nächsten sich bietenden Möglichkeit ebenfalls Heidelberg verlassen.

Diese Gelegenheit sollte nicht lange auf sich warten lassen. Bereits im Herbst 1874 erhielt Kirchhoff eine erneute Berufung nach Berlin, diesmal von der Akademie in eine freie Stellung mit 5500 Mark Jahresgehalt, bei der er sich ganz der Forschung widmen sollte und keinerlei Lehrverpflichtungen zu übernehmen hatte [33].

Er nahm diesen Ruf sofort an und erhielt seine Zusage auch aufrecht, als das Angebot des preußischen Ministeriums eine Berufung auf eine neu zu gründende Professur für mathematische Physik an der Universität vorsah.

Am 1. April 1875 siedelte Kirchhoff mit seiner Familie nach Berlin über, wobei ihm der Abschied von seinem alten Freunde Bunsen besonders schwerfiel.

Für den alternden Junggesellen war der Weggang seiner beiden engsten Freunde ein schwerer Schlag. "Ich kann mich noch nicht an Ihre und Kirchhoffs Abwesenheit gewöhnen und sehe dem kommenden Semester mit Unlust und Unmut entgegen", schrieb er an Königsberger, und einem Beauftragten des Kultusministers, der in Sondermission nach Heidelberg gesandt worden war, um die wahren Hintergründe für den Weggang Kirchhoffs zu ergründen, erklärte Bunsen voll Bitternis:

"Wenn mich alten Mann noch eine Universität haben wollte, ich ginge sofort."

Als Professor und Akademiemitglied in Berlin

Die Übersiedlung nach Berlin wurde Kirchhoff erleichtert durch die vielen alten Freunde, die er dort wiedertraf. Neben Helmholtz waren das vor allem Du Bois-Reymond und Karl Theodor Wilhelm Weierstraß (1815-1890), und bald kamen Werner v. Siemens (1816-1892) und Gustav v. Hansemann (1829-1902) dazu.

Mit letzterem führte Kirchhoff zusammen in dessen gut ausgerüstetem Privatlaboratorium eine Reihe von Experimenten, vornehmlich über Wärmeleitung, durch.

In einer gemeinsamen Arbeit ("Über die Leitfähigkeiten der Metalle für Wärme und Elektrizität", 1881) konnten beide unter anderem das Gesetz von Wiedemann und Franz über die Proportionalität der Leitvermögen für Elektrizität und Wärme bei Metallen bestätigen und die dagegen ausgesprochenen Einwände von W. Weber als unberechtigt zurückweisen.

Zunächst arbeitete Kirchhoff intensiv an der Herausgabe seiner Vorlesungen über mathematische Physik, von denen er den Band über Mechanik 1876 veröffentlichen konnte.

Die Schönheit und Klarheit dieser Vorlesungen, auf die Kirchhoff wie schon in Heidelberg einen großen Teil seiner Zeit verwandte, insbesondere die Eleganz seiner mathematischen Beweisführungen, ist von vielen Seiten gerühmt worden.

Das Werk war dann auch ungewöhnlich schnell vergriffen, so dass sich bereits ein Jahr darauf eine Neuauflage notwendig machte.

Planck, neben H. Hertz der berühmteste Schüler Kirchhoffs, hat nach dem Tode seines Lehrers dessen mathematisch-physikalische Vorlesungen über Elektrizität und Magnetismus (1891) sowie über Wärme (1894) herausgegeben, wobei er feststellte, dass sie "in zusammenhängender, im allgemeinen für den Druck unmittelbar geeigneter Sprache" abgefasst waren.

Den Kirchhoffschen Vortrag selbst charakterisierte Planck im Gegensatz zu den Vorlesungen von Helmholtz wie folgt:

"Helmholtz hatte sich offenbar nie richtig vorbereitet, er sprach immer nur stockend, wobei er in einem kleinen Notizbuch sich die nötigen Daten heraussuchte, außerdem verrechnete er sich beständig an der Tafel, und wir hatten das Gefühl, dass er sich selber bei diesem Vortrag mindestens ebenso langweilte wie wir ...

Im Gegensatz dazu trug Kirchhoff ein sorgfältig ausgearbeitetes Kollegheft vor, in dem jeder Satz wohl erwogen an seiner richtigen Stelle stand. Kein Wort zu wenig, kein Wort zuviel. Aber das Ganze wirkte wie auswendig gelernt, trocken und eintönig. Wir bewunderten den Redner, aber nicht das, was er sagte."

So ganz unberechtigt mögen die beständigen Zweifel Kirchhoffs an seiner Vortragskunst also nicht gewesen sein. Die daraus resultierenden intensiven Vorbereitungen gipfelten jedoch in meisterhaft ausgearbeiteten Manuskripten, die in gedruckter Form noch jahrzehntelang Studenten und jungen Physikern das Gebiet der theoretischen Physik erschließen halfen.

In seinen Vorlesungen setzte sich Kirchhoff auch mit der Maxwellschen Theorie der Elektrodynamik auseinander, wobei er zwar nicht zu den gleichen allgemeinen Schlussfolgerungen gelangte, in wichtigen Punkten jedoch ähnliche Ansichten wie James Clark Maxwell (1831-1879) vertrat.

Als Helmholtz 1847 auf die prinzipielle Möglichkeit elektrischer Schwingungen hingewiesen hatte, war Kirchhoff einer der ersten gewesen, die den theoretischen Nachweis führten, dass es bei geeigneten Versuchsanordnungen elektrische Oszillationen geben müsse.

Er berechnete damals - 1857 - auch schon, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektrischer Schwingungen in Luft der Lichtgeschwindigkeit gleich sein müsse.

Insbesondere durch die Berücksichtigung der dielektrischen Polarisation in den elektrodynamischen Gleichungen gelangte Kirchhoff zu neuen Formulierungen, die, ähnlich jenen, zu denen Helmholtz auf anderem Wege gekommen war, mit den Grundansichten Maxwells übereinstimmten und, wie Boltzmann zeigte, durch Umformungen in die Maxwellschen Gleichungen zu überführen waren.

Ende der siebziger, Anfang der achtziger Jahre verschlechterte sich der Gesundheitszustand

.Kirchhoffs beträchtlich, so dass er zunächst seine experimentelle Tätigkeit immer mehr einschränkte und bald auch auf ärztliches Anraten seine Vorlesungen zeitweilig aufgab.

Als man ihn 1884 zum Rektor der Berliner Universität wählte, lehnte er die Annahme des Amtes ab, da er sich den damit verbundenen Anstrengungen nicht gewachsen fühlte. Im Wintersemester 1885/86 nahm er unter Aufbietung aller seiner Kräfte die Vorlesungen wieder auf, jedoch nur, um sie bald wieder, und diesmal endgültig, aufzugeben.

Sein Leiden, das sich in Schwindel- und Fieberanfällen sowie leichten Nervenlähmungen äußerte und dessen Ursache in einem Gehirntumor vermutet wurde, versuchte er durch Erholungsaufenthalte im Harz und in Baden-Baden zu kurieren.

Dabei musste er, der als großer Naturfreund stets ausgedehnte Ausflüge geliebt und auch noch in den siebziger Jahren mit Bunsen gemeinsam größere Auslandsreisen unternommen hatte, mit Ausfahrten im Rollstuhl vorliebnehmen.

In Baden-Baden besuchte ihn der greise Bunsen, den der körperliche Verfall seines Freundes auf das tiefste schmerzte.

Trotz seiner körperlichen Gebrechlichkeit zeigte sich Kirchhoff jedoch in seinen letzten schweren Jahren stets heiter, liebenswürdig und von erstaunlicher geistiger Frische.

Am 17. Oktober 1887 erlöste ihn der Tod von seinen Leiden.

Kirchhoff waren im Verlaufe seines Lebens zahlreiche wissenschaftliche Ehrungen zuteil geworden. Fast alle bedeutenden europäischen Akademien und wissenschaftlichen Gesellschaften zählten ihn zu ihren Mitgliedern.

Alle diese Institutionen nahmen nun Anteil an dem Verlust, der die deutsche Wissenschaft betroffen hatte. Neben den engsten Familienmitgliedern und dem 76jährigen Bunsen, dem sein Gesundheitszustand nicht einmal gestattete, den Trauerfeierlichkeiten beizuwohnen, war wohl der fast 90jährige Neumann am meisten von Kirchhoffs Tode betroffen.

Er brauchte lange, um den Verlust seines bedeutendsten Schülers zu verwinden.

Kurz nach Kirchhoffs Tode verlieh ihm die französische Akademie der Wissenschaften für seine theoretischen Forschungen zur Spektralanalyse den ersten Prix Janssen, der 1886 gestiftet worden war, und überreichte ihn seiner Witwe.

Kirchhoff lebt im Gedächtnis der wissenschaftlichen Welt weiter - in seinen Theorien, Gleichungen und Entdeckungen, von denen die bedeutendste, die Begründung der Spektralanalyse, seinen Namen für immer mit dem Bunsens verbindet.

Neben seinen wissenschaftlichen Leistungen schätzten und bewunderten seine Freunde und Mitarbeiter an Kirchhoff in gleichem Maße seine Liebenswürdigkeit, Güte und Bescheidenheit. August Wilhelm Hofmann (1818-1892) beschloss seinen Nachruf auf Kirchhoff vor der Deutschen Chemischen Gesellschaft mit den Worten:

"Auf meinem langen Lebenspfade bin ich keinem begegnet, bei welchem, wie bei Kirchhoff, höchstes Vollbringen gesellt gewesen wäre mit fast demutvoller Bescheidenheit."

4 Bunsens weitere wissenschaftliche Leistungen und sein späterer Lebensweg

Wie schon in Marburg widmete Bunsen auch in Heidelberg den größten Teil seiner Zeit seinen Schülern. Der Vorlesungen, die er morgens 8 bis 9 Uhr abhielt und in denen er die allgemeine Chemie behandelte, erinnerte sich sein Schüler und Mitarbeiter Roscoe:

"Seine Darstellung war klar und seine Sprache leicht, und jeder Punkt, den er berührte, wurde in eigenartiger Weise behandelt. Natürlich wurde kein Buch benutzt oder angeführt; die beiden einzigen, die ich ihn in Zweifelsfällen habe nachschlagen sehen, waren Gmelin und Roscoe-Schorlemmer.

Wenn ein Praktikant ihn wegen irgend einer Stelle in irgend einem Handbuche befragte, die er nicht verstehen konnte, pflegte er lachend zu sagen, dass das meiste, was in Büchern sich geschrieben findet, Unsinn sei."

Bunsen maß den modernen chemischen Theorien wenig Bedeutung bei und benutzte zeitlebens die Nomenklatur und Schreibweise von Berzelius. Eine einzige neue, experimentell begründete Tatsache, pflegte Bunsen seinen Schülern oft zu sagen, wiege alle theoretischen Erörterungen auf. Demgemäß wandte er in seinen Vorlesungen den Experimenten die größte Aufmerksamkeit zu.

Vor allem konnten seine Studenten im Labor, wo der Lehrer ihnen den ganzen Tag zur Verfügung stand, von Bunsen lernen. Roscoe hat davon später in einer Gedenkrede vor der Londoner Chemical Society anschaulich berichtet:

"Mit Bunsen zusammen zu arbeiten war ein wirklicher Genuss. In vollständiger Hingabe an seine Studenten (welche diese erwiderten) verbrachte er den ganzen Tag im Laboratorium und zeigte ihnen mit eigenen Händen, wie man am besten die verschiedenen Operationen ausführte, die sie zu machen hatten.

Da zeigte er dem einen das neue Verfahren zum Auswaschen von Niederschlägen unter Ersparnis von Zeit und Arbeit, dort half er dem anderen, die Kalibriertabelle eines Eudiometers zu berechnen, dort entwickelte er dem dritten, warum die übliche Trennung von Eisen und Mangan unvollkommen ist, und führte vor seinen Augen eine bessere Trennung aus.

Sehr oft konnte man ihn am Blasetisch finden, ... beschäftigt, einen neuen Glasapparat zusammenzublasen. Denn er war ein geschickter Glasbläser und hatte Freude daran, den Leuten das Einsetzen von Platindrähten in das Eudiometer zu zeigen, oder ihnen Kugelröhren für die jodometrische Analyse zu fertigen.

Maxwell Simpson, der in den fünfziger Jahren bei Bunsen arbeitete, erzählte mir, dass eines Tages Bunsen einen komplizierten Glasapparat für einen Schüler hergestellt hatte, der mit ihm nichts besseres anzufangen wusste, als ihn alsbald zu zerbrechen. Bunsen machte ihm einen zweiten, dem es nicht anders erging.

Ohne zu murren, setzte sich Bunsen ein drittes Mal an den Blasetisch und überreichte dem Studenten (der sich wohl nicht wenig geschämt haben wird) zum dritten Male den vollständigen Apparat. - Seine Geschicklichkeit war bemerkenswert; seine Hände waren zwar groß und kräftig, dabei aber merkwürdig zart und geschickt.

Er zeigte einen komischen Stolz auf seinen breiten Daumen, mit dem er das offene Ende eines großen, mit Quecksilber gefüllten Eudiometers verschließen konnte, so dass er im Stande war, es in der Quecksilberwanne umzukehren, ohne die kleinste Luftblase hineinzulassen; kleiner

befingerte Sterbliche versuchten vergeblich, dies nachzumachen.

Auch besaß er eine salamanderartige Fähigkeit, mit heißen Glasröhren umzugehen, und oft habe ich beim Blasetische gerösteten Bunsen gerochen und seine Finger rauchen sehen ... Unter den Studenten ging der Scherz um, dass der Meister niemals eine Pinzette brauchte, um den Deckel von dem glühenden Porzellantiegel abzunehmen."

Unter seinen Schülern war eine Karikatur Bunsens verbreitet, die ihn darstellte, wie er mit den Fingern eine Porzellanschale in eine Flamme hält; "Man dampft es ruhig ab!" lautete die sarkastische Unterschrift.

Bei seiner hingebungsvollen Unterrichtstätigkeit blieb Bunsen tagsüber wenig Zeit für eigene Arbeiten. Für größere Untersuchungen benutzte er die Sonntage und einen Teil der akademischen Ferien, während die schriftstellerischen Arbeiten am frühen Morgen, oft schon vor Tage, erledigt wurden.

Um in ständigem Kontakt mit seinen Schülern zu bleiben, verzichtete Bunsen auf ein Privatlabor und arbeitete statt dessen im Unterrichtslabor an einem ebensolchen Tisch wie seine 60 bis 70 Studenten. Hier führte er seine kleineren Experimentalarbeiten durch.

"Obgleich unser Lehrer, war er doch in jeder anderen Hinsicht ebenso sehr Student wie der krasseste Anfänger", erzählte Thomas Edward Thorpe (1845 bis 1925), der damals unmittelbar neben Bunsen arbeitete.

"Er hatte nicht mehr Raum zur Verfügung wie die anderen, und für ihn galten die Strafgesetze wie für uns. Mit gespielterm Ärger bezahlte er seine Kreuzer, wenn man ihn dabei ertappte, wie er Gas verschwendete oder die Tür des Waagekastens offen ließ, oder irgend eine der anderen einundzwanzig Kardinalsünden beging, aus deren Strafgeldern - wenn man sie entdeckte - die Bibliothek unterstützt wurde." [47]

Bei seiner individuellen Lehrtätigkeit sind die erreichten Erfolge kein Zufall. Unter seinen Schülern befanden sich Wissenschaftler, die später zu den bedeutendsten ihres Faches zählten, wie Adolf v. Baeyer, Lothar Meyer, Victor Meyer und Clemens Winkler; eine größere Auswahl bekannter Bunsen-Schüler und deren wissenschaftlicher Nachkommen gibt eine Übersicht im Anhang. Sie zeigt, dass Bunsen auf dem Gebiet der Lehre wohl nur mit Liebig zu vergleichen ist.

Diese Tatsache war neben seinem Forscherruhm, der durch die Entdeckung der Spektralanalyse noch angewachsen war, maßgebend dafür, dass die preußische Regierung ihn 1863 als Nachfolger für Eilhard Mitscherlich zu gewinnen suchte.

"Man hat mir von Berlin aus in Betreff der Mitscherlich'schen Professur sehr glänzende Anerbietungen gemacht", schrieb Bunsen seinem Freund Roscoe, "ich habe aber abgelehnt, da ich weder unter dem Regiment des Herrn v. Bismarck leben mag, noch Lust habe, mit dem in Berlin gänzlich herabgekommenen Studium der Chemie von vorne wieder anzufangen."

Damit bekundete Bunsen wie viele andere liberal gesinnte Gelehrte, von denen der Anatom Rudolf Virchow (1821-1902) die verfassungswidrigen Machenschaften des reaktionären preußischen Politikers wohl am schärfsten verurteilte, seine Abneigung gegen Bismarck.

1862 hatte Wilhelm II. Otto v. Bismarck (1815-1898) gegen den Willen des preußischen Abgeordnetenhauses zum Ministerpräsidenten ernannt. Sein Ziel war die Einigung Deutschlands "von oben", worunter er die Angliederung der übrigen deutschen Staaten an Preußen verstand.

Diese volksfeindliche Politik versuchte Bismarck mit allen Mitteln, selbst "... durch Eisen und

Blut" zu verwirklichen. Damit brachte er sich aber auch immer mehr in Widerspruch zu den progressiven bürgerlichen Kräften, deren Widerstand er brutale Willkür entgegensetzte. Seinen Höhepunkt erreichte dieser sogenannte "Verfassungskonflikt" 1863, kurz bevor das Angebot an Bunsen erfolgte. Bunsens Ablehnung kam daher für keinen, der ihn und seinen Hang zur Unabhängigkeit der "Öbrigkeit" gegenüber kannte, überraschend.

Neben vielfältigen spektralanalytischen Arbeiten, die den fünfzigjährigen Bunsen noch viele Jahre beschäftigten, wandte er sich im folgenden Jahrzehnt wieder stärker seinem bevorzugten Arbeitsgebiet zu, der chemischen Analyse von Mineralien und Mineralwässern.

Seine Veröffentlichungen "Lithium in Meteoriten" (1861), "Über Erbinerde und Yttererde" (1866), "Berechnungen gemischter Feldspäte" (1868), "Instruktion für die Untersuchung der Badischen Mineralwässer" (1871) sowie zahlreiche Abhandlungen über Analysen verschiedener Mineralwässer und Mineralien in Liebigs Jahresberichten (1857-62, 1869, 1882) zeugen von der großen Liebe Bunsens zu diesem Gebiete ebenso wie von seiner unverminderten Schaffensfreude.

Mit der Abhandlung über "Thermoketten von großer Wirksamkeit" (1864) griff er noch einmal ein physikalisches Problem auf. Er fand dabei, dass sich Pyrolusit und Kupferkies in Kombination mit Kupfer oder Platin bedeutend besser zur Herstellung von Thermoelementen eignen als Wismut.

Diese Arbeit zeigte ebenso wie die beiden 1867 erschienenen "Über die Temperatur der Flammen des Kohlenoxids und Wasserstoffs" und "Verfahren zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Dämpfen und Gasen" noch einmal Bunsens großes experimentelles Geschick und seine Meisterschaft im Anfertigen von Geräten.

1868 lieferte Bunsen einen weiteren Beweis für seine Erfindungsgabe und seinen Blick für einfache, aber wirkungsvolle Verbesserungen im Laboratorium. Das Auswaschen von Niederschlägen geschah damals meist durch einfache Filtration oder durch Dekantieren und erforderte vor allem bei Silikatanalysen viel Zeit und Aufwand.

Die kurz vorher von Hermann Sprengel (1834-1906) erfundene Quecksilberpumpe regte Bunsen zum Bau einer gläsernen Wasserstrahlpumpe an, deren Betrieb durch die neue Wasserleitung im Laboratorium möglich wurde.

Sie war, wie Bunsen schrieb, "... für alle chemischen Zwecke jedem anderen Luftverdünnungsapparate vorzuziehen ..., insoweit es genügt, die Verdünnungen nicht weiter als bis auf 6 bis 12 Millimeter Quecksilberdruck zu treiben."

Die Vorteile gegenüber den älteren Verfahren waren erheblich; das Auswaschen erforderte jetzt nur noch etwa ein Zehntel der ursprünglichen Zeit, und die Einsparung an Waschflüssigkeit war noch wesentlich größer.

Wie der Bunsenbrenner findet sich auch seine Wasserstrahlpumpe heute noch in den chemischen Laboratorien. Auch die von ihm gebauten Bimssteinfilter sind in unseren Glas- und Porzellanfritten wiederzuerkennen.

Im gleichen Jahre erlitt Bunsen bei der Aufarbeitung von Platinrückständen, die ihm die Petersburger Münze unentgeltlich überlassen hatte, einen Unfall, dessen Ursachen Bunsen rätselhaft blieben, der aber glücklicherweise ohne schlimme Folgen blieb. Er hatte, wie er seinem Freunde Roscoe schilderte,

"... ungefähr ein Pfund Rhodium und Iridium mit Zink und Chlorzink ... dargestellt und bei 100° im Wasserbade getrocknet; bei der Berührung des halb erkalteten pulverigen Metalls mit dem Finger verpuffte die ganze Masse unter Feuererscheinung wie eingestampftes Schießpul-

ver, was mir um so rätselhafter ist, als ich dasselbe Pulver von anderen Platinrückständen in gleichen Quantitäten ganz gefahrlos in einer Reibschale öfters heftig gerieben habe ...

Meine linke Hand, mit deren Zeigefinger ich die Masse berührte, hat mir die Augen gerettet, da Gesicht und Augen nur mehr oberflächlich durch den Feuerstrahl, welcher durch die Finger hindurch gelangte, verbrannt wurden.

Jetzt sind meine Augen bis auf die abgebrannten Augenbrauen und Wimpern ganz wie früher, und ebenso wird die ganze Verbrennung keine Narben hinterlassen".

Die Tatsache, dass sich auf die Nachricht von dem Unfall der Wredeplatz vor Bunsens Wohnhaus mit Studenten füllte, die voller Sorge auf das ärztliche Untersuchungsergebnis warteten, wobei zunächst Bunsens Erblindung vermutet wurde, zeigte seine Beliebtheit und die Verehrung, die ihm seine Schüler entgegenbrachten.

Als bekannt wurde, dass Bunsen ohne ernstlichen Schaden davongekommen war, wollte der Jubel kein Ende nehmen; er erreichte seinen Höhepunkt mit einem Fackelzug der studentischen Jugend durch die Straßen der Neckarstadt, der wieder vor Bunsens Fenstern endete. Soviel Anteilnahme seiner Schüler ließ Bunsens Herz trotz aller Schmerzen höher schlagen.

1864 war auf Bunsens Wunsch eine zweite chemische Professur an der Heidelberger Universität eingerichtet und nach seinem Vorschlag Hermann Kopp, ein Schüler Liebig's, berufen worden. Kopp hatte sich in Gießen durch seine Arbeiten über den Zusammenhang von physikalischen Eigenschaften und chemischer Konstitution sowie besonders durch seine vierbändige "Geschichte der Chemie" einen Namen gemacht.

Wegen seiner umfangreichen, beinahe lexikalischen Kenntnisse hatte ihn Liebig häufig konsultiert, was ihm den Spitznamen "Liebig's Kopp" eintrug. Der spätere Heidelberger Chemieordnarius Theodor Curtius (1857-1928) bezeichnete Kopp als den größten chemischen Historiographen, als den

"... größten Kenner alles dessen, was in der Chemie bis zu seiner Zeit überhaupt gedacht und gemacht worden war."

Auch mit Bunsen entwickelte sich eine sehr gute Zusammenarbeit. Kopp erhielt ein eigenes Laboratorium und hatte als Ergänzung zu Bunsens großer Experimentalvorlesung spezielle Lehrveranstaltungen über theoretische und physikalische Chemie, Geschichte der Chemie, Kristallographie, Stöchiometrie und außerdem über Meteorologie und physikalische Geographie vorzutragen.

Der Gedankenaustausch mit diesem vielseitigen, auch auf historischem und philologischem Gebiet beschlagenen Gelehrten wurde Bunsen immer mehr zum Bedürfnis.

Indem Kopp Bunsen, den jeweils nur seine eigenen experimentellen Forschungen interessierten, über die in den wissenschaftlichen Zeitschriften publizierten Fortschritte der Chemie und Physik in Theorie und Praxis auf dem laufenden hielt, wurde er in Heidelberg als "Bunsens Kopp" dem Altmeister bald unentbehrlich.

Nachdem Kirchhoff nach Berlin gegangen war und auch Königsberger ein Jahr darauf Heidelberg verließ, wurde das freundschaftliche Verhältnis zwischen Bunsen und Kopp immer enger. So wie ein Jahrzehnt vorher das ungleiche Paar Bunsen und Kirchhoff auf seinen Spaziergängen gleichsam zum Stadtbild gehörte, so wurden nun der hünenhafte Bunsen und daneben der kleine Kopp zur stadtbekanntesten Erscheinung.

Für den humorvollen Ton, der zwischen beiden herrschte, zeugen nicht nur Briefe Bunsens und Kopp's an Roscoe, in denen sie häufig des anderen Befinden schilderten (Bunsen: "Es geht

uns allen recht gut, nur Kopp, der herzlich grüßen lässt, klagt sehr und macht wie gewöhnlich allerhand hypochondrische Grillen";

Kopp: "Er (Bunsen) ist wohl auf und munter, hat immer etwas mit seinem chronischen Bronchialkatarrh zu tun und brummt viel herum; er ist also völlig normal"), sondern auch eine von Roscoe erzählte Anekdote, nach der Bunsen einem jüngeren Chemiker, der ihn nach seinem Kollegen fragte, antwortete:

"Ja, ein kleiner Chemiker, namens Kopp, hat wohl hier gelebt. Ich kannte ihn vor etwa dreißig Jahren, habe aber nie ein Wort von dem verstanden, was er sagte."

Kopps hessischer Dialekt war für Bunsen, der als Hannoveraner Hochdeutsch sprach, immer wieder Anlass zum Scherzen.

Obwohl Bunsen in den Semesterferien sehr viel arbeitete, erübrigte er doch immer einige Wochen, um gemeinsam mit Freunden größere Reisen zu unternehmen. Die wohl ausgedehnteste und erlebnisreichste führte ihn im Herbst 1869 nach Italien.

Sein Begleiter Königsberger hat später in seiner Autobiographie eine anschauliche, mit vielen Anekdoten gewürzte Beschreibung der Reise gegeben, in deren Verlauf der fast sechzigjährige Bunsen gemeinsam mit seinem um vieles jüngeren Gefährten den Vesuv und den Ätna bestieg. Königsberger berichtete, dass "der vom Klassizismus durchtränkte Freund" während der ganzen Reise ihm das Gesehene durch geschichtliche Erläuterungen veranschaulichte, wobei er beständig Cicero, Plinius und andere Klassiker zitierte.

Zwei Jahre darauf reisten beide zu den Oberammergauer Passionsspielen und ins Salzkammergut, wo sie mit Roscoe zusammentrafen und mit diesem gemeinsam mehrere Tagesausflüge unternahmen.

Derartige Reisen, von denen er auch einige größere mit Kirchhoff zusammen unternahm, waren Bunsen stets ein Bedürfnis; aus ihnen gewann er die Kräfte für seine scheinbar unerschöpflichen Leistungen. Immer wieder zog es ihn dabei nach Italien.

Auch seine letzte größere Reise, auf der ihn sein ehemaliger Schüler Georg Quincke (1834-1924), inzwischen selbst Physik-Professor in Heidelberg, begleitete, führte ihn 1882 in dieses klassische Land, dessen alte Kultur und Kunstschatze er liebte und ausgezeichnet kannte.

Im Alter von 75 Jahren machten sich bei Bunsen, der sich zeit seines Lebens stets bester Gesundheit erfreut hatte, zunehmend Altersbeschwerden bemerkbar. 1875 veröffentlichte er seine letzte Experimentalarbeit "Über das Dampfcalorimeter". In gewohnter Originalität zeigte er dabei, wie sich die Kondensation gesättigten Wasserdampfes zur Bestimmung spezifischer Wärmen beliebiger Stoffe heranziehen lässt.

Die Versuchsanordnung offenbarte noch einmal seine experimentelle Meisterschaft. Der zu untersuchende Körper wurde mittels eines dünnen Platindrahtes an der Waagschale einer Analysenwaage aufgehängt - Flüssigkeiten dabei in dünnen Glashüllen, auf deren Herstellung Bunsen sich so trefflich verstand - und zunächst in trockener Luft und danach in strömendem Wasserdampf gewogen.

Die so ermittelten spezifischen Wärmen waren sehr genau, ebenso wie auch schon die, die er 17 Jahre vorher mit seinem Eiskalorimeter gemessen hatte. Mit diesem Gerät, das er in seinen "Calorimetrischen Untersuchungen" 1870 bekanntgemacht hatte, konnte er damals auch aus dem genauen Wert der spezifischen Wärme des neuentdeckten Indiums dessen Atomgewicht und damit dessen Dreiwertigkeit ermitteln.

Als sich zu seinen Alterserscheinungen - vor allem rheumatischen Schmerzen, von denen er

immer stärker geplagt wurde - 1887 noch ein schwerer und langwieriger Darmkatarrh gesellte, konnte Bunsen seine Vorlesungs- und Laboratoriumstätigkeit nur noch unter großen Mühen aufrechterhalten.

Er suchte deshalb um seine Emeritierung nach.

Sein Entlassungsgesuch wurde jedoch vom badischen Großherzog mit der Notiz "Einen Bunsen entlasse ich nicht!" versehen. Erst ein erneutes Schreiben, in dem Bunsen um seinen Rücktritt nachsucht und darauf verweist, dass eine Erholungsreise in den Ferien ihm die verlorenen Kräfte nicht wiedergebracht habe und es außerdem für ihn an der Zeit sei, einer jüngeren, rüstigeren Kraft Platz zu machen, hatte Erfolg.

Gleichzeitig mit Bunsen trat auch sein enger Freund Kopp in den Ruhestand. Auf Bunsens Wunsch wurde Victor Meyer, einer seiner begabtesten Schüler, als sein Nachfolger berufen, der nun der aufstrebenden organischen Chemie auch in Heidelberg zu ihrem Recht verhalf.

Bunsen dagegen zog sich völlig in das Privatleben zurück, ohne die Stätte seines 36jährigen Wirkens je wieder zu betreten. Vorher hatte er dem Institut noch für 20000 Mark Geschenke überlassen, darunter seine gesamte, 14000 Bände umfassende, Bibliothek und zahlreiche Platingeräte.

Die erste Zeit verfolgte er die Entwicklung seiner Wissenschaft, die er selbst so sehr vorangebracht hat, noch in den Fachzeitschriften. Bald machte ihm jedoch seine nachlassende Sehkraft auch das unmöglich.

Auch seine Schwerhörigkeit, die auf eine Explosion im Laboratorium zurückzuführen war und die er schon in jüngeren Jahren geschickt genutzt hatte, um unliebsame Störungen von sich fernzuhalten, verstärkte sich immer mehr.

Das Nachlassen seiner Sinnesfunktionen, das nach seiner Meinung auch von einer Abnahme der geistigen Fähigkeiten begleitet sein müsse, hat Bunsen sehr bedrückt, ebenso das Zusammenschrumpfen seines ehemaligen Freundes- und engeren Kollegenkreises.

Nach dem Tode von Kirchhoff, Kopp und Helmholtz musste er auch noch das tragische Ende seines Lehrstuhlnachfolgers V. Meyer miterleben, der - seinem Leben selbst ein Ende setzte. Nur Königsberger, 1884 nach Heidelberg zurückgekehrt, war von den alten Freunden noch am Leben; er und Quincke haben Bunsen die Einsamkeit seiner letzten Jahre zu erleichtern versucht.

Zu den Freuden seines Alters gehörte das Studium von Gerichtsberichten. Von Fällen, die ihn besonders fesselten, ließ er sich vom Amtsgericht die Prozessakten ausleihen, um sie gründlich zu studieren.

Immer wieder zog es Bunsen in die Natur. Als ihm Wanderungen und Spaziergänge in die geliebte Heidelberger Umgebung nicht mehr möglich waren, ließ er sich, sooft es ging, mit einem Wagen auf die waldbedeckten Höhen der Stadt fahren.

Am 16. August 1899 schloss der große Forscher seine Augen für immer.

Die Nachricht von Bunsens Tode verbreitete sich in wenigen Stunden um den ganzen Erdball; in ihm hatte die Wissenschaft des ausgehenden 19. Jahrhunderts einen ihrer größten Vertreter verloren.

Bunsen sind im Verlaufe seines Lebens die höchsten gesellschaftlichen Titel und Orden verliehen worden. Er hat ihnen wenig Wert beigemessen, sehr viel weniger als den Ehrungen, mit denen ihn die wissenschaftliche Welt überhäufte.

Die bedeutendsten Akademien und wissenschaftlichen Gesellschaften der Welt hatten ihn zum Mitglied oder Ehrenmitglied ernannt.

Die Deutsche Elektrochemische Gesellschaft beschloss 1901 auf Vorschlag von Wilhelm Ostwald (1853-1932), ihm zu Ehren ihren Namen in Deutsche Bunsengesellschaft für angewandte physikalische Chemie abzuändern.

"So wollen wir uns selbst in dem Besten, was wir geben können, in unserer Arbeit, ihm zum Denkmal darbringen" beschloss Ostwald seine Gedenkrede. "Was sterblich an ihm war, wird uns jenes Bild (das damals in Arbeit befindliche monumentale Heidelberger Bunsendenkmal - K. D.) in die Erinnerung zurückrufen.

Was aber der Tod nicht vernichten konnte, das ewige Erbe seines großen Geistes lebendig zu erhalten, dass es Frucht und Segen von Jahrhundert zu Jahrhundert bringe, das soll die dauernde Aufgabe seines lebendigen Denkmals, der Deutschen Bunsengesellschaft, sein."

Robert Wilhelm Bunsen zählte zu den bedeutendsten deutschen Wissenschaftlern. In seinen Werken, vornehmlich in der gemeinsam mit seinem Freunde Kirchhoff geschaffenen Spektralanalyse, hat er sich selbst das dauerhafteste Denkmal gesetzt.

5 Schlussbemerkungen

Kirchhoffs und Bunsens Arbeiten zur Spektralanalyse stellten den ersten und gleichzeitig wichtigsten Schritt auf dem Wege zu unseren heutigen Kenntnissen über die Struktur der Materie dar, die sowohl die kleinsten Dimensionen - den Bau der Atome - als auch die größten - den Aufbau des Weltalls - erfassen.

Weder die heutige Entwicklung der Kerntechnik noch die Erfolge der Weltraumfahrt erscheinen denkbar ohne die durch die Spektralanalyse eingeleiteten Forschungen.

B. M. Kedrow charakterisierte die Entdeckung der Spektralanalyse als "... einen der kühnsten Vorstöße des menschlichen Geistes auf dem Wege zur Erforschung der Eigenschaften, der Zusammensetzung und der Gesetze der Stoffe auf der Erde und im Kosmos" [41].

Im Verlaufe ihrer gemeinsamen Untersuchungen verstanden es Bunsen und Kirchhoff immer wieder mustergültig, sinnreiche Experimente mit tiefgründigen theoretischen Verallgemeinerungen zu verknüpfen. Das gilt für ihre gesamte wissenschaftliche Arbeit, deren Methodik und Aktualität uns noch heute Vorbild sein kann.

Es ist gewiss kein Zufall, dass ihre wissenschaftlichen Ergebnisse zu einem großen Teil direkt oder indirekt produktionswirksam wurden, Zur Erschließung neuer Energiequellen - des Gases und der Elektrizität -, die Ende des vorigen Jahrhunderts in größerem Umfang sowohl für die Industrie als auch für die Haushalte begann, haben ihre Arbeiten entscheidend beigetragen.

Es scheint, dass Kirchhoff und Bunsen die Entwicklung der Wissenschaft zur unmittelbaren Produktivkraft, die sich umfassend erst in unserer Zeit vollzieht, in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts aber bereits ankündigte, im voraus ahnten.

Dabei erkannten sie jedoch nicht den Produktionsprozess in seinen gesamtgesellschaftlichen Zusammenhängen, dazu waren sie als bürgerlich-humanistische Wissenschaftler nicht in der Lage. Wohl aber waren sie beide stets darum bemüht, dass die Wissenschaft nicht um ihrer selbst willen betrieben oder nur einer Elite nutzbar gemacht wird.

Ihr Ziel, dass die wissenschaftliche Forschung der gesamten Menschheit zum allgemeinen Nutzen dienen soll, ist auch das Ziel aller fortschrittlichen Wissenschaftler der Gegenwart. Unser Anliegen ist es deshalb, nicht nur Bunsens und Kirchhoffs wissenschaftliches Werk weiterzuführen, sondern auch im Rahmen der sozialistischen Gesellschaftsordnung ihre humanistischen Ideen vollständig zu verwirklichen.

6 Die bedeutendsten Schüler Bunsens

in Marburg:

1. Hermann Kolbe (1818-1884), 1851 Lehrstuhlnachfolger Bunsens in Marburg, später Prof. in Leipzig; Salizylsäure, Essigsäure-Totalsynthese; wichtigste Schüler:

1.1 Peter Griess (1829-1888), Industriechemiker; Diazoverbindungen, Azofarbstoffe

1.2 Ernst Beckmann (1853-1923), Prof. in Gießen, Erlangen und Leipzig; "Beckmannsche Umlagerung", Molekulargewichtsbestimmungen durch Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung

1.3 Ernst v. Meyer (1847-1916), Prof. in Dresden; organische Cyanverbindungen, Geschichte der Chemie

1.4 Hermann Ost (1852-1931), Prof. in Hannover; Kohlehydratforschungen, "Lehrbuch der chemischen Technologie"(1890; 27. Aufl. 1965)

1.5 Theodor Curtius (1857-1928), Prof. in Kiel, Bonn und Heidelberg; Diazoessigester, Hydrazin, Stickstoffwasserstoffsäure

2. Edward Frankland (1825-1899), Prof. in Manchester und London; metallorganische Verbindungen, Wertigkeit, Mitentdecker des Heliums

3. John Tyndall (1820-1893), Prof. der Physik in London; Tyndall-Effekt

4. Heinrich Debus (1824-1916), Prof. in Marburg und in England; Bunsen-Historiker

in Heidelberg:

5. Thomas Andrews (1813-1885), Prof. in London; Kritische Temperatur

6. Johann Friedrich Bahr (1815-4875); Prof. in Uppsala

7. Emil Erlenmeyer (1825-1909), Prof. in Heidelberg und München; Erlenmeyer-Kolben

8. Leopold v. Pebal (1826-1887), Prof. in Lemberg (jetzt Lwow) und Graz

9. Georg Ludwig Carius (1829-4875), Prof. in Marburg

10. Wilhelm Jonas Russell (1830-1909), Prof. in London

11. Lothar Meyer (1830-1895), Prof. in Karlsruhe und Tübingen; Periodensystem der chemischen Elemente

11.1. Karl Seubert (1851-1942), Prof. in Tübingen und Hannover; Atomgewichtsbestimmungen

11.2. Harold Baily Dixon (1852-1930), Prof. in Manchester

12. Hans Heinrich Landolt (1831-1910), Prof. in Bonn und Berlin; optische Konstanten, "Physikalisch chemische Tabellen" (gemeinsam mit R. Börnstein) 6. Aufl. 1969

13. Augustus Matthiessen (1831-1871), Prof. in London

14. Henry Enfield Roscoe (1833-1915), Prof. in Manchester und London; photochemische Untersuchungen

14.1. Carl Schorlemmer (1834-1892); Chemie der Kohlenwasserstoffe, Gleichheit der Kohlenstoffvalenzen; Prof. in Manchester

15. Georg Quincke (1834-1924), Prof. der Physik in Heidelberg

16. Jacob Volhard (1834-1940), Prof. in München, Erlangen und Halle; Maßanalyse
- 16.1. Daniel Vorländer (1867-1941), Prof. in Halle; kristalline Flüssigkeiten
- 16.1.1. Hermann Staudinger (1881-1965), Prof. in Karlsruhe, Zürich und Freiburg i. Br.; makromolekulare Chemie; Nobelpreis 1953
- 16.1.1.1. Leopold Ruzicka (1887 geb.), Prof. in Utrecht und Zürich; Terpene, Polymethylene, Nobelpreis 1939
- 16.1.1.2. Taddeus Reichstein (1897 geb.), Prof. in Zürich; Vitamin C, Corticosterin; Nobelpreis 1950
17. Carl Schorlemmer (siehe 14.1.)
18. Adolf v. Baeyer (1835-1917), Prof. in Straßburg und München; Indigosynthese; Nobelpreis 1905; bedeutendste Schüler:
- 18.1 Richard Willstätter (1872-1942), Prof. in Zürich, Berlin und München; Alkaloide, Chlorophyll; Nobelpreis 1915
- 18.1.1. Richard Kuhn (1900-1967), Prof. in Zürich und Heidelberg, Direktor des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Biochemie; Carotinoide; Nobelpreis 1938
- 18.1.1.1. Heinz A. Staab (1926 geb.), Prof. in Heidelberg; physikalische organische Chemie
- 18.2 Carl Graebe (1841-1927), Prof. in Leipzig, Genf, Königsberg und Zürich; Alizarinsynthese
- 18.3 Carl Liebermann (1842-1914), Prof. in Berlin-Charlottenburg; Alizarinsynthese
- 18.3.1. Fritz Haber (1868-1934), Prof. in Karlsruhe und Berlin-Dahlem; technische Ammoniaksynthese aus den Elementen; Nobelpreis 1918
- 18.3.1.1. Georg v. Hevesy (1885-1966), Prof. in Budapest, Kopenhagen, Freiburg i.Br., USA, Stockholm;radioaktive Indikatormethode; Nobelpreis 1943
- 18.4 Arthur v. Weinberg (1860-1943), Industriechemiker; Stereochemie
- 18.4.1. Paul Ehrlich (1854-1915), Medizin-Prof. in Berlin und Frankfurt/M.; Chemotherapie; Nobelpreis 1908
- 18.5 Heinrich Wieland (1877-1957), Prof. in München; Gallensäure, Sterine; Nobelpreis 1927
- 18.5.1. Feodor Lynen (1911 geb.), Prof. in München, Direktor des Max-Planck-Institutes für Zellchemie; Steroid- und Fettsäurestoffwechsel, Nobelpreis 1964
- 18.6 Otto Fischer (1852-1932), Prof. in Erlangen; Konstitution der Rosanilinfarbstoffe
- 18.6.1. Arthur Harden (1865-1940), Prof. in London; Zuckergärung, Enzyme; Nobelpreis 1929
- 18.7 Emil Fischer (1852-1919), Prof. in Erlangen, Würzburg und Berlin; Struktur und Synthese der Zucker und Purine, Eiweißchemie; Nobelpreis 1902
- 18.7.1. Otto Diels (1876-1954), Prof. in Kiel; Dien-Synthese; Nobelpreis 1950
- 18.7.1.1. Kurt Adler (1902 geb.), Prof. in Köln, Dien-Synthese; Nobelpreis 1950
- 18.7.2. Adolf Windaus (1876-1959), Prof. in Innsbruck und Göttingen; Sterine, Vitamin D; Nobelpreis 1928
- 18.7.2.1. Adolf Butenandt (1903 geb.), Prof. in Danzig, Berlin-Dahlem, Tübingen und München; Sexualhormone; Nobelpreis 1939
- 18.7.3. Otto Warburg (1883 geb.), Prof. in Berlin-Dahlem; Atmungsfermente; Nobelpreis 1931

- 18.7.3.1. Otto Meyerhof (1884-1951); Milchsäure-Stoffwechsel, Zellatmung; Nobelpreis 1922
- 18.7.3.1.1. Fritz Lipmann (1899 geb.), Zellstoffwechsel; Nobelpreis 1953
- 18.7.3.1.2. Severo Ochoa (1905 geb.), Ribonukleinsäure, Desoxyribonukleinsäure, Nobelpreis 1959
- 18.7.3.2. Hans A. Krebs (1900 geb.), Prof. in Oxford; Zitronensäurezyklus; Nobelpreis 1953
- 18.7.3.3. Hugo Theorell (1903 geb.), Oxydationsfermente, Nobelpreis 1955
- 18.7.4. Ludwig Knorr (1859-1921), Prof. in Jena; Antipyrin
- 18.8. Eduard Buchner (1860-1917), Prof. in Berlin und Würzburg; zellfreie Gärung; Nobelpreis 1907
- 18.9. Johannes Thiele (1865-1916), Prof. in München und Straßburg; Partialvalenzen-Theorie
19. Adolf Lieben (1836-1941), Prof. in Palermo, Turin, Prag und Wien; organische Konstitutionsbestimmungen
20. Friedrich Conrad Beilstein (1838-1907), Prof. in Petersburg; "Handbuch der organischen Chemie"
21. Clemens Winkler (1838-1904), Prof. in Freiberg; technische Gasanalyse, Entdecker des Germaniums
22. Ludwig Mond (1839-1909), Metallcarbonyle
23. Carl Graebe (siehe 18.2.)
24. Albert Ladenburg (1842-1941), Prof. in Breslau; Aromaten, Silikone, Coniin-Synthese
25. Thomas Edward Thorpe (1845-1925), Prof. in Glasgow, Leeds und London; Physikochemie, Chemiegeschichte
26. Victor Meyer (1848-1897), Prof. in Stuttgart, Zürich und Göttingen, 1889 Nachfolger Bunsens in Heidelberg; Thiophen, Dampfdichtebestimmungen; einige Schüler:
- 26.1. Traugott Sandmeyer (1854-1922), "Sandmeyer-Reaktion"
- 26.2. Ludwig Gattermann (1860-1920), Prof. in Heidelberg und Freiburg i. Br.; 1896 "Die Praxis des organischen Chemikers" 33. Aufl. 1956
- 26.3. Heinrich Goldschmidt (1857-1937), Prof. in Oslo; isomere Benzildioxine
- 26.4. Emil Knoevenagel (1865-1921), Prof. in Heidelberg; organische Synthesen
- 26.5. Karl v. Auwers (1863-1939), Prof. in Heidelberg und Marburg; spektroskopische Konstitutionsforschung
- 26.5.1. Karl Ziegler (1898 geb.), Prof. in Heidelberg und Halle, Direktor des Max-Planck-Institutes für Kohleforschung Mülheim-Ruhr; katalytische Polymerisation; Nobelpreis 1963
- 26.6. Max Bodenstein (1871-1942), Prof. in Leipzig, Hannover und Berlin; Kettenreaktionen
27. Hans Bunte (1848-1925), Prof. in Karlsruhe; technische Gasanalyse, "Bunte-Bürette"
28. Walther Hempel (1851-1946), Prof. in Dresden, technische Gasanalyse, physikalische Chemie, "Hempel-Bürette"
29. William Ramsay (1852-1916), Prof. in Bristol und London; Entdeckung der Edelgase; Nobelpreis 1904
- 29.1. Frederick Soddy (1877-1956), Prof. in Glasgow, Aberdeen und Oxford; Isotope; Nobel-

preis 1921

29.2. Otto Hahn (1879-1968), Direktor des K.-Wilhelm-Institutes für Chemie Berlin-Dahlem; Kernspaltung des Urans; Nobelpreis 1944

30. August Bernthsen (1855-1931), Prof. in Heidelberg, Direktor der BASF

31. Frederick Treadwell (1857-1918), Prof. in Zürich, analytische Chemie

32. Hans Goldschmidt (1861-1923), Thörmittverfahren

33. Theodor Curtius (siehe 1.5.)

34. Carl Auer v. Welsbach (1858-1929), Entdecker der seltenen Erdmetalle Neodym, Praseodym und Cassiopeium, Gasglühlicht, Metallfadenlampe

35. Fritz Haber (siehe 18.3.1.)

7 Zeittafel

- 1800 F. W. Herschel entdeckt den ultraroten Spektralbereich des Sonnenlichtes
- 1801 J.W. Ritter findet den Ultravioletten Spektralbereich
- 1803 J. Dalton entwickelt die Grundlagen der klassischen Atomtheorie
- 1811 30.3. Robert Wilhelm Bunsen in Göttingen geboren
A. Avogadros Molekularhypothese
J. J. Berzelius beginnt mit seinen genauen Atomgewichtsbestimmungen
- 1814 J. Fraunhofer entdeckt die später nach ihm benannten dunklen Absorptionslinien im Sonnenspektrum; Berzelius entwickelt die chemische Zeichensprache
- 1817 F. Strohmeyer entdeckt das Cadmium
- 1818 Berzelius stellt seine elektrochemische dualistische Theorie der chemischen Verbindungen auf
- 1824 12. 5. Gustav Robert Kirchhoff in Königsberg geboren
- 1828 Bunsen beginnt sein Studium in Göttingen
F. Wöhler synthetisiert mit dem Harnstoff die erste organische Substanz
- 1830 Französische Julirevolution
- 1831 Bunsen promoviert in Göttingen zum Dr. phil.
- 1832 J. Liebig und F. Wöhler: "Über das Radikal der Benzoesäure"
- 1832/33 Bunsen unternimmt eine Reise durch Deutschland, Frankreich, die Schweiz und Österreich
- 1834 Gründung des deutschen Zollvereins
M. Faraday stellt seine Elektrolysegesetze auf
Bunsen habilitiert sich in Göttingen mit einer Arbeit über komplexe Doppelcyanide zum Privatdozenten für Chemie
- 1835 Erste deutsche Eisenbahnlinie Nürnberg-Fürth
- 1836 Bunsen geht als akademischer Lehrer an die Gewerbeschule Kassel; er beginnt seine Arbeiten über Kakodyl
- 1836/38 Bunsens Untersuchungen der Hochofengase
- 1839 Bunsen wird als außerordentlicher Professor an die Universität Marburg berufen
W. R. Grove erfindet das Zink-Platin-Element
- 1841 Bunsen entwickelt das billige Zink-Kohle-Element ("Bunsen-Element")
- 1842 Kirchhoff nimmt ein Mathematikstudium in Königsberg auf
J. R. Mayer stellt den Energieerhaltungssatz auf
- 1845 Auf Wunsch der englischen Regierung stellt Bunsen in England Hochofenuntersuchungen an
- 1846 Kirchhoff promoviert mit seiner Arbeit "Über den Durchgang des elektrischen Stromes durch eine Ebene, besonders durch eine kreisförmige", die die sogenannten Kirchhoffschen Gesetze enthält, zum Dr. phil.
Bunsen nimmt auf Einladung der dänischen Regierung an einer Expedition nach Island teil
Kirchhoff geht nach Berlin, um bei G. Magnus und: C. G. Jacobi seine Ausbildung zu vervollkommen
- 1848 H. Kolbe stellt fest, dass Bunsens "freies Radikal" Kakodyl in Wahrheit Tetramethyldiarsin ist
Februarrevolution in Frankreich, Bürgerliche Revolution in Deutschland
Kirchhoff habilitiert sich in Berlin zum Privatdozenten für Physik
- 1850 Kirchhoff wird als außerordentlicher Professor für Experimentalphysik an die

- Universität Breslau berufen
- 1851 Bunsen nimmt einen Ruf als Ordinarius für Chemie nach Breslau an
- 1852 E. Frankland prägt den Begriff der Wertigkeit
- Bunsen wird als Chemie-Ordinarius an die Universität Heidelberg berufen
- 1854 Kirchhoff erhält einen Ruf als Physik-Ordinarius nach Heidelberg
- 1855 Fertigstellung des neuen chemischen Universitäts-Laboratoriums in Heidelberg
- Konstruktion des Bunsen-Brenners
- Bunsen beginnt mit H. E. Roscoe die berühmt gewordenen "Photochemischen Untersuchungen"
- 1857 Kirchhoff führt einen theoretischen Nachweis der Existenz elektrischer Wellen und ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit
- W. Swan erkennt, dass die bis dahin rätselhafte gelbe D-Linie im Sonnenspektrum von Natrium hervorgerufen wird
- 1858 A. Kekule und A. Couper erkennen die Vierwertigkeit des Kohlenstoffs
- 1859 Kirchhoff findet sein Absorptionsgesetz, in diesem Zusammenhang Klärung des Zustandekommens der Fraunhoferschen Linien und Begriff des "schwarzen Körpers"
- 1860 Bunsens und Kirchhoffs grundlegende Arbeit "Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen" erscheint
- Entdeckung des Caesiums durch Kirchhoff und Bunsen
- 1861 Bunsen und Kirchhoff entdecken das Rubidium
- Die beiden Wissenschaftler werden aufgrund ihrer Entdeckungen zu korrespondierenden Mitgliedern der Preußischen Akademie der Wissenschaften ernannt
- W. Crookes entdeckt spektralanalytisch das Thallium
- 1862 Bunsen und Kirchhoff bereisen auf Einladung Roscoes England
- 1863 F. Reich und T. Richter finden spektroskopisch das Indium
- Roscoe entwickelt ein spektroskopisches Verfahren zur Kontrolle des Bessemerstahlprozesses
- Bismarcks reaktionäre Politik beschwört den sogenannten Verfassungskonflikt herauf
- Bunsen lehnt einen Ruf nach Berlin als Nachfolger von E. Mitscherlich ab
- 1864 H.Kopp wird auf die zweite chemische Professur nach Heidelberg berufen
- 1865 Kekules Benzoltheorie
- 1868 Bunsen entwickelt die Wasserstrahlpumpe
- 1869/70 D. I. Mendelejew und L. Meyer stellen das Periodensystem auf
- 1870 Kirchhoff lehnt eine Berufung an die Berliner Universität als Nachfolger von Magnus ab
- 1870/71 Deutsch-Französischer Krieg
- 1875 Kirchhoff geht als ordentlicher Professor für mathematische Physik an die Berliner Universität; Kirchhoff wird ordentliches Akademiemitglied
- 1876 Kirchhoff veröffentlicht den ersten Band seiner "Vorlesungen über mathematische Physik" über Mechanik
- 1879ff. Mit Hilfe der Spektralanalyse werden zahlreiche Elemente der Seltenen Erden entdeckt
- 1885 C. Auer v. Welsbach erfindet das Gasglühlicht
- 1887 Bunsens letzte wissenschaftliche Veröffentlichung über ein von ihm entwickeltes Dampfkalorimeter erscheint
- Am 17. 10. stirbt Kirchhoff
- Kirchhoff erhält postum den Prix Janssen für seine theoretischen Untersuchungen zur Spektralanalyse

- H. Hertz weist experimentell die Existenz elektrischer Schwingungen nach
- 1889 Bunsen tritt in den Ruhestand
- V. Meyer wird als sein Nachfolger nach Heidelberg berufen .
- W. Nernst: Theorie der galvanischen Elemente
- 1895 W. C. Röntgen entdeckt die später nach ihm benannten X-Strahlen
- 1896 H. Becquerel entdeckt die Radioaktivität
- 1899 Bunsen verstirbt am 16. 8.
- 1900 M. Planck: Strahlungsgesetz und Quantentheorie
- 1901 Die "Deutsche Elektrochemische Gesellschaft" wird in "Deutsche Bunsengesellschaft für angewandte physikalische Chemie" umbenannt

8 Schrifttum

1. Die wichtigsten Werke Robert Wilhelm Bunsens

- [1] Gesammelte Abhandlungen von Robert Bunsen. Im Auftrage der Deutschen Bunsengesellschaft für angewandte physikalische Chemie. Hrsg. von W. Ostwald und M. Bodenstein. 3 Bände. Leipzig 1904 (mit biographischen Beiträgen von H. Roscoe, R. Rathke und W. Ostwald)
- [2] R. Bunsen: Untersuchungen über die Kakodylreihe (1837 bis 1843). Hrsg. von A. v. Baeyer. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 27. Leipzig
- [3] R. Bunsen und H. E. Roscoe: Photochemische Untersuchungen (1855-1859) I und II. Hrsg. von W. Ostwald. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 34 und 38. Leipzig 1892
- [4] Robert Bunsen: Gasometrische Methoden. Braunschweig 1857. 2. Aufl. 1877
- [5] Robert Bunsen : Flammenreaktionen, Heidelberg 1880. 2. Aufl. 1886

2. Die wichtigsten Werke Gustav Robert Kirchhoffs

- [6] Gesammelte Abhandlungen von G. Kirchhoff. Leipzig 1882
- [7] Gesammelte Abhandlungen von G. Kirchhoff. Nachtrag. Hrsg. von L. Boltzmann. Leipzig 1891
- [8] G. Kirchhoff: Vorlesungen über mathematische Physik. (1. Band) Mechanik. Leipzig 1876; 2. Band: Mathematische Optik. Hrsg. von K. Hensel. Leipzig 1891; 3. Band: Elektrizität und Magnetismus. Hrsg. von M. Planck. Leipzig 1891; 4. Band: Theorie der Wärme. Hrsg. von M. Planck. Leipzig 1894
- [9] G. Kirchhoff : Abhandlungen über mechanische Wärmetheorie (1858). Hrsg. von M. Planck. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 101. Leipzig 1898
- [10] G. Kirchhoff und R. Bunsen: Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen (1860). Hrsg. von W. Ostwald. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 72. Leipzig 1895
- [11] G. Kirchhoff: Abhandlungen über Emission und Absorption (1859-1862). Hrsg. von M. Planck. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 100. Leipzig 1898
- [12] G. Kirchhoff: Über das Ziel der Naturwissenschaften. Akademische Rede vom 21. 11. 1865. Heidelberg 1865

3. Biographische Arbeiten über Robert Wilhelm Bunsen (Auswahl)

- [43] T. Curtius: Gedächtnisrede. Gehalten bei der akademischen Trauerfeier für R. W. Bunsen am 11. Nov. 1899. Heidelberg 1899; siehe auch: J. prakt. Chem. 67 (1900) S. 381-407
- [14] H. Debus: Erinnerungen an Robert Wilhelm Bunsen und seine wissenschaftlichen Leistungen, Kassel 1901
- [15] W. Ostwald: Gedenkrede auf Robert Bunsen. Halle 1901; siehe auch: Z. Elektrochem. 7 (1901) S. 608-18, 687-88
- [16] Bunseniana (anonym, Verfasser wahrscheinlich A. Mayer). Heidelberg 1904
- [17] W. Ostwald: Robert Wilhelm Bunsen, Leipzig 1905
- [18] T. Curtius: R. Bunsen als Lehrer in Heidelberg. Heidelberg 1906
- [19] H. Goldschmidt: Erinnerungen an Robert Wilhelm Bunsen, Z. angew. Chem. 24 (1911) S. 2137-40

[20] B. Rathke: Zum 100jährigen Geburtstage Robert Bunsens. Z. angew. Chem. 24 (1911) S. 577-79

[21] P. Diergart: Bunsenliteratur und ihre Beurteilung. Arch. Gesch. Naturwiss. Techn. 3 (1912) S. 308-12

[22] A. Mayer: Erinnerungen an Bunsen. Naturwissenschaften 13 (1925) S. 939-40

[23] O. Fuchs: Bunsen. In: Das Buch der großen Chemiker. Hrsg. von G. Bugge, 2. Band, S. 78-91. Weinheim/Bergstraße 1929, unveränderter Nachdruck 1965

[24] G. Lockemann: Robert Wilhelm Bunsen. Große Naturforscher Band 6. Stuttgart 1949

[25] K. Freudenberg: Robert Wilhelm Bunsen. Ber. Bunsenges. physikal. Chem. 64 (1960) 5. 777-84

[26] K. Heinig: Robert Wilhelm Bunsen. In: G. Harig (Hrsg.): Von Adam Ries bis Max Planck. Leipzig 1962. S. 71-76

[27] A. Neuhäuser: Robert Wilhelm Bunsen. In: K. Heinig (Hrsg.): Biographien bedeutender Chemiker. Berlin 1964. S. 159-63

4. Biographische Arbeiten und Quellen über Gustav Robert Kirchhoff (Auswahl)

[28] W. Voigt: Zum Gedächtnis von G. Kirchhoff, Abh. Königl. Ges. Wiss, Göttingen 35 (1888)

[29] L. Boltzmann: Gustav Robert Kirchhoff. Leipzig 1888

[30] A. W.v. Hofmann: Gustav Kirchhoff. In: Erinnerungen an vorangegangene Freunde. 3. Band. Braunschweig 1889. 5. 147 bis 157

[31] F. Pockelst: Gustav Robert Kirchhoff. Heidelberg 1903

[32] E. Warburg: Zur Erinnerung an Gustav Kirchhoff, Naturwissenschaften 13 (1925) S. 205-42

[33] Zentrales Archiv der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin: II:IIIa, Bd. 9, fol. 17-24, 26; II:IIIb, Bd. 6, fol. 340, 341, Bd. 7, fol. 190, 193; 11: Ve, Bd.14

[34] Archiv der Humboldt-Universität Berlin: Univ.-Kurator Personalien, K 108; Philos. Fak. Dekanat vor 1945, 1204, fol. 297 bis 302; 1459, fol. 266, 267, 269-273

[35] Briefe Kirchhoffs: Deutsche Staatsbibliothek Berlin, Handschriftenabt., z. Z. Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz Berlin-Dahlem, Sammlung Darmstaedter

5. Literatur zur Geschichte der Spektralanalyse (Auswahl)

[36] G. W. A. Kahlbaum: Aus der Vorgeschichte der Spektralanalyse. Basel 1888

[37] E. Steger: Die Begründung der Spektralanalyse durch Bunsen und Kirchhoff und ihre heutige Bedeutung. Wiss. Z. Techn, Hochsch. Dresden 9 (1959/60) S. 1115-19

[38] P. Görlich: Einhundert Jahre wissenschaftliche Spektralanalyse. Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Vorträge und Schriften 66. Berlin 1960

[39] H. G. Schäfer: 100 Jahre Spektralanalyse. Chemiker-Ztg. 84 (1960) S. 732-36, 771-74

[40] G. Scheibe: Die Abhandlung von Kirchhoff und Bunsen "Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen", ihre Auswirkungen in 100 Jahren. Ber. Bunsenges. physikal. Chem. 64 (1960) S. 784-92

[41] B. M. Kedrow: Spektralanalyse. Taschenbuchreihe Unser Weltbild 25. Berlin 1961

[42] F. Szabadvary: Geschichte der analytischen Chemie. Budapest 1966

[43] K. Danzer: Zur historischen Entwicklung der Emissionsspektralanalyse, insbesondere im Hinblick auf ihre Anwendung in der Praxis, Teil I und II. NTM, Schriftenreihe Gesch. Naturwiss. Techn. Medizin 6 (1969) H. 2, S. 13-26, u. 7 (1970) H. 1, S. 33-45

[44] K. Danzer: Von der wissenschaftlichen Erkenntnis Kirchhoffs und Bunsens bis zur automatisierten spektrochemischen Betriebskontrolle. Ein Beitrag zur Geschichte der Spektrochemie. Diss, Karl-Marx-Stadt 1969

6. Allgemeine Literatur

[45] G. Quincke: Geschichte des physikalischen Institutes der Universität Heidelberg. Heidelberg 1885

[46] T. Curtius und J. Rissom: Geschichte des chemischen Universitäts-Laboratoriums zu Heidelberg seit der Gründung durch Bunsen. Heidelberg 1908

[47] H. Roscoe: Ein Leben der Arbeit. Erinnerungen. Leipzig 1919 (S. 56-93: "Bunseniana" und Heidelberger Freunde)

[48] L. Königsberger: Mein Leben. Heidelberg 1919

[49] A. Bernthsen: Die Heidelberger chemischen Laboratorien für den Universitätsunterricht in den letzten hundert Jahren. Z. angew. Chem. 42 (1929) S. 382-84, 704

[50] A. Mayer: Der Lehrstuhl der Chemie in Heidelberg seit 1815. Neue Heidelberger Jahrbücher 1930, S. 112-31

[51] M. Planck: Wissenschaftliche Selbstbiographie. Lebensdarstellungen deutscher Naturforscher Nr. 5. Leipzig 1967