

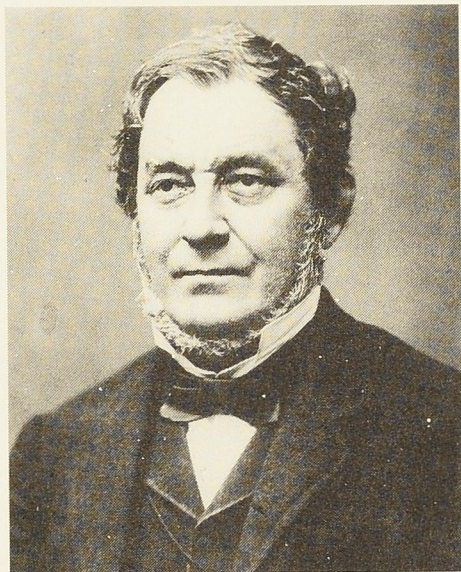
**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 296**

Gasometrische Methoden

**von
Robert Bunsen**

Verlag Harri Deutsch

OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 296



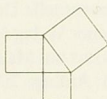
Robert W. Bunsen
30.3.1811 - 16.8.1899

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 296**

Gasometrische Methoden

von
Robert W. Bunsen

Einleitung von
Florian M. Schwandner



Verlag Harri Deutsch

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN 10: 3-8171-3296-4

ISBN 13: 978-3-8171-3296-6

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und das Speichern und die Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH,

Frankfurt am Main, 2006

1. Auflage 2006

Druck: Rosch-Buch Druckerei GmbH, Scheßlitz

Printed in Germany

Inhalt

Vorwort	III
Einleitung von Florian M. Schwandner	V
Gas Theorie und Gasanalytik vor Bunsen	V
Bunsen und die Gasanalyse	VIII
Liste einiger Schüler Bunsens	XVII
Ausgewählte weiterführende Literatur	XXXI
 Gasometrische Methoden	 XXXV
Vorwort zur ersten Auflage	XXXVII
Vorwort zur zweiten Auflage	XL
Inhalt	XLI
Erster Abschnitt	
Aufsammeln, Aufbewahren und Messen der Gase	1
Zweiter Abschnitt	
Gasometrische Analyse	48
Dritter Abschnitt	
Specifisches Gewicht der Gase	148
Vierter Abschnitt	
Absorptionserscheinungen der Gase	192
Fünfter Abschnitt	
Diffusion der Gase	267
Sechster Abschnitt	
Verbrennungserscheinungen der Gase	306
Anhang	355

Vorwort

Bunsens *Gasometrische Methoden* ist die bedeutendste Monographie eines der zweifellos größten Deutschen Chemiker des 19. Jahrhunderts. Mit diesem Band liegt nun nach 128 Jahren zum ersten Mal seit dem Erscheinen der ersten beiden Auflagen (1857 und 1877) ein Neuabdruck dieses ersten, grundlegenden und heute noch wichtigen Buches der Gasanalytik in der Ausgabe von 1877 vor.

Die Tradition des *Bunsen* wurde durch die nachfolgenden Erweiterungen seiner Schüler W.M. Hempel (1880) und C.A. Winkler (1885) und deren Neuauflagen bis weit in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts fortgeführt und spiegelt sich heute vielfach in Apparaturen, Methoden und Konzepten in gasanalytischen Laboratorien wider.

Die Verfügbarkeit der Originalausgabe ist gering und meist auf die Nutzung vor Ort in Raritätensammlungen großer Bibliotheken beschränkt. Dieses Werk stellt eine wichtige, wenn auch leider oft unterschätzte Quelle nicht nur für die Wissenschaftsgeschichte, sondern auch immer noch für den Laborbetrieb in Forschung und Lehre dar. Manche der heute noch gebräuchlichen analytischen Methoden sind auf unübertroffen präzise und verständliche Weise im *Bunsen* beschrieben. Der Neuabdruck dieser bedeutenderen zweiten Auflage öffnet damit neue und alte Horizonte für Studierende, Hoch- und Fachschullehrkräfte sowie in der Analytik Tätige.

Zürich, Herbst 2005

Florian M. Schwandner

Einleitung

Gastheorie und Analytik vor Bunsen

Von der Alchemie zum Vakuum

Die Alchemisten der Antike und des Mittelalters unterteilten seit Empedokles (495–435 v.u.Z.) die Stoffwelt in die vier Elemente Feuer, Wasser, Erde und Luft. Bereits Leonardo da Vinci (1452–1519) folgerte aus Atmungsexperimenten, daß „Luft“ aus mindestens zwei Konstituenten bestehen muß und folglich kein Element ist. Johann Baptista van Helmont (1577–1644) führte später den Begriff „Gas“ (vom Griech. „*Chaos*“) als eine Varietät der „Luft“ ein, um den „Holzgeist“ (*spiritus silvestre*) zu beschreiben, den er als unsichtbares Produkt eines Experiments der Verbrennung von 65 Pfund Holz in nur 1 Pfund Asche vermutete.

Robert Boyle (1627–1691) beschrieb in *The Sceptical Chymist* (1661) Beobachtungen zur Entstehung verschiedener Variationen von „Luft“ sowie erste Versuche, diese aufzufangen (Wasserstoff) und vermutete einen „*nitrosen*“ Anteil der Luft in Analogie zu Verbrennung und Atmung (Sauerstoff). Die Erfindung der Vakuumpumpe und die Magdeburger Halbkugelversuche von Otto von Guericke 1654 hatten die technischen Möglichkeiten der Gastrennung in hohem Maße erweitert, was Boyles Arbeiten erst ermöglichte.

John Mayow (1640–1679) beobachtete 1669, daß nach dem Ausgehen einer Kerzenflamme unter einer Glaskugel darin enthaltener Kampfer nicht mehr entzündbar ist. Mayow folgerte, daß „Luft“ einen „*spiritus nitroaerus*“ enthält, der durch Verbrennung konsumiert wird (Sauerstoff). Das aus diesen frühen Studien resul-

tierende Konzept von „Luft“ als Gemenge verschiedener Konstituenten machte zur weiteren Erforschung die Entwicklung analytischer Methoden der Trennung und selektiven Quantifizierung der Bestandteile notwendig.

Nach der Vakuumpumpe von Boyle war die nächste wichtige Erfindung auf dem Wege hierzu der *pneumatische Trog* von Stephen Hales (1677–1761), der das Auffangen eines eingeleiteten oder entstehenden Gases durch Verdrängen einer Flüssigkeit ermöglicht.

Die Phlogiston-Theorie

Georg Ernst Stahl (1660–1734) begründete in dieser Zeit die lange akzeptierte Theorie vom *Phlogiston* als einer unsichtbaren Komponente aller brennbaren Substanzen, die bei Verbrennungsprozessen entweicht. 1774 entdeckte Joseph Priestley (1733–1804) „dephlogistisierte Luft“ (Sauerstoff) während eines Versuches, bei dem er Sonnenlicht auf Quecksilberoxid fokussierte.

In seinem dreibändigem Werk *Experiments and Observations on Different Kinds of Airs* (1774–1777) beschrieb Priestley als Bestandteile der Luft „fixierte Luft“ (Kohlendioxid), „nitrose Luft“ (Stickstoffmonoxid), „marine saure Luft“ (Salzsäure), „alkaline Luft“ (Ammoniak), „vitriolische Luft“ (Schwefeldioxid), „phlogistierte nitrose Luft“ (Distickstoffmonoxid, Lachgas), und „dephlogistisierte Luft“ (Sauerstoff). Karl Wilhelm Scheele (1742–1786) isolierte Sauerstoff bereits vor Priestley, publizierte dies aber erst 1777 in seinem Buch *On Air and Fire*.

Henry Cavendish (1731–1810) untersuchte 1766 „entflammbare Luft“ (Wasserstoff), ließ 1785 Wasserstoff und Sauerstoff mittels eines Funkens reagieren und etablierte somit die Zusammensetzung von Wasser. Auf ähnliche Weise beobachtete er 1785 die Entstehung von Salpetersäure aus Sauerstoff und Stickstoff und schloß daraus mit hoher Genauigkeit auf die Zusammensetzung der Atmosphäre – von einem unidentifizierten inerten Residuum von 1/120 Volumenanteil abgesehen, das erst 1894 durch Bunsens

Schüler Sir William Ramsay und Lord Rayleigh als Argon identifiziert wurde (Nobelpreis 1904).

Reaktionschemie und Nomenklatur

Mit Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794) und seinem Buch *La Traite Elementaire de la Chimie* (1789) wurde die Begrifflichkeit des Phlogisthon endgültig abgeschafft. Er begründete die quantitative Reaktionschemie mit seinem Gesetz der Erhaltung der Masse, ersetzte die Begriffe *phlogistisiert* und *dephlogistisiert* durch *reduziert* und *oxidiert* und stellte eine Tabelle auf, die bereits 23 der heute bekannten Elemente enthielt – darunter Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff als Gase.

Guyton de Morveau (1737–1816) veröffentlichte 1782 in Konsultation mit Lavoisier einen Vorschlag zur profunden Änderung der chemischen Nomenklatur, dem unsere heutige noch immer zugrundeliegt. Er ist weniger bekannt für die Erfindung der Gasbürette (*gasomètre*) und für den tragbaren Feldanalysenkasten von 1783, der auf Reisen die schnelle qualitative Analyse von Substanzen durch einfache Tests zuließ.

Alexander von Humboldt (1769–1859) benutzte diesen analytischen Kasten von de Morveau auf seinen Reisen durch Amerika und Italien. Er analysierte Proben von Luft, Grubengas und vulkanischen Gasen, die er von 1799 bis mindestens 1805 gesammelt hatte. In Paris teilte er sich mit dem jüngeren Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850) Labor wie Wohnung.

Gay-Lussacsche Gasgesetze, Stöchiometrie

John Dalton (1766–1844) hatte gezeigt, daß in einem konstanten Volumen eines Gasgemisches die Einzeldrücke eines jeden enthaltenen Gases die gleichen sind, als ob dieses Gas alleine im gleichen Volumen vorhanden wäre. Dies legte die Grundlage für die Gay-Lussacschen Gasgesetze. Gay-Lussacs Experimente führten zu einer Reihe wichtiger Erkenntnisse, z.B. daß sich die Zusammen-

setzung der Luft mit abnehmendem Druck (Höhe in der Atmosphäre) nicht ändert.

Er erkannte auch, daß sich sowohl Druck als auch Volumen eines Gases zu seiner Temperatur linear proportional verhalten, wenn die jeweils andere Größe (p , T) konstant ist (Gay-Lussac'sches Volumengesetz der Gase).

Gemeinsam mit Humboldt experimentierte er von 1805 bis 1808 mit Gasreaktionen und folgerte, daß chemische Reaktionen zwischen Gasen immer in einfachen Volumenverhältnissen abliefen und bei gleichzeitig auftretender Kontraktion die Volumendifferenz in einfachem Verhältnis zu den Volumina der Reaktanden steht. Gay-Lussac entwickelte zudem einzelne gasanalytische Methoden, derer sich später auch Bunsen bediente. Als Beispiel für industrielle Anwendung seiner Forschung seien die Gay-Lussac'schen Kondensationstürme in der Schwefelsäuresynthese erwähnt.

Mit Amadeo Avogadro (1776–1856) kam schließlich 1811 die Erkenntnis, daß einige der Gasbestandteile aus einzelnen Atomen zusammengesetzt sind (*molecules integrantes*, heute: Moleküle) und sich von einfachen *molecules elementaires* (heute: Atome) unterscheiden lassen. Mit diesen Grundlagen waren alle Voraussetzungen für eine zusammenfassende Betrachtung einer modernen quantitativen Gasanalyse gegeben.

Bunsen und die Gasanalyse

Bunsen wurde 1836 als junger Privatdozent in Göttingen von der Kurhessischen Oberbergdirektion angefragt, die holzkohlebetriebenen Hochöfen nahe Kassel auf ihre Effizienz hin zu untersuchen. Da er sich bereits mit den Dampfspannungen kondensierter Gase beschäftigt hatte, konnte er auf erste Forschungserfahrungen in der Gasanalytik (Eudiometrie) zurückgreifen und erkannte, daß die anfallenden Gase die beste Auskunft über die chemischen Prozesse bei der Schmelze geben würden. Er ersann eigene Beproe-

bungs- und Analysemethoden und revolutionierte die Effizienz der Schmelzöfen in Deutschland und England nachhaltig.

Er untersuchte in den folgenden Jahren Gase in Thermalquellen, Vulkanen (er erkannte bereits 1841 am Vesuv Salzsäure als wichtigen Bestandteil vulkanischer Gase) und Soffionen (Monte Rotondo).

1842 berief Bunsen Hermann Kolbe (1818–1884) als Assistenten in sein Labor in Marburg, der Schüler Friedrich Wöhlers in Kassel gewesen war und seine dort begonnene Dissertation bei Bunsen abschloß. Kolbe blieb bis 1845, dann ging er mit einer Empfehlung von Bunsen bis 1847 zu Lyon Playfair (1818–1898, jener hatte bei Gay-Lussac und Liebig studiert) nach London als Assistent, bevor er 1851 schließlich die Nachfolge Bunsens in Marburg antrat.

Aufgrund seiner Erfahrung mit den deutschen Hochofengasen untersuchte Bunsen 1845 gemeinsam mit Playfair die steinkohlebetriebenen Hochöfen in England. Er erkannte, daß die Gichtgase wiederum als Brenngase benutzt werden können, was ihn schnell bekannt machte. Die Empfehlungen Bunsens wurden zunächst mit Skepsis aufgenommen. Die Verbesserungsvorschläge wurden zwar erst nach sechs Jahren angewandt, sorgten aber für eine vielfach größere thermische Effizienz und führten damit zu enormen ökonomischen und strategischen Vorteilen.

1846 unternahm Bunsen auf Einladung des dänischen Königs eine Forschungsreise nach Island, bei der er geologische und gaschemische Untersuchungen der Fumarolengase des Vulkans Hekla und an den Geysiren anstellte und viele Luftproben sammelte. Die Ergebnisse der Reise fanden große Beachtung in der Wissenschaft, auch weil er als erster das Wirkungsprinzip der Geysire korrekt zu erklären vermochte. Seine Geysir-Theorie wurde später von seinem Schüler Conrad Bromeis (1820–1862) experimentell bestätigt.

Das Buch - Gasometrischen Methoden

Kolbe hatte einige von Bunsens Methoden bereits in einem Kapitel im *Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie* in der Ausgabe von 1848 beschrieben, das einige der von Bunsen verwendeten analytischen Techniken enthielt, allerdings keine komplette alleinige Behandlung des Themas der Gasanalytik umfaßte. Bunsen verfaßte zunächst eine Abhandlung *Über das Gesetz der Gasabsorption* (1855), in der er einen Teil der theoretischen Grundlagen der Gasanalytik (Diffusion, Absorption, etc.) darlegte. Endlich entschloß sich Bunsen, die Erfahrungen und Techniken seiner zwanzigjährigen Forschungsarbeit der Gasanalytik zusammenzufassen.

1857 erschien schließlich das ausführliche Lehrbuch *Gasometrische Methoden* in seiner ersten Fassung, in dem er die qualitative und quantitative Gasanalytik als erster umfassend darstellte. Damit lag zum ersten Mal ein Lehrbuch der Gasanalytik vor, das nicht nur aus dem damals weltweit modernsten analytischen Labor stammte, sondern auch auf zwei Jahrzehnten Arbeit mit Gasen in Industrie, Forschung und Natur begründet war. Erfindungen wie der Bunsensche Laborbrenner und die Wasserstrahlpumpe kamen erst später, dennoch entwickelte sich das Buch bald zu einem gefragten Werk und Klassiker.

Bunsens Schüler und langjähriger Freund Henry Roscoe (1833–1915) übersetzte das Buch aufgrund der großen Nachfrage ins Englische. Die Übersetzung erschien noch im gleichen Jahr (1857) unter dem Titel *Methods of Gas-Measuring*. Die französische Version erschien im Jahr darauf. Als Praktikumsband hatte sich das Buch sofort in Heidelberg etabliert, die *Tafeln zur Berechnung gasometrischer Analysen nach den Methoden von Robert Bunsen* wurden als Auszug noch im Jahr der Veröffentlichung gedruckt und zeitweise wurde Bunsens *Anleitung zur Analyse der Aschen & Mineralwasser* (1874) dem Buch beigegeben.

Die erweiterte zweite Auflage erschien 1877 und kann als das abschließende Werk Bunsens zur Gasanalytik betrachtet werden. Diese zweite Auflage war um einige Korrekturen und Techniken

verbessert worden, folgte aber in Struktur und Stil weitgehend dem Original. Eine Evaluation dieses Buches wurde im Jahre 1900 von seinem Schüler Richard Meyer (1845–1926) verfaßt.

Der Einfluß des Buches

Der Einfluß auf Wissenschaft, Industrie und Lehre war enorm – der *Bunsen* war schon bald ein Standardwerk und Klassiker, der bis weit in das 20. Jahrhundert zitiert wurde. Die an den *Bunsen* angelehnten Nachfolgewerke zweier seiner Schüler, von W.M. Hempel (1880, 1890, 1900, 1913) und das am *Bunsen* angelehnte und auf die industrielle Anwendung spezialisierte *Lehrbuch der technischen Gasanalyse* von C.A. Winkler (1885, 1892, 1901, 1927), erreichten nie die gleiche Beachtung in der Wissenschaft, wengleich doch eine große Verbreitung in der Industrie.

Hempels *Neue Methoden zur Analyse der Gase* und die *Gasanalytischen Methoden* waren die wirklichen Nachfolgewerke des *Bunsen*. Sie erschienen im gleichen Verlag unter Benutzung vieler Druckplatten und Abbildungen der Originalausgabe. Selbst heute noch sind die Anwendungen zahlreicher Bunsenscher Methoden im alltäglichen Laborgebrauch üblich. So werden viele gravimetrische und titrimetrische Verfahren in ihren Grundzügen in der Analytik gelöster Gase gegenwärtig angewandt. Die Analyse der atmosphärischen Gase nach Bunsen war bis zur weiten Verbreitung der Gaschromatographie in der Mitte des 20. Jahrhunderts Standard.

Auswirkungen auf die Vulkanologie

Bunsens Methoden revolutionierten auch die Arbeit an vulkanischen Gasen, deren Analyse vom Vesuv zur Hinwendung Bunsens zur Gasanalytik und damit auch zum vorliegenden Buch führten. Die Probennahme auf Vulkanen und von Hochöfen stellen den Inhalt des ersten Kapitels beider Auflagen der *Gasometrischen Methoden*. Einige von Bunsens Schülern befaßten sich weiterhin mit Vulkangasen, so Alphons Stübel (1835–1904) auf Santorin (1866) und in Südamerika (1868 bis 1877), sowie Walther Hempel

(1851–1917), der mit seinem Doktoranden Paul Petschek die gesammelten Gase von Stübel noch 1911 analysierte und einen mißglückten Beprobungsversuch am ausbrechenden Stromboli 1913 unternahm.

Die Bunsenschen gasanalytischen Methoden etablierten sich durch ihre Anwendung bei den Ausbrüchen des Santorin-Vulkans in Griechenland 1866, auch durch das bahnbrechende Werk *Santorin et ses éruptions* (1879) von Ferdinand Fouqué (1828–1904) und die Anwendung durch Charles Sainte-Claire Deville (1814–1876), seinen Schüler Fouqué und dessen Schüler Gorceix (1842–1919) und A. Lacroix (1863–1949) auf verschiedenen Vulkanen Europas, Südamerikas und Asiens.

Die Bunsenschen Methoden waren in der Vulkanologie noch bis weit in das 20. Jahrhundert in Gebrauch und einige sind in abgewandelter Form noch heute Standard (z. B. der Gebrauch evakuierter Gefäße und das fokussieren von Quellgasen mittels Trichtern), wenn auch deren Erfindung mittlerweile anderen Forschern zugeschrieben wird. Die Untersuchung vulkanischer Gase begann in Deutschland mit Alexander von Humboldt. Gay-Lussac, mit dessen Schüler Playfair Bunsen in der Gasanalytik zusammen forschte, arbeitete wiederum eng mit Humboldt zusammen. Bunsen hatte sowohl Gay-Lussac als auch dessen früheren Assistenten Henri-Victor Regnault (1810–1878), mit dem er noch lange Jahre befreundet war, in Paris kennengelernt.

Die beiden anderen Schulen der Analyse vulkanischer Gase im 19. Jahrhundert neben Bunsen in England waren: Sir Humphry Davy (1778–1829) und sein Assistent Michael Faraday (1791–1867), und in Frankreich: Charles Giles Bridle Daubeny (1795–1867), Jean-Baptiste Joseph Diendonné Boussingault (1802–1887) und (Jean-Baptiste-Armand-Louis-Léonce) Elie de Beaumont (1798–1874). De Beaumonts Schüler, Henri Etienne Sainte-Claire Deville, wies 1856 mit seinem Schüler Ferdinand Andre Fouqué (1828–1904) als erster organische Substanzen in Vulkangasen nach, die Bunsen bereits zehn Jahre zuvor in Island vermutet hatte. Fouqué benutzte und verbesserte Bunsens Metho-

den und gab sie an seine beiden Schüler Henri-Claude Gorceix (1842–1919) und François-Antoine Alfred Lacroix (1863–1949, Fouqués Schwiegersohn) weiter.

Die amerikanische Linie der Bunsenschen vulkanischen Gasanalytik begann erst später. Der amerikanische Petrograph und Vulkangasanalytiker Thomas A. Jaggar (1871–1953), der als Initiator des US Vulkanobservatoriums auf Hawaii als der Urvater der amerikanischen Vulkanologie angesehen wird, hatte 1895 in Heidelberg für kurze Zeit bei Rosenbusch und Goldschmidt Mineralogie studiert und hatte dabei wohl auch die gasanalytischen Methoden Bunsens kennengelernt: Eine bekannte Photographie, die jetzt im Jaggar Museum des Vulkanobservatoriums von Hawaii hängt, zeigt Jaggar vor einer Bunsen-typischen gasanalytischen Apparatur in Hawaii der Dreißiger Jahre. Nachdem Mt. Soufriere (St. Vincent) und Mt. Pelee (Martinique) auf furchtbare Weise ausgebrochen waren, traf Jaggar als amerikanischer Experte und Gesandter bereits 1902 mit Lacroix und dem Schweizer analytischen Apotheker und Gasanalytiker Albert Brun in der Karibik zusammen; eine langjährige Zusammenarbeit mit Brun folgte. Brun faßte diese und andere Analysen und Methoden in seinem Übersichtswerk *Recherches sur l'Exhalaison Volcanique* über vulkanische Gasanalytik zusammen.

Sowohl die amerikanische als auch die französische Schule der modernen vulkanischen Gasanalytik gehen indirekt wie direkt auf Bunsen zurück.

Biographie

Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (1811–1899) studierte in Göttingen bei Bernhard F. Thibaut (Mathematik), Johann F. Hausmann (Mineralogie, Geologie) und Friedrich Strohmeyer (Chemie), dem Entdecker des Cadmiums, dem er 1830 seine lateinische Dissertation über Hygrometer widmete. Die Doktorprüfung legte er 1831 ab. Studienaufenthalte in Gießen bei Justus Liebig und in Berlin bei Heinrich Rose sowie in Paris und Wien folgten (1832–1833).

Er habilitierte sich 1834 in Göttingen und war dort bis 1836 als akademischer Lehrer tätig. 1835 mußte er den gerade verstorbenen Strohmeier vertreten, dessen Nachfolge 1836 Friedrich Wöhler antrat. Da mit Wöhlers Weggang die Stelle an der höheren Gewerbeschule in Kassel frei wurde, konnte Bunsen mit Unterstützung von Hausmann und Wöhler die Stelle als Lehrer antreten. 1839 wurde er aufgrund seiner Expertise in der Gasanalytik als Nachfolger von Professor Ferdinand Wurzer (1765–1844) nach Marburg berufen, wo er bis 1851 tätig war.

Die Berufung Bunsens nach Marburg erregte die Gemüter stark (z.B. Liebig), weil der ihm bei der Bewerbung nach Kassel vormals bereits unterlegene Carl Winkelblech, mittlerweile seit 1837 Professor in Marburg, wiederum übergangen und stattdessen als Ersatz für Bunsen nach Kassel berufen wurde. Nachfolger in Marburg wurden seine Schüler Constantin Zwenger (1814–1884) und Hermann Kolbe (1818–1884). Bunsen schlug verschiedene Rufe von Universitäten aus, so z.B. nach Halle, Dorpat und Berlin. Einem Ruf nach Breslau hatte er bereits zugesagt, als er ein Angebot aus Heidelberg bekam, den zurückgetretenen Gmelin zu ersetzen. Bunsen hielt dennoch sein Versprechen und zog nach Breslau. Dort freundete er sich mit Gustav Kirchhoff an, fand aber die für ihn bestimmten Laboratorien seines Vorgängers Nicolaus Wolfgang Fischer (1782–1850) in verwahrlostem Zustand vor. 1852 nahm er den Ruf nach Heidelberg nach nur drei Semestern in Breslau doch an, sorgte 1854 dort dafür, daß Kirchhoff als Nachfolger für den nach München wechselnden Philipp Jolly (1809–1884) berufen wurde.

1863 schlug Bunsen Hermann Kopp (1817–1892) als zweiten ordentlichen Professor der Chemie vor. Bunsen blieb bis zu seiner Emeritierung 1889. Nachfolger in Heidelberg wurde sein ehemaliger Schüler Victor Meyer (1848–1897). Bunsen wurde zum Ehrenbürger von Heidelberg ernannt, und die Straße, in der er wohnte, trug schon zu Lebzeiten seinen Namen. 1899 entschlief Bunsen friedlich. Im Laufe seines Lebens wurde ihm eine Vielzahl internationaler wissenschaftlicher und staatlicher Ehrungen zuteil, darunter Ehrenmitgliedschaften, -bürgerschaften, und -dokortitel.

Bunsen veröffentlichte 104 wissenschaftliche Publikationen und 6 Bücher. Er arbeitete im Laufe seines Lebens über prähistorische Artefakte, Meteoriten, Minerale und Petrographie, Gesamtgesteinsanalytik, Mineralwässer und Thermalquellen, Palagonitisierung, Geysire, vulkanische Gase, Hochofengase, geologische Lagerungsformen, Erdölquellen und Steinkohle; Iridium, die Toxikologie und Darstellung von Arsenverbindungen, Cyan-Ammoniak-Verbindungen, galvanische Säulen und Batterien, Elektrolyse und Galvanik als analytische und darstellende Methoden, gasanalytische Methoden und Gasabsorption, Harnstoffbestimmung, Säure-Analytik, organische Elementaranalytik, Jodometrie, Rubidium und Caesium (Entdeckung), Schießpulver, Kalorimetrie, Gaskapillarwirkung und vieles mehr.

Erfindungen und Entdeckungen

Nicht nur die Chemie verdankt Bunsen eine Vielzahl von Erfindungen und Entdeckungen durch ihn und seine Schüler.

Die Erfindung des Spektralapparates 1874 gemeinsam mit Gustav Kirchhoff (1824–1887) hat Einfluß auf alle spektrometrischen Methoden der heutigen Zeit. Sein das Lötrohr und den Laborofen ersetzender Laborbrenner (Bunsenbrenner) und die Wasserstrahlpumpe sind jedem Studenten der Naturwissenschaften im ersten Semester bekannt. Nur einige Beispiele weiterer Erfindungen sind: die Filterpumpe, das Eiskalorimeter, das Gaskalorimeter, die Volumetrische Analytik, das Quecksilber-Eudiometer, die Dichtemessung von Gasen durch Effusion, die Nutzung der Hochofengase, das Fettfleckphotometer, die elektrolytische Gewinnung reiner Metalle, das Bunsenventil, das Bunsen-Element (Batterie mit Kohleelektrode) sowie viele alltägliche Laborgeräte wie Kochstative, Bürettenhalter etc.

Seine wichtigsten Entdeckungen sind: die Organoarsenide und ihr Antidot, die Elemente Rubidium und Caesium, die Erklärung von Geysiren und das Konzept von Magma als einer Lösung. Er begründete mit Roscoe und Kirchhoff die bis heute beständig wachsenden Forschungsgebiete der Spektrochemie, Photochemie

und damit auch der Aktinometrie. Seine Leidenschaft galt allerdings bis zu seinem Tod vor allem der Geologie.

Bunsens Schüler

Bunsen bildete eine Vielzahl von Studenten und Assistenten aus, von denen einige Weltruhm erlangten oder seine Nachfolger wurden. Chemiker, Physiker, Naturforscher und Geologen gleichermaßen verbrachten ihre Lehrjahre bei Bunsen. Viele seiner Absolventen waren über die Chemie hinaus in weiteren Forschungsgebieten tätig, darunter in der Pharmazie, Medizin, Physik, und Geologie. Seine vielen Assistenten, Studenten, Habilitanden, Doktoranden und wissenschaftlichen Gäste erlernten über ein halbes Jahrhundert Bunsens *Gasometrische Methoden* in seinem Labor und trugen sie in die Welt hinaus. Unter Bunsens Schülern sind viele bekannte Namen der Wissenschaftsgeschichte, darunter mehrere spätere Nobelpreisträger.

Aus der Marburger Zeit seien vor allem Bromeis, Casselmann, Debus, Frankland, Genth, Griess, Gross, Guthrie, Hanbst, Kolbe, Sievers, Tyndall, Völkel, Witting und Zwenger genannt. Debus hatte bereits in Kassel Bunsens Vorlesung besucht. Aus der kurzen Zeit in Breslau sei Baumert hervorgehoben. Seine späteren Schüler haben alle von ihm in Heidelberg gelernt.

Die einzige andere Schule mit einem vergleichbaren Einfluß auf den Fortgang der chemischen Wissenschaften war die von Justus Liebig (1803–1873) in Gießen.

Liste einiger Schüler Bunsens

Die Auflistung folgt alphabetisch, pro Eintrag geordnet nach: Name, Lebensdaten, Studienort/-jahr bei Bunsen; Promotionsort/-jahr, Habilitationsort/-jahr, ggf. Rolle in Bunsens Umgebung (stud.=studierend, wiss. Gast = wissenschaftlicher Gast, * = nicht gesichert), weitere Abschlüsse, Professur Ort und Antrittsjahr, Forschungsschwerpunkte und Benennungen.

Thomas **Andrews** (1813–1885); stud. Heidelberg; Prof. in Belfast; Ozon, Gaskompressibilität, kritische Temperatur.

(Carl Johann Philipp Noé) Richard **Anschütz** (1852–1937); stud. 1871–1874, Dr. 1874 Heidelberg; Prof. in Bonn; Anschütz-Synthese von Anthrazen aus substituierten Benzoylchloriden.

Aurel **Babes** Sr. (1852–1925); stud. Heidelberg, Prof. in Bukarest (Rumänien).

Adolf (Johann Friedrich Wilhelm Ritter) von **Baeyer** (1835–1917); Dr. 1858 Berlin/Heidelberg; Nobelpreis 1905; Prof. in Straßburg und München; organische Farben, Aspirin, Phenolphthalein, Triphenylmethan, Tautomerie, Laktam, Barbiturate, Indigosynthese, B. sche Spannungstheorie.

Johann Friedrich **Bahr** (1815–1875); stud.? 1865? Heidelberg; Dozent in Stockholm, Prof. in Uppsala; Spektroskopie der Seltenen Erden.

Georg Herbert **Bailey** (1852–1924); Dr. 1885 Heidelberg; Industrieller (United Kingdom).

Moritz **Baumert** (1818–1865); stud. Breslau; habil. 1853 Breslau; Prof. in Bonn; Arzt und Chemiker; Gasanalytik in der Physiologie, Ozon.

Karl Josef **Bayer** (1847–1904); Bunsens Assistent 1869–1871, Dr. 1871 Heidelberg; Industrieller; B.-Verfahren, NaOH-Bau-
xitleugung.

Herbert A. **Bayne** (1846–1886); stud. 1876–1877, Dr. 1877 Heidelberg; Prof. in Kingston, CA.

Friedrich Conrad **Beilstein** (1838–1906); 1853 und 1856 in Heidelberg, Prof. in Göttingen und Petersburg; organische Che-