

6. VERFAHREN UND APPARATUREN DER CHEMIE

Die Chemie ist die Laborwissenschaft par excellence. Chemische Laboratorien gab es bereits an den Universitäten des 17. Jahrhunderts. Ihr Instrumentarium und Methodenarsenal konnte auf sehr viel ältere Praktiken der metallurgischen, pharmazeutischen und stoffverarbeitenden Gewerbe zurückgreifen. Früher als andere Naturwissenschaften erlangte die Chemie den Status einer eigenständigen Disziplin und bildete stabile Verbindungen zur gewerblich-industriellen Anwendung aus; doch später als andere naturwissenschaftliche Fächer erhielt sie einen einheitlichen theoretischen Rahmen. Bis um 1800 war ihre Wissensordnung die Ordnung der Verfahren und Apparaturen. Dies änderte sich im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts mit dem chemischen Atomkonzept, einer darauf aufbauenden Nomenklatur und Bindungstheorie sowie der zentralen Bedeutung, die man der quantitativen Analyse zuwies. Seit den 1840er Jahren traten dieser die Strukturtheorie und das Programm einer Synthesechemie an die Seite, mit der sich das Interesse zur Organischen Chemie hin verschob. Von der Jahrhundertmitte an dominierte sie die Universitäten, während Heidelberg ein Zentrum für die Entwicklung physikalisch-chemischer Methoden blieb. Die durch Bunsen und Kirchhoff 1860 eingeführte Spektralanalyse [→ 4.1.] und die dadurch ausgelöste Entdeckung neuer Elemente machten die Frage nach deren natürlicher Ordnung akut. Es waren zwei Bunsen-Schüler, Lothar Meyer (1830–1895) in Karlsruhe und Dmitrij Mendeleev (1837–1907) in St. Petersburg, die 1868/69 den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Atommasse und chemisch-physikalischen Eigenschaften erkannten und das Periodensystem der Elemente aufstellten – eine Leistung, die ohne die spezifische Ausprägung der Heidelberger Chemie nicht möglich gewesen wäre.

Unter den Zeichnungen Friedrich Veiths stellen Gegenstände aus der Chemie zahlenmäßig die größte Gruppe dar, auch wenn sie wissenschaftshistorisch nichts Herausragendes bieten. Vieles entstand in Zusammenhang mit der Arbeit an Lehrbüchern oder für Unterrichtszwecke. Eine besondere Stellung nimmt dabei das *Lehrbuch der Organischen Chemie* von August Kekulé ein, dessen erster Band zwischen Juni 1859 und dem Herbst 1861 in drei Lieferungen bei Ferdinand Enke in Erlangen erschienen ist und als Pionierleistung der neuen Strukturchemie und Benzoltheorie gilt. Auch wenn Kekulés Freund Reinhold Hoffmann später angab, der Autor habe die Vorlagen für die Abbildungen seines Lehrbuchs eigenhändig gezeichnet (Anschütz, 65), so belegt unser Bestand, dass viele tatsächlich von Veith stammen, und es spricht einiges dafür, dass auch den übrigen Holzschnitten in Kekulés *Lehrbuch* Vorlagen des Heidelberger Universitäts-Zeichenlehrers zugrunde lagen.

Im Folgenden sind die der Chemie zuzurechnenden Zeichnungen Veiths unter drei Themen gruppiert: Organische Elementaranalyse einschließlich der Bestimmung der Molekularmasse, Chemische Synthese und Darstellungsverfahren, schließlich diverse Laboratoriumstechnik.

Frederick L. Holmes u. Trevor H. Levere (Hgg.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge/Mass. 2000. – Richard Anschütz, *August Kekulé*, Bd 1, Berlin 1929.

6.1. ORGANISCHE ELEMENTARANALYSE

Das Ziel der organischen Elementaranalyse ist die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von organischen Verbindungen. In der qualitativen Analyse wird untersucht, welche Elemente in einer Verbindung enthalten sind. Bei der quantitativen Analyse wird der prozentuale Anteil der enthaltenen Elemente ermittelt. Daraus lässt sich dann bei bekannter Molekülmasse die Summenformel berechnen. Das Verfahren der Verbrennungsanalyse geht auf Antoine Laurent Lavoisier zurück. In komplexen Apparaturen verbrannte dieser Öle und andere organische Stoffe und wies mit häufig sehr aufwendigen Methoden die Reaktionsprodukte Wasser und Kohlendioxid quantitativ nach. Das Verfahren wurde u.a. von Joseph Louis Gay-Lussac und Jöns Jacob Berzelius weiterentwickelt. 1831 erfand Justus Liebig in Gießen den Fünf-Kugel-Apparat („Kali-Apparat“) zum Auffangen und Binden des entstandenen Kohlendioxids, dessen Masse nun ohne großen Aufwand auf der Waage bestimmt werden konnte. Diese Neuerung vereinfachte die Arbeitsabläufe und ermöglichte einen effizienteren Einsatz der Analyse. Die verwendeten Apparaturen waren nun optimal für die quantitative Analyse von Kohlenstoff (Kohlendioxid) und Wasserstoff (Wasser) geeignet. Der Nachweis von Stickstoff war damit jedoch problematisch und häufig fehlerhaft; eine verlässlichere Methode entwickelten 1841 die Liebig-Schüler Heinrich Will und Franz Varrentrapp.

Die Elementaranalyse war für die Entwicklung der Organischen Chemie von entscheidender Bedeutung; denn erst die Kenntnis der genauen Zusammensetzung ermöglichte ein Verständnis von Reaktionsmechanismen und erlaubte gezielte Synthesen.

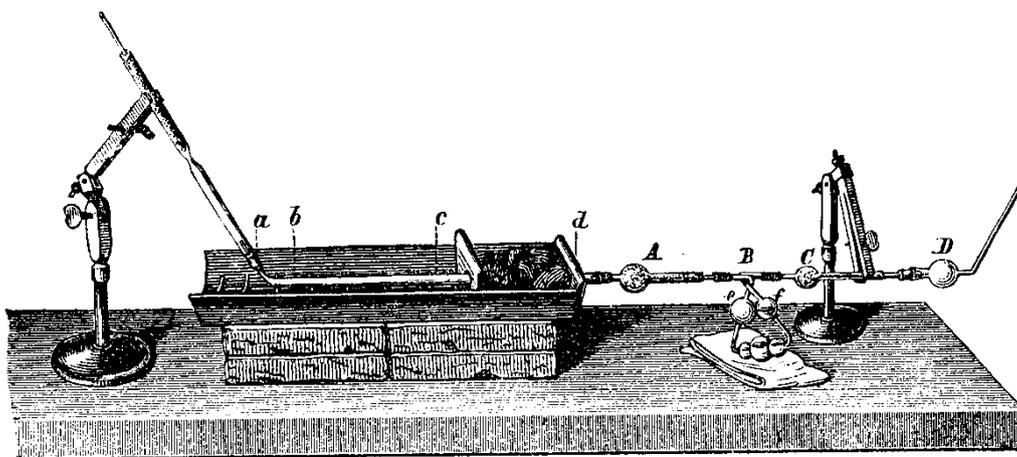
Um aus den prozentualen Anteilen der einzelnen Elemente die Summenformel einer chemischen Verbindung aufstellen zu können, muss man die relative Molekülmasse bestimmen. Dafür standen verschiedene Verfahren zur Verfügung, von denen den volumetrischen Methoden besondere Bedeutung zukam. Unter den Zeichnungen von Friedrich Veith, nach denen die Abbildungen in Kekulé's *Lehrbuch der Organischen Chemie* gestochen wurden, befinden sich drei Apparaturen zur Bestimmung der Dampfdichte. Als Dampfdichte oder spezifisches Gewicht eines Dampfes bezeichnet man das Dichteverhältnis eines Gases zu Luft. Kekulé beschreibt zwei Methoden, die zur Bestimmung der Dampfdichte verwendet werden können: Bei der Methode von Dumas [→ 6.1.1. (5)] bestimmt man das Gewicht des Dampfes, wobei die Parameter Druck, Temperatur und Volumen bekannt sind. Bei der Methode von Gay-Lussac [→ 6.1.9.] wird das Volumen des Dampfes ermittelt, Druck und Temperatur sowie Masse der Substanz sind bekannt.

August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1, Erlangen 1861. – Justus Liebig, *Anleitung zur Analyse organischer Körper*, Braunschweig 1837. – Ferenc Szabadváry, *Geschichte der analytischen Chemie*, Braunschweig 1966, 287–306. – Alan J. Rocke, „Organic analysis in comparative perspective: Liebig, Dumas, and Berzelius, 1811–1837“, in: *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, hg. v. Frederick L. Holmes u. Trevor H. Levere, Cambridge/Mass. 2000, 273–310.

6.1.1. Apparaturen für die organische Elementaranalyse

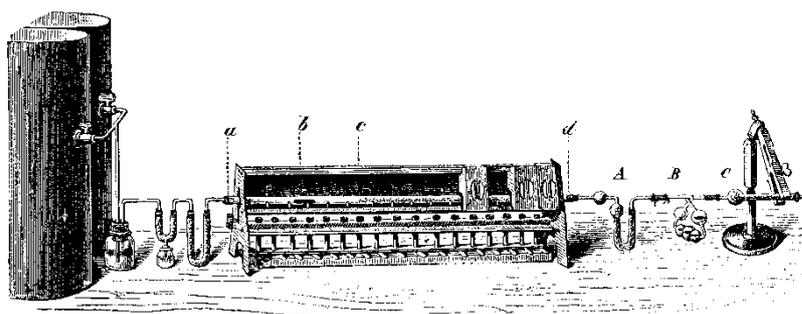
[*23] Bleistiftzeichnung 42,7 x 32 cm [auf gleichem Bogen mit 6.1.8./6.1.9., obere Hälfte]; bez.: H. Dr. Kekulé 1858

Auf dem großen, gefalteten Bogen sind – teilweise nur flüchtig skizziert – einige Apparaturen für die Elementaranalyse dargestellt. Alle Zeichnungen sind in einer detaillierteren Darstellung im ersten Band von Kekulé's *Lehrbuch der Organischen Chemie* zu finden, der zwischen 1859 und 1861 in Teillieferungen erschien. Die Zeichnungen sind auf dem Blatt von (3) bis (9) nummeriert, werden aber im Folgenden in der Reihenfolge beschrieben, in der sie in Kekulé's Lehrbuch vorkommen.



Vorrichtung zur Elementaranalyse nach Liebig, Holzstich aus: August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd I [1. Lieferung, 1859], Erlangen 1861, 20; erneut verwendet in: Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 37, Fig. 26.

Abbildung (6) zeigt eine Apparatur für die quantitative Elementaranalyse nach Liebig (Kekulé, S. 20). Sie dient der Ermittlung des Verhältnisses von Kohlenstoff zu Wasserstoff in einer organischen Verbindung. Nach der Verbrennung der Substanz wird die Masse der Verbrennungsprodukte Kohlendioxid und Wasser gemessen und aus diesen Werten das Verhältnis der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff berechnet. In der Verbrennungswanne aus Eisen („Verbrennungsofen“), die mit glühenden Kohlen beheizt wird, befindet sich eine lange Glasröhre. Eine abgewogene Menge der zu analysierenden Substanz wird zusammen mit Kupferoxid in dieser Röhre verbrannt. Entscheidend für die Analyse sind nun die zwei Abschnitte der Apparatur rechts von der Verbrennungswanne. Im anschließenden Rohr befindet sich Calciumchlorid („Chlorcalciumrohr“), dort wird das entstandene Wasser gebunden. Im daran angeschlossenen Fünf-Kugel-Apparat („Kaliapparat“) befindet sich Kalilauge, die das Kohlendioxid bindet. Sobald die Verbrennung abgeschlossen ist, wird links die Spitze des Glasrohrs abgebrochen und von rechts durch ein Saugrohr Luft durch die Apparatur gesogen, um alle noch im Rohr befindlichen Verbrennungsprodukte mit dem Calciumchlorid und der Kalilauge in Kontakt zu bringen. Das Chlorcalciumrohr und der Kaliapparat werden vor und nach dem Versuch gewogen. Die Differenz ergibt die Masse des bei der Verbrennung freigesetzten Wassers bzw. Kohlendioxids.

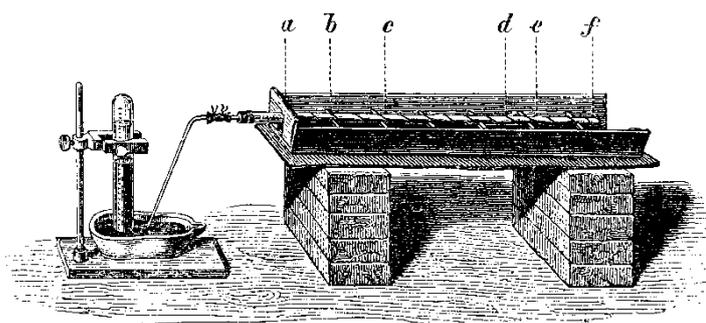


Verbrennungsofen nach Babo, Holzstich aus: August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1 [1. Lieferung, 1859], Erlangen 1861, 24.

Abbildung (9) zeigt – skizzenhaft angedeutet – einen Gasverbrennungsofen für die Elementaranalyse nach Lambert von Babo (Kekulé, S. 24). Im Gegensatz zum Liebig'schen Verbrennungsofen, der mit Holzkohle beheizt wurde, wird hier Gas zum Erhitzen

der Proben genutzt. Kekulé nennt die einfachere Handhabung und die genaueren Versuchsergebnisse als klare Vorteile dieser Konstruktion [→ 6.1.6.].

Bei Abbildung (4) handelt es sich um eine Apparatur zur Bestimmung des Stickstoffs nach Will und Varrentrapp (Kekulé, S. 26). Die zu untersuchende, stickstoffhaltige Substanz wird zusammen mit Bariumhydroxid (alternativ auch Natronkalk) in einer Glasröhre durch das Auflegen von glühenden Kohlen erhitzt. Auf der linken Seite ist die Röhre mit einem Glasapparat verbunden, in dem sich konzentrierte Salzsäure befindet. Das bei der Verbrennung entstandene Ammoniak wird von der Salzsäure gebunden. Die Menge des Ammoniaks wird anschließend außerhalb der Apparatur ermittelt (z.B. durch Zugabe von Platinchlorid und Wägung des gefällten Platin-Ammoniumchlorids). Der rechts gezeigte Fünf-Kugel-Apparat ist nicht Bestandteil der beschriebenen Apparatur. Die Idee, Stickstoff in der organischen Elementaranalyse mit Hilfe der oben beschriebenen Reaktion als Ammoniak nachzuweisen, stammte ursprünglich von Jöns Jakob Berzelius und Friedrich Wöhler. Die beschriebene Methode wurde allerdings erst 1841 von den Liebig-Schülern Heinrich Will und Friedrich Varrentrapp ausgearbeitet.



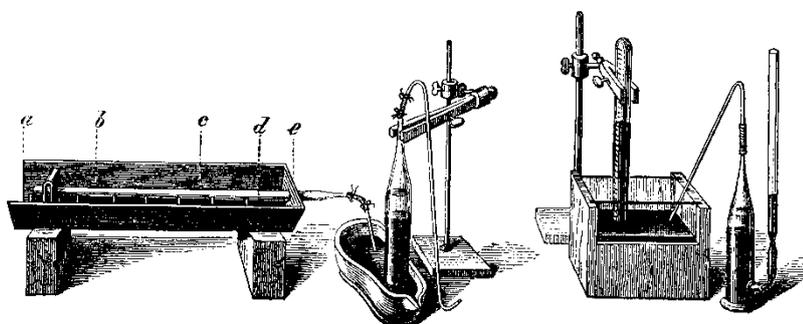
Stickstoffbestimmung nach Dumas, Holzstich aus: August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1 [1. Lieferung, 1859], Erlangen 1861, 24; erneut verwendet in: Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 64, Fig. 42.

Abbildung (3) zeigt eine Apparatur zur Bestimmung des Stickstoffs als Stickstoffgas nach Dumas (Kekulé, S. 30). Das Ziel dieser Methode ist es, das bei der Verbrennung der zu untersuchenden Substanz freigesetzte Stickstoffgas vollständig aufzufangen und dessen Masse zu bestimmen. Um Fehler bei der Messung zu vermeiden, muss die Verbrennungsröhre zunächst luftleer gemacht

werden. Dies geschieht mit Kohlendioxid, das innerhalb der Röhre durch das Erhitzen von Natriumhydrogencarbonat erzeugt wird. Außerdem befinden sich in der Verbrennungsröhre metallisches Kupfer (um die Bildung von Stickstoffoxiden zu verhindern),

Kupferoxid (liefert den Sauerstoff für die Verbrennung) und natürlich die zu untersuchende Substanz. Die Verbrennung wird durch Auflegen von glühenden Kohlen erreicht. Die entstehenden Gase werden auf der linken Seite über Quecksilber in einer graduierten Glasglocke aufgefangen. Die Glocke ist zum Teil mit Kalilauge gefüllt – so wird das Kohlendioxid aus dem Gasgemisch entfernt. Nach der Verbrennung wird das restliche Natriumhydrogencarbonat in der Röhre nochmals erhitzt, so dass das entstehende Kohlendioxid das Stickstoffgas vollständig in die Glasglocke verdrängt. Anschließend kann nun die Menge des gesammelten Stickstoffs bestimmt werden. Die Glocke wird dazu in ein mit Wasser gefülltes Gefäß gebracht, man lässt das Quecksilber und die Kalilauge austreten und hält die Glocke so, dass der Wasserstand innerhalb und außerhalb gleich hoch ist. Nun kann das Volumen des Stickstoffgases abgelesen werden. Unter Berücksichtigung verschiedener anderer Parameter lässt sich daraus die Masse des Stickstoffs berechnen.

Die Abbildungen (7) und (8) zeigen eine von Maxwell Simpson entwickelte Modifikation der Dumaschen Methode der Stickstoffbestimmung (Kekulé, S. 31). Sie zeichnet sich vor allem durch eine größere Genauigkeit aus, die Grundprinzipien



Stickstoffbestimmung nach Simson, Holzstich aus: August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1 [1. Lieferung, 1859], Erlangen 1861, 31; ebenfalls verwendet in: Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 68, Fig. 44/45.

sind jedoch gleich. Da die Stickstoffbestimmung mit der Methode von Dumas (und deren Modifikationen) sehr schwierig war, wurde sie meist nur eingesetzt, wenn die deutlich einfachere Methode von Will und Varrentrapp nicht anwendbar war.

Die sehr flüchtige Skizze (5) zeigt – stark vereinfacht – eine Apparatur zur Bestimmung der Dampfdichte nach Dumas (Kekulé, S. 46); eine etwas sorgfältiger ausgeführte Version, mit (11) und der Preisangabe 1 fl. 30 g. beziffert, steht auf der Rückseite eines anderen Blattes [→ 6.1.3.; vgl. auch die Abbildungen unter → 2. auf S. 13 dieses Bandes]. Kekulé beschreibt zwei grundsätzliche Methoden, die zur Bestimmung der Dampfdichte (des spezifischen Gewichts der Dämpfe) verwendet werden können: Bei der Methode von Dumas bestimmt man das Gewicht des Dampfes, wobei die Parameter Druck, Temperatur und Volumen bekannt sind. Bei der Methode von Gay-Lussac [→ 6.1.9.] wird das Volumen des Dampfes ermittelt, Druck und Temperatur sowie Masse der Substanz sind bekannt. Eine Glaskugel, deren Hals in eine feine Spitze ausgezogen ist, wird mit trockener Luft gefüllt und gewogen. Anschließend füllt man eine geringe Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit ein. Die Kugel wird in einem Wasser- oder Ölbad erhitzt. Der entstehende Dampf verdrängt die Luft, die aus der Spitze entweichen kann. Sobald die Kugel vollständig mit Dampf gefüllt ist, wird die Spitze zugeschmolzen und die Kugel erneut gewogen. Nun muss noch das Volumen der Kugel ermittelt werden. Dazu wird die Spitze unter Quecksilber abgebrochen und anschließend

das Volumen des eingetreten Quecksilbers in einem Zylinder bestimmt. Aus den gewonnenen Daten kann das spezifische Gewicht des Dampfes bzw. die Dampfdichte berechnet werden.

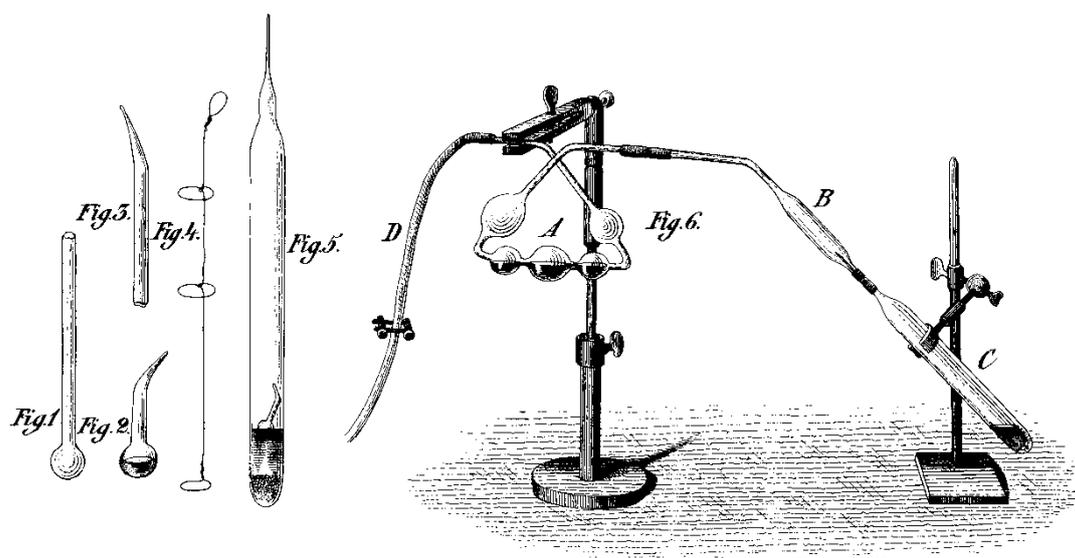
August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1, Erlangen 1861. – Ferenc Szabadváry, *Geschichte der analytischen Chemie*, Braunschweig 1966, 287–306.

MS

6.1.2. Sauerstoff-Bestimmung nach Ladenburg

[*38] Bleistiftzeichnung 19,8 x 29,6 cm; bez.: für Dr. Ladenburg bei Prof. Carius, Nov. [18]64

Während bei der gewöhnlichen Elementaranalyse der Sauerstoffgehalt der organischen Probe indirekt aus der bei der Verbrennung gebildeten Menge von CO_2 und Wasser ermittelt wurde, schlug Ladenburg, der damals im Laboratorium von Ludwig Carius arbeitete, eine direkte Bestimmungsmethode vor. Dazu wog er die zu untersuchende Substanz – im Anschluss an eine von Carius für die Bestimmung der Halogene entwickelte Methode – in einem Glaskügelchen ein, das anschließend abgeschmolzen wurde. Die Oxidation erfolgt durch Silberjodat in Schwefelsäure in einem starkwandigen Analysenrohr, das nach Einbringung des Kügelchens am ausgezogenen Ende abgeschmolzen wird. Nun zerbricht man das Glaskügelchen durch einen kräftigen Schlag auf das umgebende Rohr, erhitzt es im Wasserbad, bis die Reaktion abgeklungen ist, lässt abkühlen, wägt das Rohr, öffnet es dann, entfernt die bei der Oxidation gebildete Kohlensäure durch mehrfaches Erhitzen unter Vakuum, wägt erneut und ermittelt aus der Differenz die Menge von CO_2 . Anschließend wird das Rohr geöffnet, der Inhalt herausgespült, Kaliumjodid zugegeben, das freigesetzte Jod nach einem von Bunsen entwickelten Verfahren titrimetrisch bestimmt und daraus der Sauerstoffgehalt berechnet.



Analyseapparatur, Lithographie, 11 x 17,5 cm, bez.: Lith. Anst. v. M. Singer, Leipzig; aus: Albert Ladenburg, „Eine neue Methode der Elementaranalyse“, *Annalen der Chemie und Pharmacie* 135 (1865), 1–24, Taf. I.

Die Zeichnung Veiths zeigt das Analysenrohr mit der Oxidationslösung aus Schwefelsäure und Silberjodat, in der das Glaskügelchen mit der Probe schwimmt, umschlungen von einem Platindraht, der zur Aufhängung an der Waage dient und in der Lithographie der Deutlichkeit halber links neben das Rohr gezeichnet ist. Rechts sieht man die zum Auspumpen verwandte Vorrichtung, bei der ein mit Schwefelsäure gefüllter Fünfkugelapparat das Eindringen von Feuchtigkeit in das Analysenrohr verhindern soll.

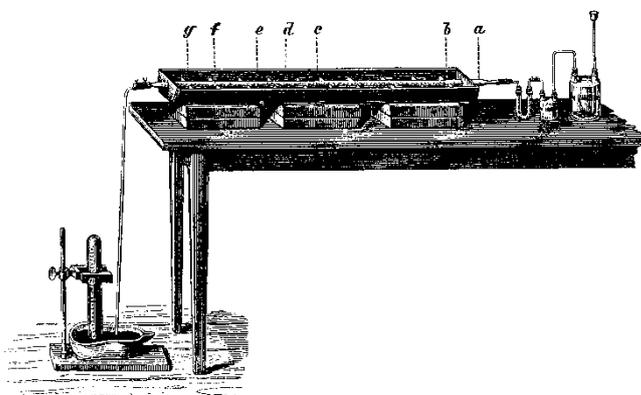
Albert Ladenburg, „Eine neue Methode der Elementaranalyse“, *Annalen der Chemie und Pharmacie* 135 (1865), 1–24, Taf. I.

CM

6.1.3. Apparatur für die organische Elementaranalyse (relativer Stickstoffnachweis)

[*24] Bleistiftzeichnung 21,4 x 17,2 cm, Einriß; bez.: Dr. Kekulé, 1860 / Dumas Stickstoff / Gottlieb / Dumas Dampfdichte / H. Dr. Kekulé, Preisangaben [verso: Glaskolben mit Thermometer in Wasserbad, bez.: Dr. Kekulé (11), Vorzeichnung zu → 6.1.1. (5)]

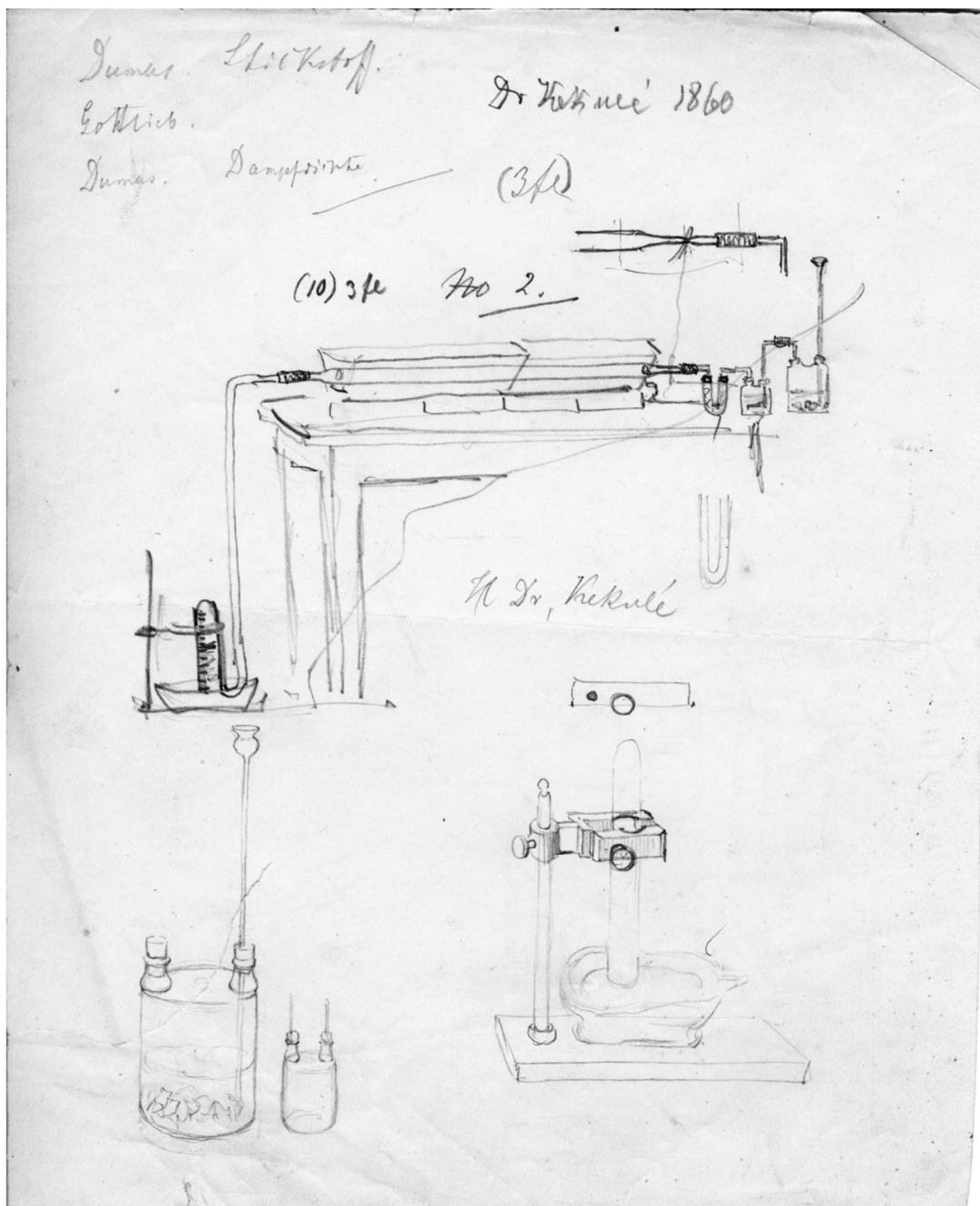
Die Apparatur dient dem Stickstoffnachweis nach der Methode von Johann Gottlieb (Kekulé, S. 29). In der Beischrift liest man von Veiths Hand: „Dumas, Stickstoff, Gottlieb, Dumas, Dampfdichte“. Es handelt sich um eine ‚relative‘ Methode, d.h. es wird dabei nicht die absolute Stickstoffmenge bestimmt, sondern das Verhältnis von Stickstoff zu Kohlenstoff (Kohlendioxid).



Apparatur zur Stickstoffbestimmung, Holzstich aus: August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1 [1. Lieferung, 1859], Erlangen 1861, 29; erneut verwendet in: Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 57, Fig. 39.

Die zu untersuchende Substanz wird zusammen mit metallischem Kupfer (um die Bildung von Stickstoffoxiden zu verhindern), Kupferoxid und Calciumchlorid in eine Glasröhre auf dem Verbrennungsofen gebracht. Links wird die Röhre mit einem Gasentwicklungsrohr verbunden, das in einer Quecksilberwanne endet. Rechts schließt man einen Wasserstoffapparat an. Nun wird etwa zwei Stunden lang Wasserstoff durch die Apparatur geleitet. Anschließend wird

die Röhre rechts zugeschmolzen. Durch Auflegen von glühenden Kohlen wird das Kupferoxid in der Röhre erhitzt. Es reagiert mit dem Wasserstoff unter Bildung von Wasser. Das Calciumchlorid bindet das Wasser, und man erhält so einen beinahe luftleeren Raum im Inneren der Verbrennungsröhre. Der entstehende Unterdruck kann durch das im Gasentwicklungsrohr aufsteigende Quecksilber beobachtet werden. Nun wird die zu untersuchende Substanz verbrannt, die entstehenden Gase werden in einer graduierten Glocke über Quecksilber aufgefangen. Anschließend kann das Verhältnis der Menge an



Stickstoff zur Kohlenstoffmenge bestimmt werden (z.B. durch die Entfernung des Kohlendioxids mittels Kalilauge).

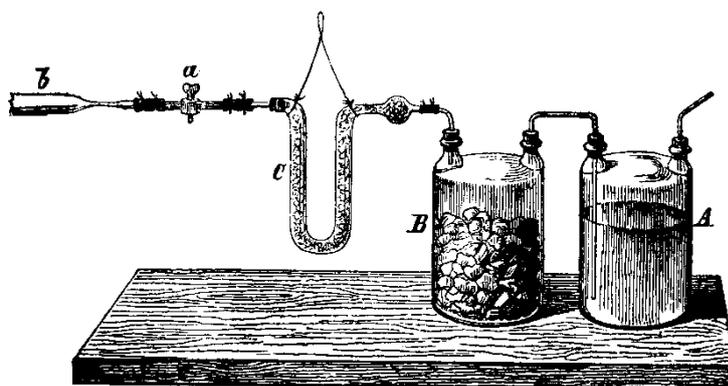
Auf dem Blatt sind links unten Bestandteile des Wasserstoffapparats im Detail dargestellt, rechts die nierenförmige Quecksilberwanne („pneumatischer Trog“) mit der Glocke zum Auffangen des Gases. Eine ähnliche Zeichnung findet sich auf einem weiteren für Kekulé gefertigten Blatt [→ 6.3.7.].

August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1, Erlangen 1861. – Ferenc Szabadváry, *Geschichte der analytischen Chemie*, Braunschweig 1966, 287–306.

6.1.4. Kohlensäure-Entwickler zur Analyseapparatur

[*48] Bleistiftzeichnung, 11 x 17,3 cm; bez.: H. Dr. Schiel, [18]59

Bei der quantitativen Stickstoffbestimmung nach Dumas [→ 6.1.1.] wird die Luft aus dem Verbrennungsrohr vor Durchführung der Analyse durch CO_2 verdrängt. Zur Erzeugung des Kohlendioxids empfiehlt Schiel, zwei miteinander verbundene Woulfesche Flaschen zu benutzen, von denen die erste Schwefelsäure, die zweite Kreidestücke enthält und über ein mit Calciumchlorid als Trockenmittel gefülltes U-Rohr sowie einen Glashahn mit dem ausgezogenen Ende des Verbrennungsrohrs verbunden ist. Schließt man den Glashahn, saugt dann etwas Luft aus dem offenen Röhrchen der rechten Flasche, und öffnet den Hahn wieder, so gelangt etwas Säure auf die Kreide und entwickelt dort CO_2 , das durch die Apparatur strömt.



Gasbehälter, Holzstich aus: Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 65, Fig. 43.

Der Holzstich in Schiels *Anleitung* stimmt einschließlich der beistehenden Buchstaben mit der Vorzeichnung überein.

Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 65, Fig. 43.

CM

6.1.5. Verbrennungsofen, Detail

[*16] Bleistiftzeichnung, 16,2 x 15 cm; bez.: Prof. Erlenmeyer Feb [18]66 [verso: undeutliche Skizze eines Laborschanks?]

Die Skizze zeigt ein Detail eines speziellen Verbrennungsofens, in dem Substanzproben zur chemischen Analyse in geschlossenen Glasröhren über Gasbrennern erhitzt wurden. Holzstiche der Apparatur, die auf Veiths Zeichnung zurückgehen, finden sich in Jakob Schiels *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 113, Fig. 57, und 116, Fig. 58. Das Gerät war ursprünglich vom Freiburger Chemieprofessor Lambert von Babo (1818–1899) neben anderer Labortechnik entwickelt worden. Erlenmeyer ließ diese Vorstudie für seinen 1866 in den *Annalen der Chemie* erschienen Aufsatz „Ueber einige Abänderungen an dem Verbrennungsofen mit Bunsen'schen Lampen und v. Babo'schem Gestell“ anfertigen.

Die Gesamtapparatur besteht aus einer Reihe von Bunsenbrennern, die ein Glasrohr erhitzen, welches auf einer Rinne liegt. Das Rohr ist von Tonkacheln umgeben (schraffiert gezeichnet), die die Temperatur konstant halten sollen. Zur Hitzeregulierung sind

die Kacheln wegklappbar. Die Zeichnung stellt einen Querschnitt des Ofens dar, der im Ganzen aus einer Aneinanderreihung solcher Elemente besteht [→ 6.1.6.].

Erlenmeyers Abänderungen, die nicht alle in der Skizze auftauchen, sollten zur besseren Temperaturregulierung dienen. Er ersetzte die sonst übliche Metallrinne, auf der das Probenrohr liegt, durch gebrannten, feuerfesten Ton, um eine gleichmäßigere Hitzeabgabe durch die Bunsenbrenner zu gewährleisten. Außerdem modifizierte er die Tonkacheln, indem er beidseitig Nasen anbrachte (in der Publikation als *a* gekennzeichnet). Sie lenken die Flamme des Bunsenbrenners ab, damit diese das Glasrohr nicht berührt und somit die Gefahr eines Hitzebruchs oder des Schmelzens minimiert wird. Außerdem modifizierte Erlenmeyer das Mischrohr der Bunsenbrenner, um ein Rückschlagen der Flamme zu vermeiden.

Der von Babosche Verbrennungsofen erfreute sich anscheinend großer Beliebtheit, denn er wurde noch 1910 bzw. 1912 in Katalogen für Laborgeräte angeboten.

Emil Erlenmeyer, „Ueber einige Abänderungen an dem Verbrennungsofen mit Bunsen'schen Lampen und v. Babo'schen Gestell“, *Annalen der Chemie* 139 (1866), 70–75. Kensberg & Ulbrich, *Preis-Verzeichnis: Fabrik und Lager sämtlicher Metall-Apparate für chemische, technische, pharmaceutische und bakteriologische Laboratorien*, Berlin 1910, 97, Fig. 90–896. – Felix Bauer, *Laboratoriums-Apparate und Utensilien*, Hamburg 1912, 270, Fig. 4972.

MM

6.1.6. *Verbrennungsapparatur zur Elementaranalyse*

[*34] Bleistiftzeichnung, 24,5 x 29,2 cm, bez.: Im August [18]91 für H. Dr. Krafft [verso: Schülerzeichnung Akanthusblatt, bez.: Realsch. Hdbg. 4. März 1889, Wilh. Hahn, IV.a.]

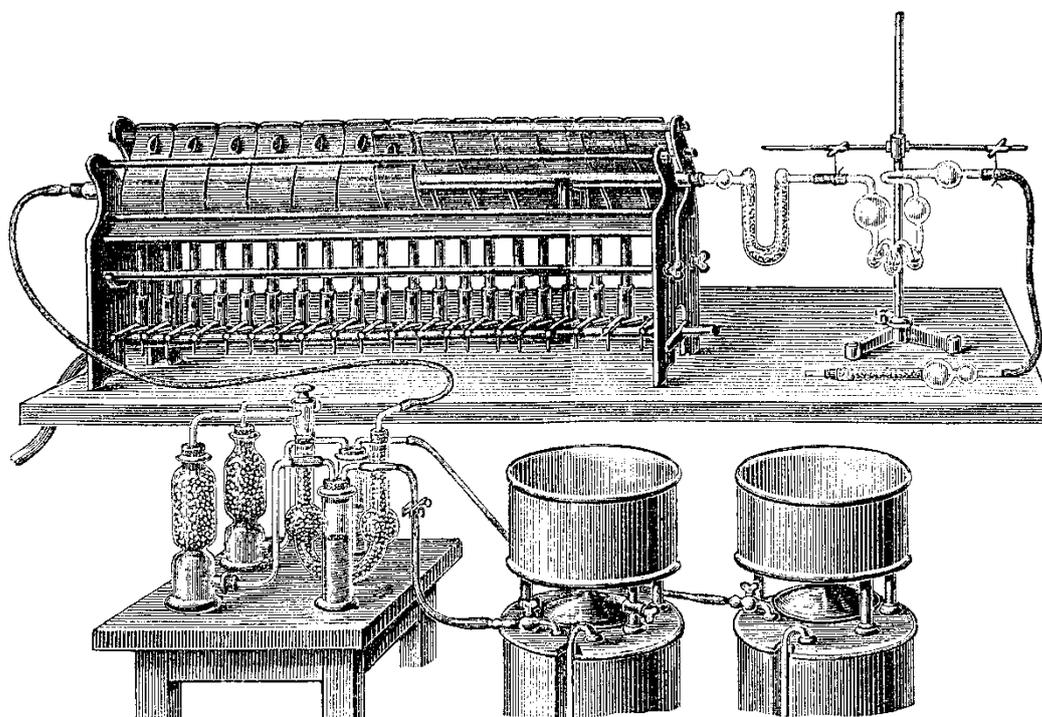
Das Blatt zeigt den Entwurf für eine 1893 in Friedrich Kraffts *Kurzes Lehrbuch der Chemie* erschienene Abbildung einer Apparatur für die Elementaranalyse organisch-chemischer Verbindungen [→ 6.1.1.]. Mit ihrer Hilfe ließ sich der Gehalt an Wasserstoff und Kohlenstoff in einer organischen Verbindung prozentual bestimmen.

Die Substanzen werden unter Zugabe von Kupferoxid als Oxidationsmittel kontrolliert verbrannt, die dabei erhaltenen Reaktionsprodukte aufgefangen und anschließend gravimetrisch bestimmt. Dazu wird nach Beendigung der Oxidation zunächst Sauerstoff, dann Luft durch die Apparatur geblasen, um die Verbrennungsprodukte in die Absorptionsgefäße auszutreiben. Hierfür dienen die im Vordergrund stehenden beiden Gasometer, deren Gasdruck reguliert werden kann. Links daneben sieht man mit Calciumchlorid (CaCl_2) und Schwefelsäure gefüllte Standgefäße zur vorherigen Trocknung der Gase.

Die Apparatur entspricht der im *Lehrbuch der Organischen Chemie* von Kekulé (Bd 1, S. 24) abgebildeten. Der Verbrennungsofen ähnelt dem Baboschen [→ 6.1.5.] und besteht aus einem Gestell, durch dessen Mitte eine Röhre verläuft, in die man die zu analysierende Substanz samt einem Oxidationsmittel einbringt. Die Verbrennungsröhre wird durch 20 bis 25 Brenner erhitzt und ist von aufklappbaren Tonkacheln umgeben, die eine gleichmäßige Erhitzung und eine Kontrolle der Temperatur entlang der Röhre gewährleisten.

Am rechten Ausgang des Verbrennungsrohrs befindet sich ein U-Rohr, in dem das bei der Verbrennung entstandene Wasser durch CaCl_2 absorbiert wird. Diesem folgt ein sogenannter ‚Geisslerscher Apparat‘ – eine Fortentwicklung des Liebigschen Fünf-

kugelapparats –, benannt nach dem Bonner Glasbläser und Instrumentenbauer Heinrich Geissler und hier darüber noch einmal vergrößert herausgezeichnet. Er besteht aus einer



Verbrennungsapparat, Holzstich aus: Friedrich Krafft, *Kurzes Lehrbuch der Chemie, Bd 2: Organische Chemie*, Leipzig, Wien 1893, 20, Fig. 6.

Reihe von kompakt verbundenen Glaskugeln, die so angeordnet sind, dass das Ganze auf der Waagschale zum Stehen kommt. Hier wird vor der Analyse eine gewisse Menge von Kalilauge eingewogen, und durch die Form des Apparats sind die Verbrennungsgase gezwungen, die einzelnen Kugeln zu durchströmen. Dank der speziellen Anordnung der Kugeln wird das bei der Verbrennung entstandene CO_2 vollständig in der Lauge absorbiert und kann anschließend gravimetrisch bestimmt werden. Zum Schutz gegen atmosphärische Feuchtigkeit dient ein weiteres CaCl_2 -Rohr am rechten Ausgang der Apparatur.

Mit der Waage bestimmt wurden die Massen der zu untersuchenden Substanz, des gebildeten Wassers und des im Geisslerschen Apparat gebundenen CO_2 . Daraus ließ sich dann der Gehalt der Probe an Kohlenstoff und Wasserstoff berechnen.

Friedrich Krafft, *Kurzes Lehrbuch der Chemie, Bd 2: Organische Chemie*, Leipzig, Wien 1893, 20, Fig. 6. – August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1, Erlangen 1861, 24.

6.1.7. *Apparatur für die Elektrolyse*

[*25] Bleistiftzeichnung 20,5 x 26,7 cm; bez.: H. Dr. Kekulé 1858 / Vth

Mit der dargestellten Apparatur können Elektrolysen durchgeführt und die dabei entstehenden Gase getrennt voneinander aufgefangen werden. Links unten ist der linke Teil der Gesamtapparatur zu sehen, der daran anschließende Teil wird darüber gezeigt. Das Eudiometer, das sich in der Gesamtapparatur rechts befindet und nur unvollständig dargestellt ist, ist auf der rechten Seite des Blattes komplett zu sehen.

Der für die Elektrolyse nötige Strom wird von mehreren miteinander verbundenen galvanischen Elementen geliefert (links). Vermutlich wurden Zink-Kohle-Elemente („Bunsen-Elemente“) oder Grovesche Zellen [→ 5.1.7.] verwendet. Die Elektrolyse der zu untersuchenden Flüssigkeit findet in einem Glasrohr statt. Die entstehenden Gase werden an den beiden Elektroden getrennt voneinander aufgefangen und weitergeleitet. Das eine Gas wird zunächst durch einen mit Flüssigkeiten oder Feststoffen gefüllten Kugelapparat geleitet und dabei gereinigt (z.B. Calciumchlorid zur Trocknung). Anschließend kann das Gas in einem Reagenzglas unter Quecksilber (oder einer anderen Flüssigkeit) aufgefangen werden. Das zweite Gas wird zur Reinigung durch mehrere, hintereinander geschaltete Fünfkugelapparate geleitet. Schließlich kann es in einem mit Flüssigkeit gefüllten Eudiometer aufgefangen werden. Das einströmende Gas verdrängt die Flüssigkeit und sammelt sich im oberen Bereich des Glasrohrs. Anhand einer Skala wird das Volumen bestimmt. Das Gas kann anschließend außerhalb des Eudiometers weiter analysiert werden.

Die im Eudiometer befindlichen Elektroden können zur Zündung eines Gasgemisches genutzt werden. Befindet sich z.B. ein Gemisch aus Sauerstoff und einem anderen Gas im Eudiometer, so wird vom rechten Zugang Wasserstoff eingeleitet, ein Funken lässt Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser reagieren (Knallgasreaktion). Das Volumen der übrigen Bestandteile des Gasgemisches lässt sich nun ablesen.

Ob die signierte und mit der Preisangabe von 3 fl. versehene Zeichnung als Vorlage für eine Publikation gedient hat, ließ sich nicht ermitteln.

MS

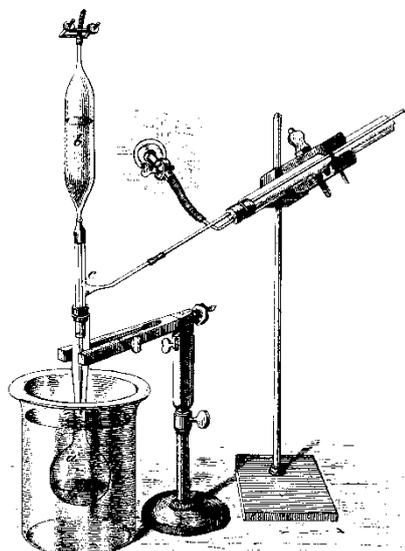
6.1.8. *Analyse von Chlorschwefel*

[*23] Bleistiftzeichnung 42,7 x 32 cm [auf gleichem Bl. wie → 6.1.1., untere Hälfte]; bez.: für Dr. Carius, Apr. [18]57 / linker Teil bez.: H. Dr. Kekulé, 1858 [→ 6.1.9.]

Zusammen mit anderen für Kekulé angefertigten Zeichnungen skizzierte Veith auf diesem Blatt eine Apparatur für Ludwig Carius, der damals als Assistent bei Bunsen am Chemischen Institut versuchte, Licht in die elementare Zusammensetzung des Chlorschwefels – modern: S_2Cl_2 – zu bringen. Dazu untersuchte Carius dessen sehr heftig verlaufende Reaktion mit Alkohol, bei der Salzsäure und Schwefel freigesetzt werden. Die von Carius erhaltenen Formeln sind aus heutiger Sicht nicht haltbar; allerdings sind die Verhältnisse in diesem System kompliziert, da sich elementarer Schwefel in S_2Cl_2 leicht löst und damit eine andere Zusammensetzung vortäuscht.

Der flüssige Chlorschwefel wird in einem langhalsigen Kolben, der in einer Kältemischung steht, vorgelegt. Von oben wird aus einem Glasgefäß über eine ausgezogene

Pipettenspitze Alkohol zugetropft. Aus dem dazwischengeschalteten Destillationsaufsatz entweichen die gasförmigen Reaktionsprodukte (vorwiegend Salzsäure und Chloroethan) und werden im angeschlossenen Rückflusskühler kondensiert. Bis zum Abschluss der Umsetzung weist dieser zunächst aufwärts und lässt das Destillat in den Reaktionskolben zurückfließen; anschließend senkt man diesen ab und fängt das Destillat in einem – hier nicht gezeigten – U-Rohr in einer Kältemischung auf.



Reaktionsgefäß, Lithographie, 11 x 9,5 cm, bez.: Lith. v. S. Reis in Giessen; aus: Ludwig Carius, „Ueber die Chloride des Schwefels“, *Annalen der Chemie und Pharmacie* 106 (1858), 291–336, Taf. I, Fig. 1

Es ist dies einer der wenigen Fälle, in denen Veith Vorzeichnungen für unterschiedliche Auftraggeber auf ein und demselben Blatt aufbewahrte. Bei der Zusammenstellung des Konvoluts hat er solche Blätter später wohl in der Regel zerschnitten und nach den Namen der Auftraggeber abgelegt, was aber bei diesem großen, gefalteten Doppelblatt nicht geschah.

Ludwig Carius, „Ueber die Chloride des Schwefels“, *Annalen der Chemie und Pharmacie* 106 (1858), 291–336, Taf. I, Fig. 1.

CM

6.1.9. Bestimmung der Dampfdichte nach Gay-Lussac und Natanson

[*23] Bleistiftzeichnung 42,7 x 32 cm (auf gleichem Bl. wie → 6.1.1., untere Hälfte); bez.: H. Dr. Kekulé, 1858 / rechter Teil bez.: für Dr. Carius, Apr. [18]57 [s.o. → 6.1.8.]

Die linke Apparatur (1) dient der Bestimmung der Dampfdichte nach Gay-Lussac (Kekulé, S. 50). Ein dünnwandiges Glaskügelchen wird vollständig mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt und zugeschmolzen. Dann wird es in eine graduierte, mit Quecksilber gefüllte Glasglocke gebracht, die in einem mit Quecksilber gefüllten Gefäß aus Eisen steht. Die Glasglocke wird mit einem weiteren Glaszylinder umgeben, den man mit Wasser oder Öl anfüllt. Mit Hilfe eines kleinen Ofens, auf dem die Apparatur steht, wird erhitzt. Durch die Ausdehnung der Flüssigkeit zerbricht zunächst die dünnwandige Glaskugel und die enthaltene Flüssigkeit verwandelt sich bei Erhöhung der Temperatur nach und nach in Dampf. Ein Eisenstab mit Messskala misst den Unterschied des Quecksilberstandes zwischen Innen- und Außenbereich der Glocke. Aus diesem Wert lässt sich dann schließlich, unter Berücksichtigung verschiedener anderer Parameter (Dampfvolumen, Temperatur des Bades und der Luft, Luftdruck), das spezifische Gewicht des Dampfes berechnen. Die beschriebene Methode liefert nur bei Verbindungen, deren Siedepunkt bei maximal 100 °C liegt, zuverlässige Ergebnisse. Bei höheren Tem-

peraturen ist eine gleichmäßige Erwärmung des Wasserbades nicht mehr möglich – und es können sich gesundheitsschädliche Dämpfe entwickeln.

Eine Modifikation der Methode zur Bestimmung des Dampfdrucks bei hohen Temperaturen wurde von Jakob Natanson entwickelt (Abb. 2 bei Veith; Kekulé, S. 52). Statt von unten zu erhitzen, wird bei dieser Methode die Glasglocke von der Seite erwärmt. Um dies zu erreichen, werden zwischen zwei Blechwände, die die Apparatur umgeben, glühende Kohlen gefüllt. Einschnitte in den Blechwänden ermöglichen ein Ablesen des Dampf Volumens im Inneren.

Mit dem voranstehenden Blatt ist dies einer der wenigen Fälle, in denen Veith Vorzeichnungen für unterschiedliche Auftraggeber auf ein und demselben Blatt aufbewahrte.

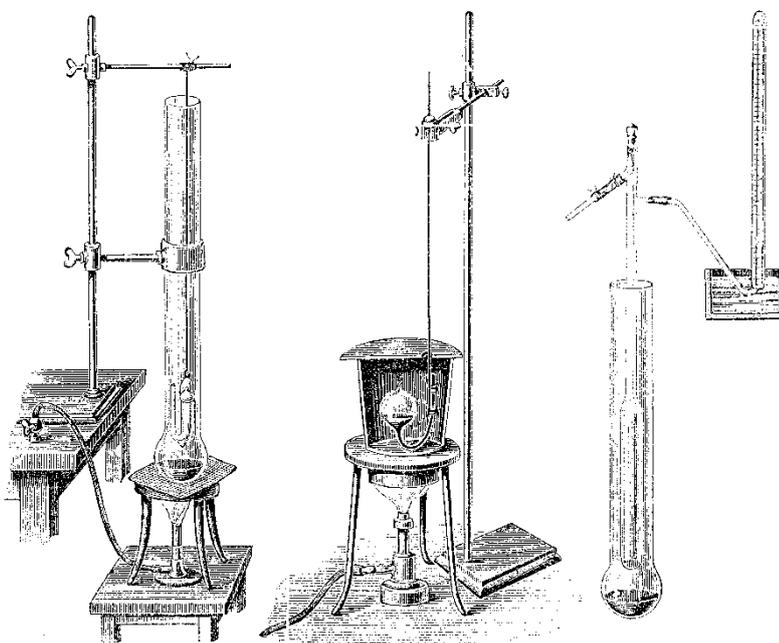
August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1 [1. Lieferung, 1859], Erlangen 1861, 52. – Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 113, Fig. 57, und 116, Fig. 58.

MS

6.1.10. Volumetrische Bestimmung der Molekularmasse

[*35] Bleistiftzeichnung, 18 x 16 cm, bez.: Agst [18]91, Dr. Krafft, rechts! S. 43 / mitte! Roscoe St. 85 / links! Seite 40 [verso: Bleistiftschraffuren, bez.: Realsch. Heidelbg, den 26. Jan.]

Auf der Zeichnung sind drei Apparate abgebildet. Ihr Zweck ist die Bestimmung der Molekularmasse einer Verbindung. Interessant an der Zeichnung sind die mit Bleistift eingetragenen Hinweise auf „rechts!“, „mitte!“ und „links!“ sowie die Seitenzahlen „St. 43“, „Roscoe St. 85“ und „Seite 40“. Sie bezeichnen die Stellen, wo die Abbildungen in Kraffts *Lehrbuch* erscheinen sollten.



Volumetrische Bestimmung der Molekularmasse, Holzstich, aus: Friedrich Krafft, *Kurzes Lehrbuch der Chemie*, Bd 2: *Organische Chemie*, Leipzig, Wien 1893, 32, Fig. 13, 14 u. 15.

Aus den Zustandsgleichungen für ideale Gase lässt sich die Anzahl von Molekülen in einem Gas berechnen, wenn Volumen, Temperatur und Druck bekannt sind. Aus Anzahl der Moleküle und Masse der Probe kann man auf die Molekularmasse schließen.

Die drei hier vorgestellten Apparate wurden von Victor Meyer entwickelt und zur Messung von Druck und Volumen eingesetzt; die Temperatur las man an einem Thermometer ab, womit die drei entscheidenden Variablen definiert waren.

Der rechts stehende Apparat besteht aus einem kleinen U-förmigen Rohr, an dem ein Ende offen und das andere geschlossen ist. Es hängt an einem Faden in einem langen Heizzylinder. Das U-Rohr wird mit Quecksilber gefüllt und verhält sich dementsprechend wie ein Barometer; am geschlossenen Ende bildet sich ein luftleerer Raum, in den die Probesubstanz eingebracht wird. Im kugelförmigen Boden des Heizzylinders befindet sich eine Flüssigkeit, die mit Hilfe eines Bunsenbrenners erhitzt wird. Der aufsteigende Dampf erwärmt das U-Rohr, die darin enthaltene Substanz geht in den gasförmigen Zustand über und verdrängt einen Teil des Quecksilbers durch das offene Ende. Das Volumen des verdrängten Quecksilbers gibt Aussagen über das Volumen, das das Gas eingenommen hat, und über den herrschenden Druck.

Der Apparat in der Mitte funktioniert nach demselben Prinzip. Er wurde bei der Analyse von Substanzen verwendet, bei denen die Siedetemperatur sehr hoch liegt. Um die Probe zu erwärmen wird Schwefel zum Sieden gebracht und der Vorgang in einem geschlossenen Tiegel aus Eisen durchgeführt. Auch hier liefert das Volumen der verdrängten Flüssigkeit Informationen über Druck und Menge des eingeschlossenen Gases.

Die dritte Vorrichtung links funktionierte nach dem Prinzip der Luftverdrängung. Die Substanz wird an der obersten Stelle des mittleren Glasrohrs gehalten, welches mit Dampf erwärmt wird. Nachdem der Apparat eine konstante Temperatur erreicht hat, wird über dem Ansatz an der linken Seite des Rohrs die Substanz freigesetzt, fällt auf den heißen Boden und verdampft. Der Dampf entweicht durch das rechts angeschlossene Glasrohr und wird in einem über Wasser umgestülpten wassergefüllten Messzylinder aufgefangen. An dessen Skala kann das Volumen abgelesen werden. Dabei werden für Temperatur und Druck Raumbedingungen angenommen.

Friedrich Krafft, *Kurzes Lehrbuch der Chemie, Bd 2: Organische Chemie*, Leipzig, Wien 1893, 32, Fig. 13, 14 u. 15.

NS

6.1.11. Molekularmassenbestimmung durch Gefrierpunktserniedrigung

[*36] Bleistiftzeichnung, 20,3 x 17,6 cm, bez.: Agst [18]91, f. Dr. Krafft [verso: Schülerzeichnung eines stilisierten Efeublattes, bez.: Sept [18]88, Gg. Kolb IV.a.]

Die Zeichnung stellt eine Vorrichtung für die Bestimmung der Molekularmasse von gelösten Substanzen dar. Sie ist ein Entwurf für die entsprechende Abbildung in Kraffts *Kurzes Lehrbuch der Chemie* von 1893.

Durch Lösen einer Substanz in einem Lösungsmittel (z.B. Wasser) wird der Gefrierpunkt gesenkt. Der Vergleich der Festpunkte eines Lösungsmittels vor und nach der Zugabe einer Substanz ist das Grundprinzip der hier angewandten Methode. Die Grundlage dafür hatten die Arbeiten des Chemikers François Marie Raoult gelegt. Folgende drei Variablen werden bestimmt: die Gefrierpunktserniedrigung, die eingebrachte Masse des gelösten Stoffes und die für das jeweilige Lösungsmittel charakteristische, empirisch ermittelte Molekulardepression. Letztere gibt an, wie groß die Temperaturerniedrigung (in °C) des Gefrierpunktes ist, wenn in 100 g Flüssigkeit ein Mol einer bestimm-

ten Substanz gelöst wird. Die Molekularmasse des gelösten Stoffes läßt sich aus den drei genannten Variablen berechnen.

Mit Hilfe des Apparats werden die zwei Gefrierpunkte ermittelt, aus denen sich die Gefrierpunktserniedrigung ergibt. Dafür werden in einem langen, reagenzglasförmigen Zylinder außer dem verwendeten Lösungsmittel ein Thermometer und ein Rührer angebracht. Diese ragen in der Zeichnung im oberen Teil heraus. Der Zylinder hat einen seitlichen Ansatz, durch den die zu untersuchende organische Verbindung hinzugefügt wird. Um das Lösungsmittel bis zum Erstarren abzukühlen, befinden sich im äußeren Glaskolben Kühlflüssigkeit und ein Rührer. Ein dritter Glaszylinder verhindert den Kontakt zwischen Kühlflüssigkeit und Probe.

Friedrich Krafft, *Kurzes Lehrbuch der Chemie, Bd 2: Organische Chemie*, Leipzig, Wien 1893, 36, Fig. 16.

NS

6.1.12. Theorie des Schießpulvers

[*5] Bleistiftzeichnung, 21,7 x 30,8 cm, bez.: Hofr. Bunsen (1856)

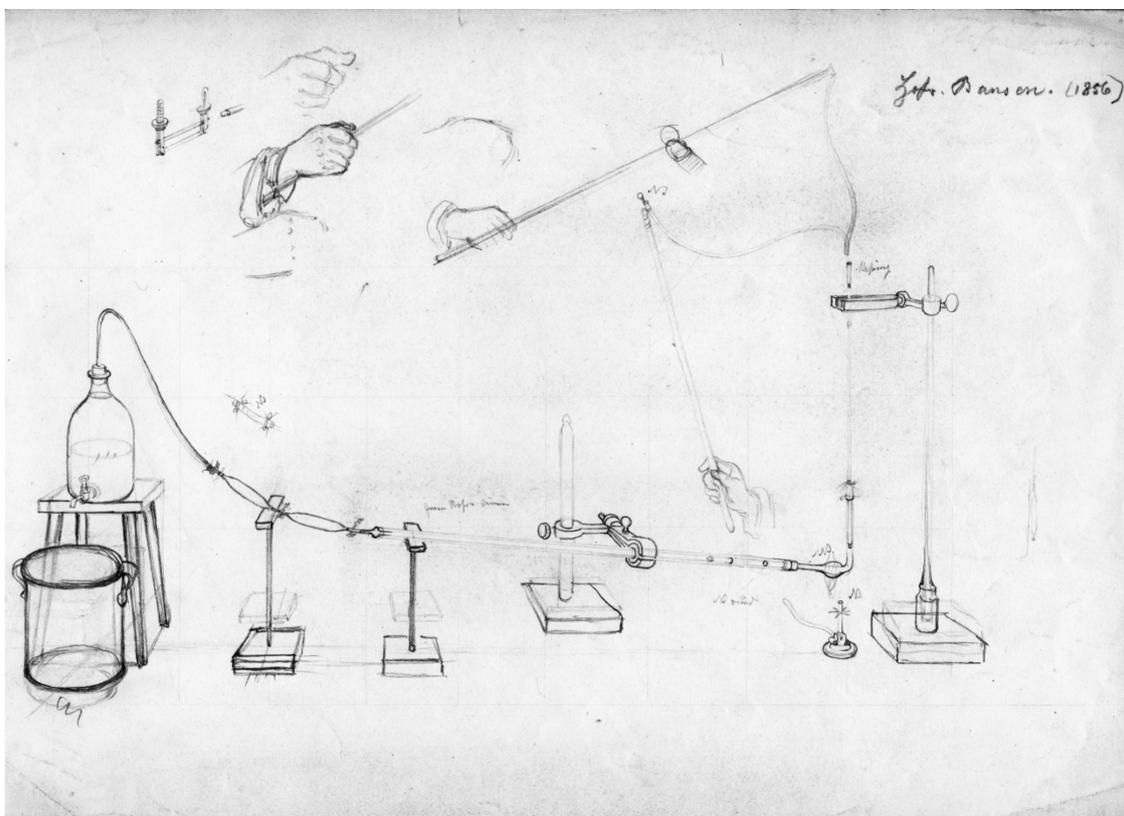
Im Krimkrieg (1853–1856) waren neuartige Hinterladergewehre zum Einsatz gekommen, zu deren Optimierung die Zusammensetzung des Pulvers und die Druckverhältnisse im Gewehrlauf neu bedacht werden mussten, zumal die vorhandenen Druckschätzungen um den Faktor 100 differierten.

Die grundlegenden Untersuchungen auf diesem Gebiet wurden von Bunsen 1857 gemeinsam mit seinem russischen Schüler, dem Artillerieoffizier Leon Schischkov (1830–1908), und vermutlich auf dessen Anregung hin, vorgenommen. Die 1857 in Poggendorffs *Annalen*, der führenden deutschsprachigen Physik-Zeitschrift, publizierte Arbeit gilt auch methodisch als Pionierarbeit, weil sie – in thermodynamischer Perspektive – chemische und physikalische Fragestellungen konsequent miteinander verknüpft. Dieser disziplinübergreifende Ansatz ist zweifellos Bunsens Verdienst. Er verband die chemische Untersuchung der festen und gasförmigen Verbrennungsprodukte mit der physikalischen Bestimmung von Temperatur, Druck und geleisteter Arbeit.

Die Zeichnung zeigt den zur Gewinnung der Verbrennungsprodukte des Schießpulvers dienenden Teil der Apparatur.

Aus einer vulkanisierten Kautschukröhre, die mit Pulver gefüllt und über eine Messinghülse mit feiner Öffnung auf eine lange Glasröhre gesteckt ist, fällt ein dünner Strahl Pulver in eine Glaskugel und wird dort durch einen Bunsenbrenner zur Explosion gebracht. Beim Aufstecken des Kautschukrohres auf die Hülse muss dieses abwärts gehalten werden, um das vorzeitige Herabfallen der Körner zu verhindern. Der Rauch und die festen Verbrennungsprodukte bleiben nahezu vollständig in der Kugel und im langen Röhrenfortsatz zurück und können anschließend gravimetrisch bestimmt werden. Die gasförmigen Produkte werden – zur Verringerung der Explosionsgefahr – von einer als ‚Aspirator‘ ausgelegten Wasserflasche mit Ausfluß über ein langes, ummanteltes Glasrohr angesaugt und in gläserne Ampullen geleitet. Diese werden mit Schlauchklemmen (oben links herausgezeichnet) verschlossen, welche Bunsen damals gerade erfunden hatte, und dann den von Bunsen entwickelten gasanalytischen Verfahren unterworfen.

Aber auch die Sinnesorgane des Experimentators kamen zum Einsatz: Wenn man die aufgefangenen Verbrennungsgase mit dem Mund einsog, schmeckten sie nach Kohlensäure; und wenn man sie durch die Nase entweichen ließ, bemerkte man kaum erkennbare Spuren von Schwefelwasserstoff, sah aber keine roten Dämpfe (nitrose Gase).



Ungewöhnlich ist die in verschiedenen Stellungen gezeichnete Hand des Experimentators, die auch in die publizierte Tafel übernommen wurde. Die Hand führt einen langen Stab, mit dessen Hilfe man die Pulverkapsel in das Fallrohr gibt und damit zugleich einen Sicherheitsabstand zur Explosionskammer herstellt. Denn Bunsen hatte sich beim Experimentieren mehrfach verletzt und dabei sogar ein Auge verloren. So lassen sich die von Veith gezeichneten Hände zugleich als künstlerische Abbeviatur für das große manipulative Geschick lesen, welches derartige Versuche erforderten.

Robert Bunsen u. Leon Schischkoff, „Chemische Theorie des Schießpulvers“, *Annalen der Physik und Chemie* 102 (1857), 322–353. – Robert Bunsen, *Gasometrische Methoden*, Braunschweig 1857, Fig. 13 (Schlauchklemme). – Seymour H. Mauskopf, „Bridging chemistry and physics in the experimental study of gunpowder“, in: *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, hg. v. Frederic L. Holmes u. Trevor L. Levere, Cambridge/Mass. 2000, 335–365.

6.2. DARSTELLUNG VON CHEMISCHEN VERBINDUNGEN

Bereits während seiner Zeit als Heidelberger Privatdozent (1855–1858) hatte Kekulé, ausgehend von seinen neuen theoretischen Ansätzen der Strukturchemie, begonnen, ein *Lehrbuch der Organischen Chemie* zu verfassen, das vom Juni 1859 an in Teillieferungen erschien, und zu dessen erstem Band Friedrich Veith die Abbildungsvorlagen gezeichnet hatte [s.a. → 6. auf S. 82]. Als der erste Band 1861 schließlich fertiggestellt war, war Kekulé bereits Professor für Chemie an der belgischen Staatsuniversität Gent, und die abgerissene Verbindung zu seinem Zeichner könnte erklären, weshalb vom zweiten Band an Abbildungen gänzlich fehlen. Das Lehrbuch erfuhr große Anerkennung unter den Zeitgenossen und hatte einen erheblichen Einfluss auf die weitere Entwicklung der Organischen Chemie. Es blieb jedoch unvollendet; denn aufgrund der rasanten Entwicklung des Faches wäre eine vollkommene Überarbeitung nötig gewesen – und diese Arbeit wollte Kekulé nicht mehr auf sich nehmen.

Drei der von Friedrich Veith in Heidelberg für Kekulé angefertigten Bleistiftzeichnungen zeigen Apparaturen, die zur Darstellung von organischen Verbindungen verwendet werden können. Die im Folgenden vorgenommene Beschreibung folgt den Ausführungen in Kekulés *Lehrbuch*, auch wenn – und das ist wohl eine Eigenheit chemischer Apparaturen – die gleichen Aufbauten auch für andere Zwecke benutzt werden können.

August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1, Erlangen 1861. – Richard Anschütz, *August Kekulé: Leben und Wirken*, Bd 1, Berlin 1929, 156–165.

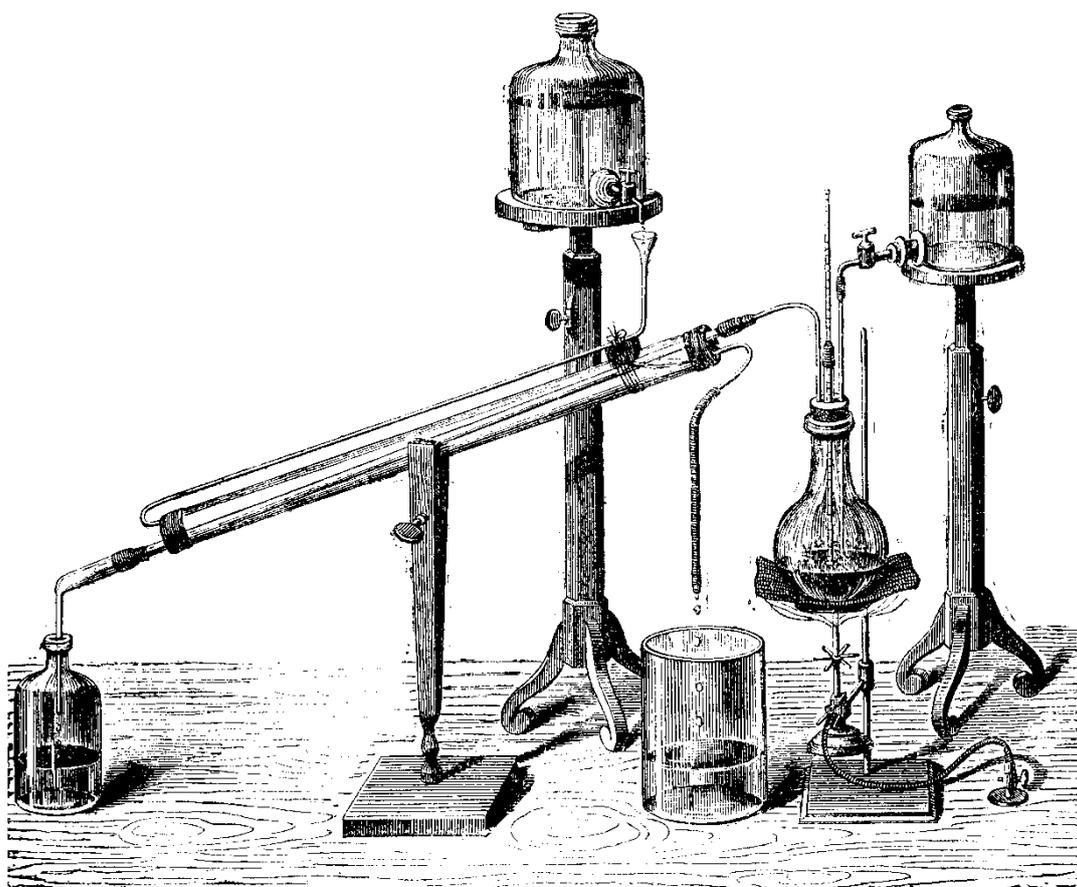
MS

6.2.1. Apparatur zur Darstellung von Ethylether

[*26] Bleistiftzeichnung, 20,5 x 27,7 cm; bez.: H. Dr. Kekulé 1858 / Vth

Die von Veith signierte Zeichnung einer Destillationsapparatur diene offensichtlich als Vorstudie für eine Abbildung, die im ersten Band von Kekulés *Lehrbuch der Organischen Chemie* im Kapitel „Aethylverbindungen“ zu finden ist. Kekulé beschreibt anhand der Zeichnung die „Methode der continuirlichen Aetherbereitung“, bei der sich die Alkoholmoleküle unter Wasserabspaltung (Kondensation) zu Ether verbinden.

In einem Kolben wird mit einem Gasbrenner (Bunsenbrenner) ein Gemisch aus Schwefelsäure und Alkohol erhitzt. Sobald das in die Flüssigkeit eintauchende Thermometer 140 °C anzeigt, gibt man aus dem auf der rechten Seite auf einem Stativ stehenden Vorratsgefäß über ein Rohr Alkohol zu, so dass der Flüssigkeitspegel im Kolben konstant bleibt. Neben dem Kolben hat Veith handschriftlich vermerkt: „N[ota] B[ene:] Blasen“. Um das gasförmige Reaktionsprodukt zu kondensieren, setzt man einen Rückflusskühler (Liebigkühler) ein, der damals noch nicht aus einem Stück bestand, sondern aus zwei ineinander geschobenen, mit Kork- oder Kautschukstopfen fixierten Glasrohren. Aus einem Vorratsbehälter wird von oben kontinuierlich Wasser durch die Röhre des Kühlers geleitet. Das Wasser wird unten in einem Becherglas aufgefangen. Das Destillat kondensiert im Kühler und fließt in die Glasflasche, um anschließend noch weiter aufgereinigt zu werden.



Reaktionsapparatur zur Darstellung von Ethylether, Holzstich aus: August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1 [2. Lieferung, Herbst 1860], Erlangen 1861, 409.

MS

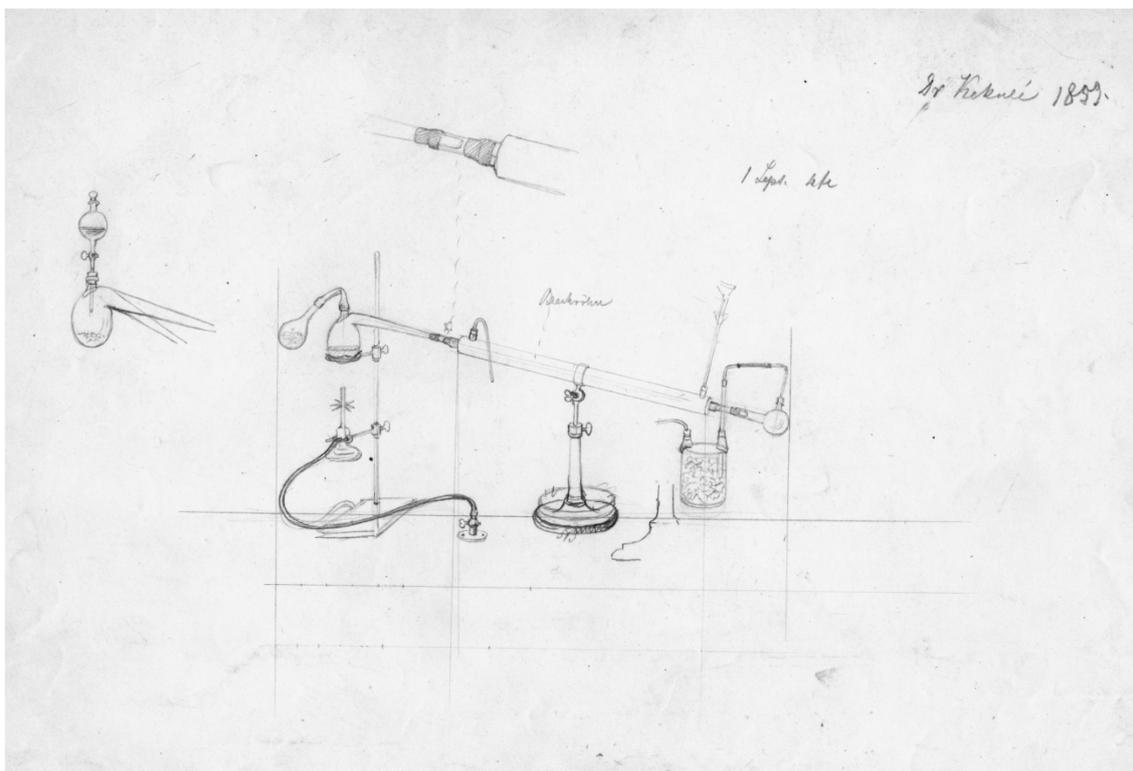
6.2.2. Apparatur zur Darstellung von Acetylchlorid

[*27] Bleistiftzeichnung, 21,9 x 30,1 cm; bez.: Dr. Kekulé 1859 / 1. Sept

Die Zeichnung zeigt eine Destillationsapparatur. Es handelt sich dabei offensichtlich um eine Vorstudie für zwei Abbildungen, die in Kekulé's *Lehrbuch der Organischen Chemie* (Bd 1) im Kapitel „Acetylverbindungen“ zu finden sind. Bei den Zeichnungen im *Lehrbuch* handelt es sich um Varianten der Apparatur, die sich durch das auf den Reaktionskolben aufgesetzte Kölbchen unterscheiden. Der alternative Aufsatz ist auf der Zeichnung von Veith auf der linken Seite neben der Apparatur zu sehen. Darüber befindet sich eine Detailzeichnung des Verbindungsstücks zwischen Kolben und Rückflusskühler. Kekulé beschreibt anhand der Zeichnungen die Darstellung von Acetylchlorid.

Für die Synthese von Acetylchlorid können verschiedene Ausgangsverbindungen verwendet werden. In der Retorte auf der linken Seite der Apparatur lässt man z.B. Essigsäure aus dem aufgesetzten Glaskölbchen (Variation ganz links bei Veith bzw. obere Abbildung im Lehrbuch) auf Phosphorpentachlorid tropfen. Alternativ kann auch ein essigsäures Salz verwendet werden. In diesem Fall wird ein Glaskölbchen mit Kaut-

schukschlauch verwendet (links als Teil der gezeigten Gesamtapparatur bei Veith bzw. untere Abbildung im *Lehrbuch*). Durch wiederholtes Anheben des Kölbchens lässt man das Salz nach und nach in die Retorte fallen. Senkt man das Kölbchen wieder, bildet der Kautschukschlauch einen dichten Verschluss zum Reaktionsgefäß. Das Reaktionsgemisch wird mit einem Gasbrenner erhitzt. Das entstehende Acetylchlorid kondensiert im Rückflusskühler und sammelt sich in einem Kolben auf der rechten Seite der Apparatur. Die entstehende Salzsäure wird in einer mit Kalk gefüllten Flasche aufgefangen. Da die bei der Reaktion entweichenden Dämpfe die Atemwege angreifen, muss darauf geachtet werden, dass die Apparatur vollständig abgeschlossen ist.



Bemerkenswert ist, dass die beiden alternativen Aufbauten in Kekulé's *Lehrbuch* jeweils komplett dargestellt sind, während Veith in seiner Vorzeichnung der Einfachheit halber den alternativen Retortenaufsatz lediglich andeutet.

August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1, Erlangen 1861, 549–590, Abb. auf S. 569.

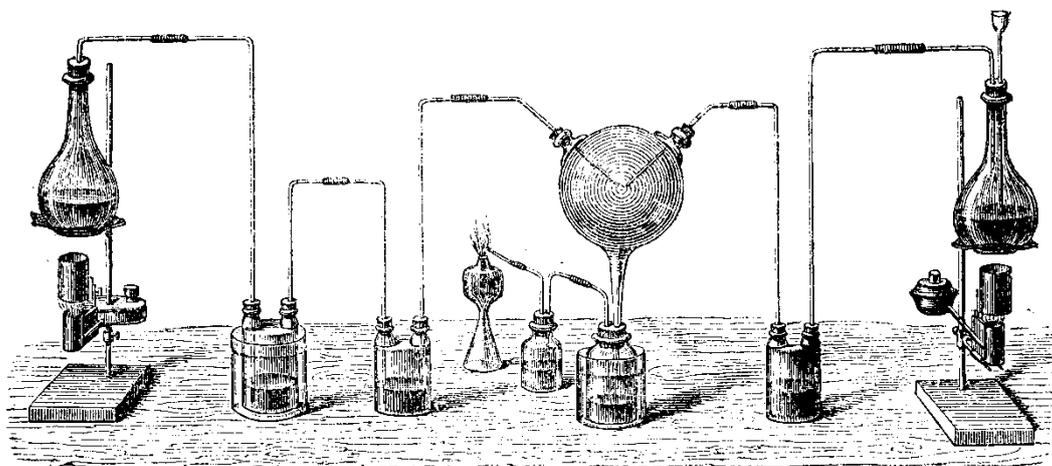
MS

6.2.3. Apparatur zur Darstellung von Ethylenchlorid

[*28] Bleistiftzeichnung, 22 x 27,5 cm; bez.: H. Dr. Kekulé 1858 [verso: zwei flüchtige Skizzen für Destillationsvorrichtungen, eine davon offenbar Entwurf für → 6.3.3.]

Die gezeichneten Komponenten sind Bestandteile einer Apparatur, die für die Darstellung von Ethylenchlorid aus Ethen und Chlorgas genutzt werden kann. Es handelt sich um eine so genannte Additionsreaktion. Unter Auflösung der Doppelbindung geht jedes Kohlenstoffatom des Ethens eine Bindung mit einem Chloratom ein. Kekulé's *Lehrbuch der Organischen Chemie* (Bd 1) zeigt die fertig zusammengestellte Versuchsanordnung

im Kapitel „Aethylenderivate“. Wie auch bei anderen Blättern hat der Zeichner Friedrich Veith hier den modularen Aufbau solcher Apparaturen in sein Verfahren der Bildkomposition übernommen.

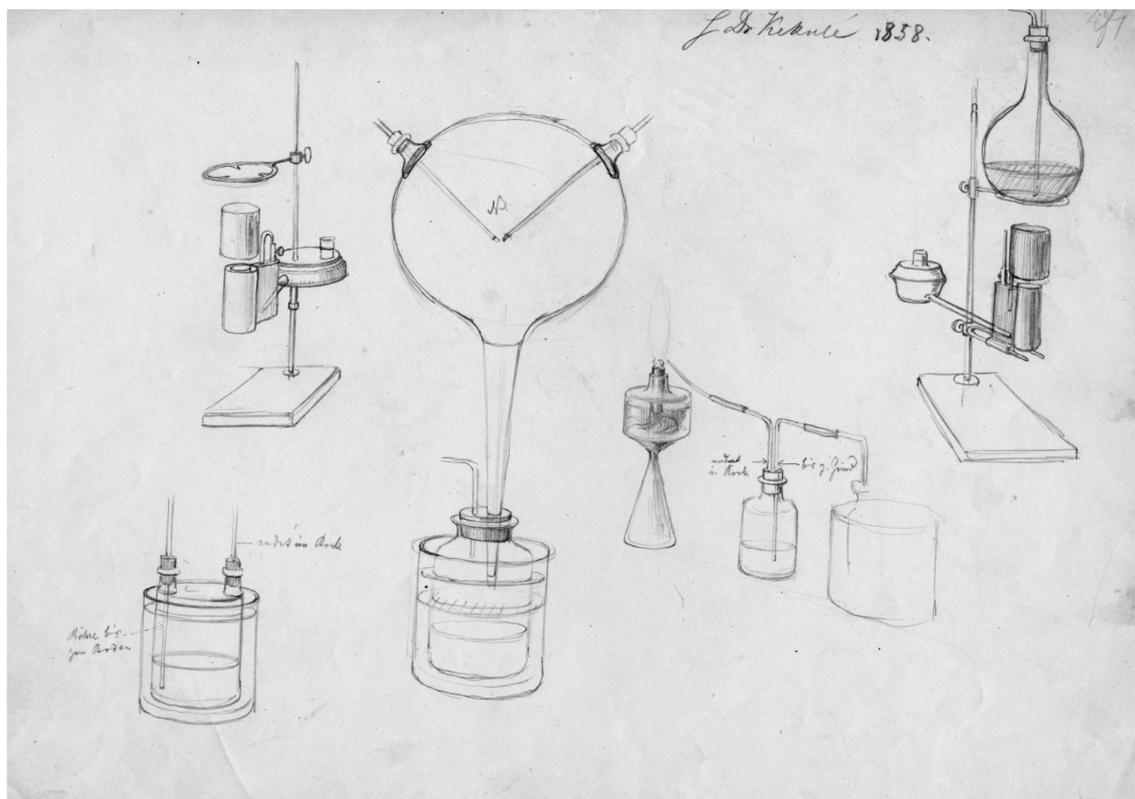


Reaktionsapparatur, Holzstich aus: August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd 1 [3. Lieferung 1861], Erlangen 1861, 638.

Man leitet Chlorgas und Aethylen (Ethen) über zwei dünne Röhren in einen Glasballon. Die beiden Gase reagieren unter Bildung von flüssigem Aethylenchlorid (Ethylen-dichlorid/1,2-Dichlorethan, $C_2H_4Cl_2$), das in einer Flasche aufgefangen wird. Das nicht zur Reaktion gekommene Gas wird durch eine Waschflasche geleitet. Das Chlorgas reagiert mit der darin befindlichen Flüssigkeit (z.B. Natronlauge) und ist somit gebunden, das Ethen wird weitergeleitet und an einer Öl- oder Spirituslampe verbrannt. Chemisch ist das Ganze nicht sonderlich interessant und war vielleicht als Demonstrationsversuch für die Vorlesung gedacht.

Historisch interessanter sind die dargestellten Heizquellen. Bis zur Einführung von Stadtgas seit der Mitte des 19. Jahrhunderts waren Öl- oder Spiritusbrenner neben Holzkohleöfen die wichtigsten Wärmequellen in Laboratorien. Neben der offenen Flamme (Mitte) verwendete man Lampen mit zylindrischem Docht und einer zentralen Luftzufuhr, die für bessere Verbrennung sorgte. Diesen Bautyp hatte François Pierre Argand 1780 erfunden; seit 1784 war er durch ein englisches Patent geschützt. Zusätzlich verhindert ein aufgesetzter zylindrischer Schornstein das Flackern der Flamme. In der links gezeigten Version läßt sich das dosenförmige Spiritusreservoir auf dem Stativ verschieben, die Flamme hat einen festen Abstand zum Stativ. Das Reservoir der rechten Variante ist an einem längeren Metallrohr angebracht und gleicht so das Gewicht des Brenners aus. Dieser ist auf einer am Stativ befestigten Gabel verschiebbar, so dass die Flamme genau unter dem Kolben positioniert werden kann. Bei beiden Brennern lässt sich der Spalt zwischen Brenner und aufgesetztem Zylinder regulieren.

August Kekulé, *Lehrbuch der Organischen Chemie oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, Bd. 1, Erlangen 1861, 637–638, Abb. auf S. 638. – R.G.W. Anderson, *The Playfair Collection and the Teaching of Chemistry at the University of Edinburgh, 1713–1858*, Edinburgh 1978, 101–102.



[*28] Bleistiftzeichnung, 22 x 27,5 cm; bez.: H. Dr. Kekulé 1858 [→ 6.2.3.].

6.2.4. Reduktionsapparatur

[*29] Bleistiftzeichnung, 42,3 x 30,6 cm [auf gefaltetem Bogen mit 6.3.2.]; bez.: für Dr. Kekulé 1858

Mit der Apparatur können Reduktionen mit Wasserstoffgas durchgeführt werden. Wahrscheinlich wurde sie von Kekulé in seiner Vorlesung zur Organischen Chemie für Demonstrationsversuche verwendet. Der linke Teil der Apparatur dient der Herstellung des Gases. In der horizontalen Reaktionsröhre reagiert dieses dann mit einer anderen Verbindung zum Endprodukt, das dann rechts im Eisbad in einem U-Rohr aufgefangen wird (flüssiges Produkt) oder aus dessen Öffnung entweicht (gasförmiges Produkt).

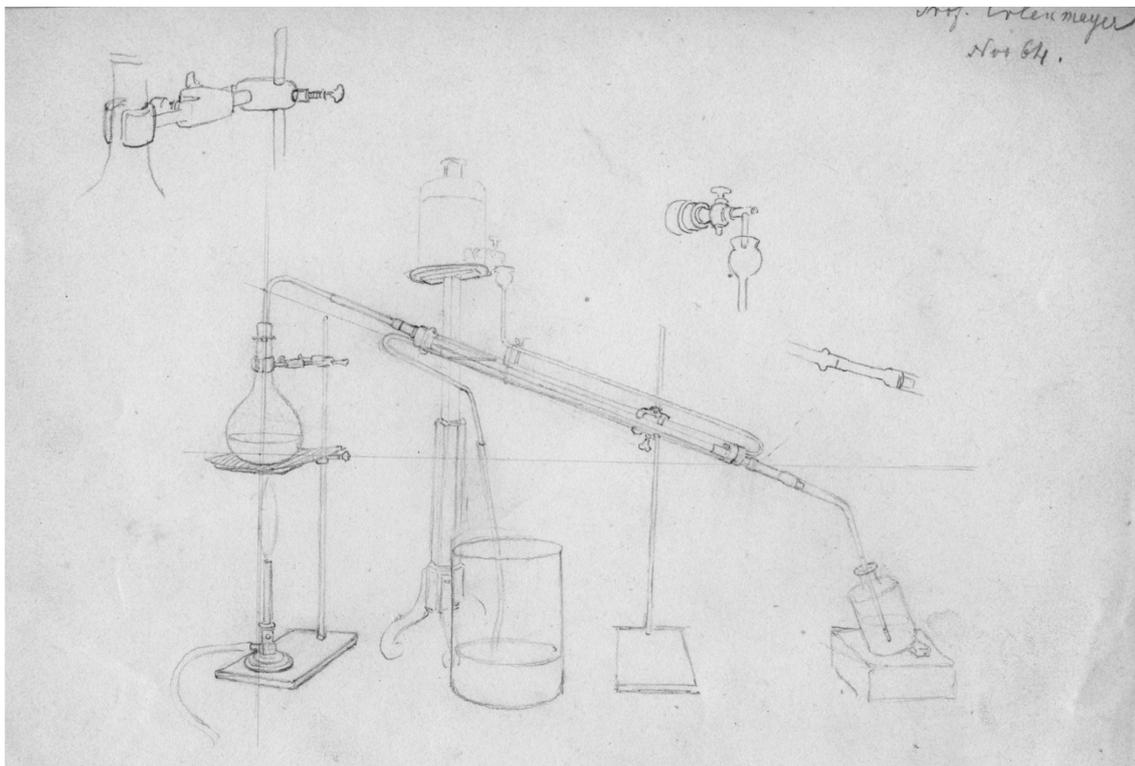
Die Apparatur eignet sich z.B. für die Synthese von Wasser. Der Bereich links vom Reaktionsrohr dient in diesem Fall der kontinuierlichen Wasserstoffproduktion. Man tropft langsam eine Säure (z.B. Schwefelsäure) in den linken Glasbehälter, der Wasser und Zinkspäne enthält. Das freiwerdende Wasserstoffgas steigt nach oben, Flüssigkeitströpfchen werden in einer mit Watte oder Glaswolle gefüllten Kugel zurückgehalten. Im daran angeschlossenen Chlorcalciumrohr wird das Wasserstoffgas getrocknet. In der horizontalen Reaktionsröhre, die von unten mit einem Gasbrenner erhitzt wird, befindet sich ein Oxid (z.B. Kupferoxid), das den Wasserstoff zu Wasser oxidiert. Der Wasserdampf kondensiert rechts in einem mit Eis gekühlten U-Rohr zu Wasser und kann durch den unteren Ablauf in einem Kolben gesammelt werden. Ob die Zeichnung als Vorlage für eine Publikation gedient hat, ließ sich nicht ermitteln.

6.2.5. Apparatur zur Darstellung von Äther nach Boullay und 6.2.6. Detail des Reaktionsgefäßes

[*17] Bleistiftzeichnung, 18,1 x 23,4 cm; bez.: Prof. Erlenmeyer, Nov [18]64;

[*18] Bleistiftzeichnung, 22,6 x 15 cm; bez.: Prof. Erlenmeyer, Agt [18]66 [verso: → 6.3.4.]

Es handelt sich um eine Destillationsapparatur zur Darstellung von Äther nach dem Verfahren des Pariser Apothekers Polydore Boullay (1806–1835). Im linken Kolben, der im Stativ auf dem – von Erlenmeyer in die Labortechnik eingeführten – Asbestnetz steht, wird über einem Bunsenbrenner ein Gemisch aus Schwefelsäure und Weingeist erhitzt und in dem in der Mitte abgebildeten Rückflusskühler kondensiert. Da in den Laboratorien noch nicht überall fließendes Wasser zur Verfügung stand, musste das Kühlwasser aus einem eigenen, erhöht aufgestellten Behälter eingeleitet und in einem Becherglas aufgefangen werden. Der abdestillierte, im Kühler kondensierte Äther wird in einer Glasflasche aufgefangen. Auffallend an der Zeichnung sind einige hervorgehobene Details: die Halteklammer, die sich kaum von den heute gebräuchlichen unterscheidet, die Schlauchverbindung, da zur damaligen Zeit die Abdichtung ein großes Problem war, und der Hahn des Kühlwasserbehälters.



Die Zeichnung diente augenscheinlich als Vorlage für Erlenmeyers *Lehrbuch der Organischen Chemie* von 1883, wobei im Lehrbuch der linke Teil der Zeichnung mit Glaskolben und Bunsenbrenner durch eine offenbar verbesserte Konstruktion ersetzt wurde, zu der sich ebenfalls die Vorzeichnung [→ 6.2.6.] erhalten hat. In dieser werden auf den Kolben eine mit Weingeist gefüllte Kugelhahnbürette und ein Thermometer aufgesteckt. Laut Versuchsbeschreibung soll das Destillationsgemisch unter Temperaturkontrolle mit Weingeist aufgefüllt werden, um eine maximale Ätherausbeute zu erreichen.

Emil Erlenmeyer, *Lehrbuch der Organischen Chemie*, Bd 1, Leipzig 1883, 276–278, Abb. auf S. 277.

6.3. *LABORTECHNIK*

Bis ins frühe 20. Jahrhundert hinein lassen sich signifikante Unterschiede zwischen den Apparaten und Gerätschaften der Chemie und denen aus der Physik ausmachen. Ging es den Physikern – vereinfachend gesprochen – primär um die Hervorbringung oder Messung bestimmter Effekte, so war – genauso pauschal gesagt – zentrales Anliegen der Chemiker, Ausgangsstoffe geeigneten Verfahren zu unterwerfen, um Stoffe mit gewünschten Eigenschaften zu produzieren. Die Chemie ist eine herstellende Wissenschaft. Während Instrumente wie Elektrisiermaschine und Vakuumpumpe als prototypische Instrumente der Physik gelten dürfen; folgten viele chemische Gerätschaften eher einer Typologie, die schon Andreas Libavius in der frühesten systematischen Abhandlung zu diesem Gegenstand, seiner *De sceuastica artis* von 1606, geschaffen hatte: der Einteilung in ‚Öfen‘ und ‚Gefäße‘. Dazu ist anzumerken, dass die Wissenschafts- und Instrumentengeschichte Ansätze einer historisch fundierten Systematik zwar für physikalische und Messinstrumente entwickelt hat, entsprechende Versuche für chemische Apparaturen aber fehlen. Dies mag mit bestimmten Eigenarten chemischer Gerätschaften zu tun haben.

Da ist zum einen ihr verblüffender Traditionalismus der Form. Über Jahrhunderte hinweg haben sich die Grundformen von Öfen, Retorten, Kolben, Kühlvorrichtungen und Flaschen kaum verändert – Grundformen, die ihrerseits auf sehr viel ältere Praxiserfahrungen zurückgehen und damit deutlich älter sind als die wissenschaftliche Chemie. Die Geschichte der Laboratoriumstechnik bietet zahllose Beispiele für die ganz allmähliche Entwicklung von Apparaturen und Geräten über sehr lange Zeiträume hinweg. Dieser Traditionalismus hat seinen Grund nicht zuletzt darin, dass chemische Apparaturen häufig eher unspezifisch sind, d.h. das gleiche Verfahren, wie etwa eine Destillation oder eine Verbrennungsreaktion, sich in recht unterschiedlichen Apparaturen durchführen lassen, die zwar diesem oder jenem Zweck besonders gut angepasst sein mögen, doch selten so, dass eine Apparatur ausschließlich für ein und denselben Prozess genutzt werden kann. Überliefert ist der Berzelius zugeschriebene Satz: „Wer mit einem Zwickbohrer nicht sägen und mit einer Säge nicht zwickbohren kann, soll kein Chemiker werden.“ Damit einher geht der Befund, dass chemische Apparaturen häufig gewissermaßen modular aufgebaut sind, d.h. aus unterschiedlichen und in gewissen Grenzen austausch- und variierbaren Komponenten bestehen. Zu den traditionellen Merkmalen chemischer Apparaturen gehört, dass sie meist aus schlichten – und vergänglichen! – Materialien wie Keramik und Glas bestanden, während physikalische Instrumente gelegentlich sogar in Mahagoni und Messing prunkten. Entsprechend gering fällt der Bestand an historischen chemischen Gerätschaften in Museen und Sammlungen aus.

Das soll nicht heißen, dass Veränderungen und Fortschritte in der Chemie nicht von der Entwicklung der Gerätschaften und Werkzeuge abhängig gewesen seien. Im Gegenteil. Nur waren die Innovationen auf diesem Gebiet selten so spektakulär wie im Fall der Voltaschen Säule, die den Anstoß zur Elektrochemie gab, oder des Spektroskops von Bunsen und Kirchhoff, das das Tor öffnete zur chemischen Erforschung der Himmelskörper. Selbst Liebig's Apparatur für die Elementaranalyse, eine der folgenreichsten Neuerungen in der Chemie des 19. Jahrhunderts, war im Grunde eine Fortentwicklung und Miniaturisierung bereits etablierter Verfahren, ihr eigentlicher Clou, der Fünfku-gelapparat, eher eine glasbläserische und verfahrenstechnische denn theoretische Leistung.

Schaut man genauer hin – und die Zeichnungen Veiths lehren uns das genaue Hinsehen! –, dann zeigt sich, dass es oft gänzlich unspektakuläre technische Innovationen waren, von denen das Gelingen eines Versuchs abhing. So unspektakulär, dass sie meist nicht einmal publiziert wurden, sondern in den Bestand unproblematischer Werkzeuge der Wissenschaft eingingen, die man bei der Arbeit im Labor und nicht aus der Lektüre von Veröffentlichungen kennenlernt. Veith war sich dieser Tatsache offenbar bewusst oder wurde von seinen Auftraggebern gebeten, gezielt auf solche Details zu achten: auf die Kautschukröhrchen und -stopfen zur Verbindung von Glasrohren, Stative und Halterungen oder bestimmte Verbindungsstücke. Gerade Bunsen ist bekannt dafür, die Wissenschaft mit einer ganzen Reihe solcher schlichten, aber folgenreichen Erfindungen bereichert zu haben: Der Quetschhahn [→ 5.2.6.], die Schlauchklemme [→ 6.1.12.], die Wasserstrahlpumpe [→ 6.3.8.] und natürlich der Bunsenbrenner [→ 6.3.1.] werden ihm zugeschrieben. Ob derartige Innovationen tatsächlich immer auf diejenigen Forscher zurückgehen, unter deren Namen sie überliefert sind, oder nicht doch eher von namenlos gebliebenen Assistenten, Mechanikern oder Instrumentenbauern in ihrem Umfeld, ist schwer zu entscheiden. Der Forschungsprozess hat viele Mitakteure. Was aber von den textlichen Kommunikations- und Rezeptionswegen der Wissenschaft ausgeblendet wurde, lässt sich über die Zeugnisse der visuellen Kommunikation zum Teil wieder aufspüren, wenn wir denn gelernt haben, solche Spuren zu deuten – und Quellen besitzen wie die Skizzen des Heidelberger Universitäts-Zeichenlehrers Friedrich Veith.

Frederic L. Holmes u. Trevor L. Levere (Hg.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, Cambridge/Mass. 2000. – Christoph Meinel (Hg.), *Instrument – Experiment: Historische Studien*, Diepholz u. Berlin 2000. – Albert van Helden u. Thomas Hankins, „Instruments in the history of science“, *Osiris* 9 (1994), 1–6.

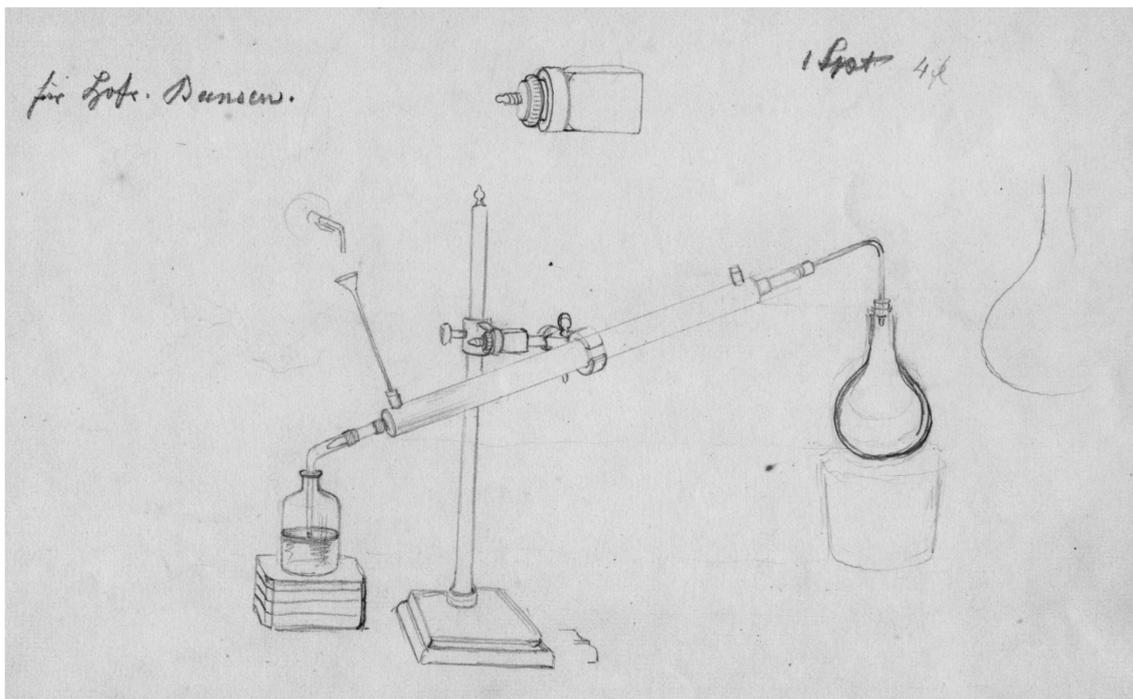
CM

6.3.1. Halterung für einen Rückflusskühler

[*4] Bleistiftzeichnung, 17 x 26,9 cm; bez.: für Hofr. Bunsen, 1. Spt [o.J.]

Die Zeichnung zeigt einen Rückflusskühler, der – anders als die anderen Liebigkühler auf den Zeichnungen von Veith – einen äußeren Mantel aus Blech besitzt und wohl auch schon aus dem Hahn einer fest installierten Wasserleitung gespeist wird. Rechts erhöht steht ein Kolben auf einem Heizbad, links wird das Destillat in einer Flasche aufgefangen.

Worum es dem Zeichner dieser völlig unspektakulären Apparatur ging, war offenbar die – noch einmal vergrößert herausgezeichnete – spezielle Halterung des Kühlers, bei der die – offenbar hölzerne – Stativklemme mit einer Holzschraube und Rändelmutter seitlich in die Halterung des Stativs eingeschoben und fixiert werden konnte. Möglicherweise handelt es sich bei dieser Halterung, die sich ähnlich auch auf einem 1856 für Bunsen gezeichneten Blatt [→ 6.1.12.] findet, um eine von Bunsen eingeführte Verbesserung der üblichen Berzeliusschen Retortenthaler, die seit den 1830er Jahren auch im Instrumentenhandel erhältlich waren. Die gezeigte Ausführung aus Holz stellt gewissermaßen den Prototyp dar für entsprechende metallene Halteklammern, wie sie in unserem Bestand 1866 in einer Zeichnung für Erlenmeyer [→ 6.3.5.] auftauchen. Zuvor wurden meist gepolsterte Holzgabeln, deren flache Schenkel mit einer Schraube zusammengedrückt wurden, als Halterungen verwandt [→ 6.2.1., → 6.3.3.].



Publiziert wurden und werden solche kleinen Erfindungen in der Regel nicht. Sie sind Teil des impliziten Handlungswissens, das zunächst nur lokal verfügbar ist und vor Ort und beim Experimentieren erlernt werden muss, bevor es durch Migration der Akteure und später durch kommerzielle Hersteller universalisiert wird. Viele solcher kleinen Innovationen dürften über den Heidelberger Universitäts-Mechaniker Peter Desaga (1812–1879) bekannt gemacht worden sein, der seit 1840 eine Stelle als Konservator des „Modellen-Cabinets“, d.h. der physikalisch-mathematischen Sammlung der Universität, innehatte und nebenbei ein florierendes „Geschäft optischer und chemischer Apparate“ betrieb, für das er 1855 von Bunsen die Vertriebsrechte für den Bunsenbrenner bekam.

Georg Lockemann, „The centenary of the Bunsen burner“, *Journal of Chemical Education* 33 (1956), 20–22. – Paul Dolch, „Hundert Jahre Bunsenbrenner: Eine chemiegeschichtliche Studie“, *Österreichische Chemiker-Zeitung* 56 (1955), H. 19/20, 277–285. – R.G.W. Anderson, *The Playfair Collection and the Teaching of Chemistry at the University of Edinburgh, 1713–1858*, Edinburgh 1978, 105–106.

CM

6.3.2. Destillationsapparatur

[*29] Bleistiftzeichnung, 42,3 x 30,6 cm [auf gefaltetem Bogen mit 6.2.4.]; bez.: für Herrn Prof. Kekulé 1856

Die Zeichnung zeigt eine einfache Destillationsapparatur, bei der eine etwas altertümlich anmutende Retorte als Destillationsgefäß zum Einsatz kommt. Diese wird auf einem tonernen Tiegelofen erhitzt, in den glühende Holzkohlestücke eingebracht werden. Das Destillat wird rechts in einem Kolben aufgefangen, der in einem Wasser- oder Eisbad gekühlt wird. Destillationen werden eingesetzt, um Flüssigkeitsgemische mit unterschiedlichen Siedepunkten oder Flüssigkeiten und Feststoffe voneinander zu trennen. Es handelt sich um eine Versuchsanordnung, die bei sehr vielen Experimenten eingesetzt werden kann, eine Zuordnung zu einer bestimmten Synthese oder Analyse ist nicht

möglich. Ob die Zeichnung als Vorlage für eine Publikation gedient hat, ließ sich nicht ermitteln.

Rechts davon die durch Beischriften erläuterte Detailzeichnung eines nicht näher zuzuordnenden Verschlusses für ein offenbar thermisch isoliertes Reaktionsgefäß aus Kupfer mit Ölbad in einem Mantel aus Weißblech.

MS

6.3.3. *Destillationsapparatur*

[*30] Bleistiftzeichnung, 21,8 x 30,3 cm; bez.: Dr. Kekulé 1859, 1. Sept, 4 fl.

Das Erhitzen in dieser Apparatur erfolgt durch einen Gasbrenner (Bunsenbrenner). Auf dem Destillierkolben, der in einem Öl- oder Wasserbad steht, befindet sich ein Aufsatz, der das Einbringen eines Thermometers erlaubt, um die Temperatur des aufsteigenden Dampfes zu kontrollieren. Außerdem stellt der Aufsatz eine Verbindung zu einem Rückflusskühler her. Aus einem hochstehenden Vorratsbehälter fließt Wasser im Gegenstromprinzip durch den Rückflusskühler. Das Wasser wird unten in einem Becherglas wieder aufgefangen. Durch die Kühlung wird das Kondensieren des Dampfes beschleunigt, und das Destillat läuft in eine Flasche. Die umständliche Art der Wasserkühlung deutet darauf hin, dass Kekulés Heidelberger Privatlabor damals noch nicht über Wasserleitungen verfügte.

Die Zeichnung, zu der auf der Rückseite eines anderen Blattes [→ 6.2.3.] eine flüchtige Vorzeichnung existiert, weist Gitterlinien auf, die wohl zur maßstäblichen Übertragung auf ein anderes Format dienen. Die Zu- und Abflussbehälter für das Kühlwasser sind in der Zeichnung nachträglich durchgestrichen, wohl weil sie in die Reinzeichnung nicht übernommen werden sollten. Eine publizierte Abbildung dieser Apparatur ließ sich in den Arbeiten Kekulés jedoch nicht auffinden.

MS

6.3.4. *Detail einer Destillationsapparatur*

[*18] Bleistiftzeichnung, 15 x 22,6 cm; bez.: Prof. Erlenmeyer, Apr [18]66, überschrieben mit: Prof. Erlenmeyer 1864 [verso: → 6.3.2.]

Über einem Bunsenbrenner wird eine an einem Stativ befestigte Retorte erhitzt, die in einen weiten Glastrichter mündet, der auf einem Rückflusskühler steckt; unter diesem befindet sich ein Becherglas, um das Kühlwasser aufzufangen. Das von Erlenmeyer in die chemische Labortechnik eingeführte Asbestnetz verhindert, dass die heiße Flamme des Brenners direkt auf den Glaskolben trifft und diesen punktuell erhitzt.

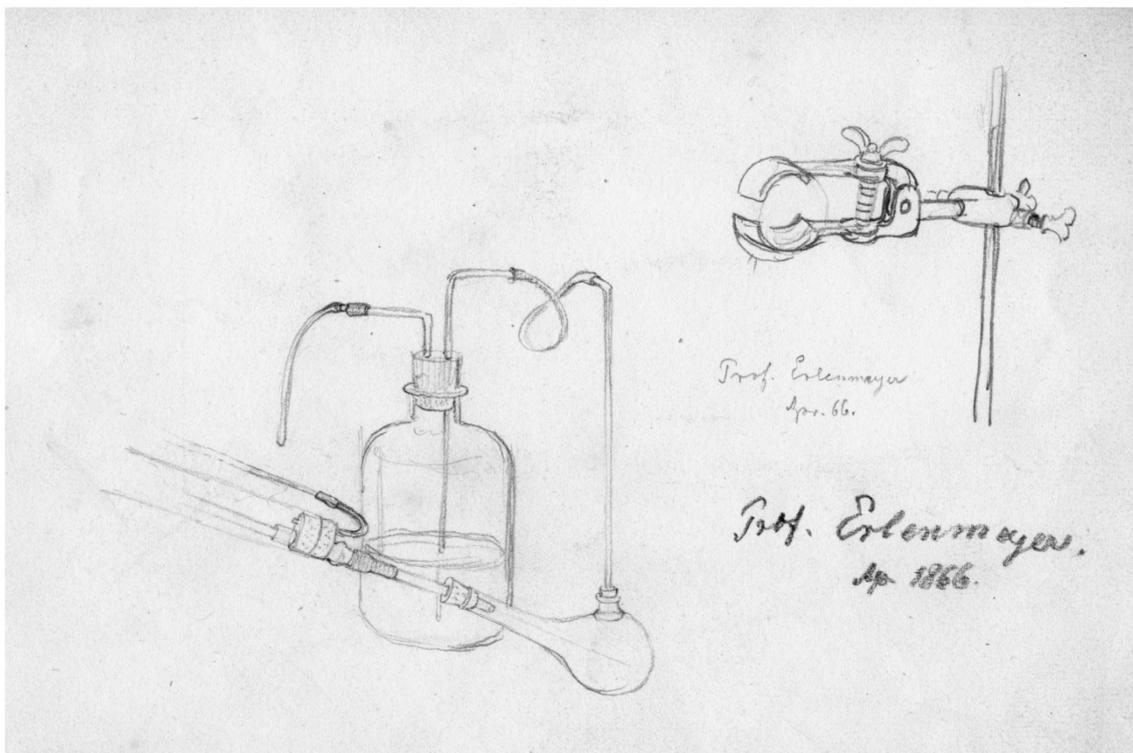
Zu welchem Zweck die Zeichnung angefertigt wurde, ließ sich nicht ermitteln. Es könnte sich jedoch um die obere Hälfte der auf einem anderen Blatt für Erlenmeyer gezeichneten Destillationsapparatur [→ 6.3.5.] handeln.

MM

6.3.5. Details einer Destillationsapparatur

[*19] Bleistiftzeichnung, 15,5 x 22,3 cm; bez.: Prof. Erlenmeyer Apr. [18]66 / Prof. Erlenmeyer Apr. 1866 [verso: Skizzen von zwei Liebig'schen Fünfkugelapparaten und Verbrennungsröhren]

Ein Liebigkühler mündet, mit einem Korken verbunden, in einen Kugelkolben. An diesem ist oberseitig ein Steigrohr angeschlossen, das über eine flexible Schlauchschleife in eine mit Flüssigkeit gefüllte Waschflasche mündet. Am Ausgang der Waschflasche befindet sich an einem Glasrohr ein Schlauch, der vermutlich als Anschluss, z.B. für eine Wasserstrahlpumpe, gedient hat.



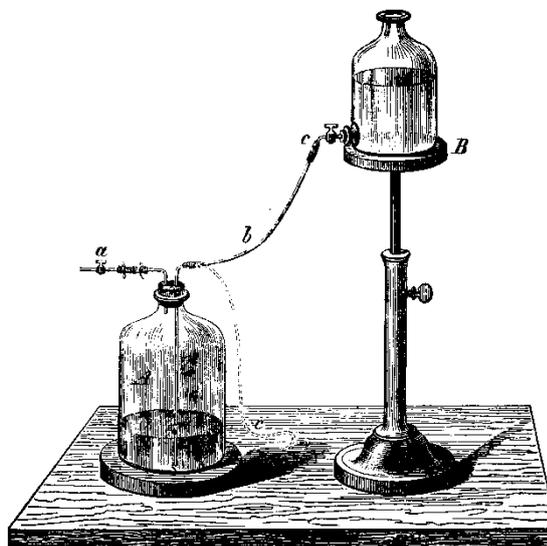
Auffällig ist die vergrößert herausgezeichnete Halteklemme in der rechten oberen Ecke. Sie gleicht den noch heute gebräuchlichen. Die detaillierte Darstellung könnte als Konstruktionszeichnung für einen Labortechniker gedient haben.

Für welche Experimente der Aufbau benutzt wurde, ließ sich nicht ermitteln. Es könnte sich um den fehlenden unteren Teil der auf einem anderen, für Erlenmeyer gezeichneten Blatt dokumentierten Destillationsapparatur [→ 6.3.4.] handeln.

6.3.6. Gasbehälter

[*49] Bleistiftzeichnung, 15,3 x 14,7 cm; bez.: H. Dr. Schiel / H. Dr. Schiel

Nach Verbrennung der zu untersuchenden Substanz im Probenrohr der Analysenapparatur [→ 6.1.1.] werden die Verbrennungsgase quantitativ in die Absorptionsgefäße (z.B. den Liebig'schen Fünfkugelapparat) geleitet, indem man einen Strom von Sauerstoff oder ein anderes Gas aus einem Gasometer durch das Probenrohr leitet. Anstelle des Gasometers empfiehlt Schiel in seiner *Anleitung zur organischen Analyse* der Einfachheit halber eine große, zuvor mit Sauerstoff befüllte Glasflasche, die mit einem höher stehenden Wassergefäß verbunden ist. Öffnet man dessen Ausflusshahn, so treibt das nachlaufende Wasser den Sauerstoff, der zuvor noch über Schwefelsäure und Kaliumhydroxid getrocknet wird, durch die Apparatur. Der Holzstich in Schiels *Anleitung* stimmt einschließlich der bestehenden Buchstaben mit der Vorzeichnung überein.



Gasbehälter, Holzstich aus: Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 41, Fig. 30.

Jakob Schiel, *Anleitung zur organischen Analyse und Gasanalyse*, Erlangen 1860, 41, Fig. 30; ebenfalls verwendet in: Jakob Schiel, *Einleitung in das Studium der organischen Chemie*, Erlangen 1860, 26, Fig. 10.

CM

6.3.7. Pneumatische Wanne

[*31] Bleistiftzeichnung, 42,9 x 30,6 cm, Einriß; bez.: für Herrn Dr. Kekulé, 1858 [verso: verschiedene, relativ grob gezeichnete Glasgefäße, bez.: für Herrn Dr. Kekulé, 1858; beschriftet: No. 1: 4 Kautschukverbindungen, bei a. – Flüssigkeit in die Kugeln]

In der traditionell nierenförmigen Pneumatischen Wanne, die auf zwei inneren Sockeln einen graduierten Glaszylinder trägt und damals in der Regel aus Porzellan ausgeführt wurde, werden über Quecksilber als Sperrflüssigkeit Gase aufgefangen, um sie anschließend näher zu untersuchen. Die Zeichnung befindet sich am äußeren Rande eines großen, ursprünglich wohl noch zur Aufnahme weiterer Skizzen bestimmten Blattes, auf dessen Rückseite einige Glasgefäße sehr flüchtig skizziert sind. Ob die Zeichnungen als Vorlage für eine Publikation verwendet wurden, ließ sich nicht ermitteln.

CM

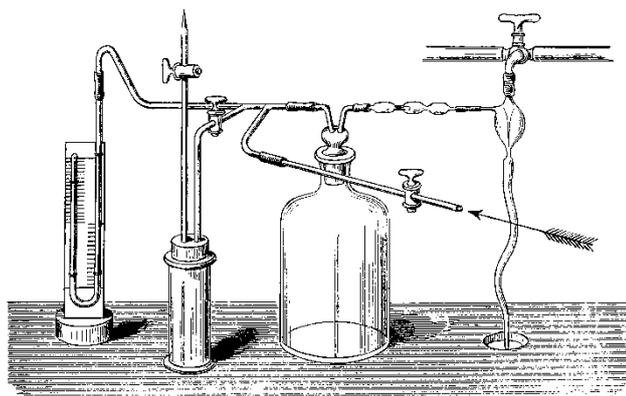
6.3.8. Wasserstrahlpumpe

[*33] Bleistiftzeichnung, 20,8 x 30,3 cm, bez.: für Dr. Krafft gez. 2t Mrz [18]89 / Märzgasse 2

Die Erfindung der Wasserstrahlpumpe wird häufig Bunsen zugeschrieben, der das von seinem Schüler Hermann Sprengel (1834–1906) bei der Quecksilberpumpe angewandte Prinzip Anfang 1868 auf das Arbeitsmedium Wasser übertragen und die Priorität Sprengels anerkannt hatte. Gegenüber den bis dahin benutzten Vakuumpumpen hatte Bunsens „Wasserluftpumpe“ den Vorzug, dass durch das Wasser und die gläserne Pumpe auch aggressive Dämpfe abgezogen werden konnten, ohne Schäden zu verursachen. Wasserstrahlpumpen gehören seitdem zur Normalausstattung eines jeden Labors und werden bei zahlreichen chemischen Operationen verwandt, hauptsächlich in Zusammenhang mit Trennungs- und Reinigungsverfahren von Substanzen, die bei verminderem Druck destilliert oder vor Oxidation geschützt werden sollen.

Die Zeichnung zeigt den Aufbau einer gläsernen Wasserstrahlpumpe. Sie wurde für eine Publikation Kraffts angefertigt, die am 25. März 1889 in die *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* einging und in der auf den Hersteller solcher Einrichtungen, die Firma C. Gerhardt in Bonn, hingewiesen wird. Auch Kraffts *Kurzes Lehrbuch der Chemie* beschreibt ihren Einsatz bei der Analyse von organischen Verbindungen. Voraussetzung war natürlich, dass im Laboratorium bereits Druckwasserleitungen installiert waren.

Das Grundprinzip der Wasserstrahlpumpe ist an der rechten Seite des Aufbaus dargestellt. Ihre Funktionsweise beruht auf der Bernoulli-Gleichung, die das Verhalten von idealen strömenden Flüssigkeiten beschreibt. Danach ist der Druck auf allen Punkten einer Stromlinie einer strömenden Flüssigkeit um so geringer, je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist. Auf diese Weise erzeugt strömendes Wasser einen Unterdruck und saugt die angrenzende Luft an, so dass sich die Vorrichtung als Pumpe benutzen lässt. In der Zeichnung sind die entscheidenden konstruktiven Details rechts oben noch einmal herausgezeichnet – vielleicht für die beabsichtigte Anfertigung durch einen Glasbläser.



Wasserstrahlpumpe, Textillustration, 7 x 12 cm, aus: Friedrich Krafft u. Hugo Noerdlinger, „Ueber einige Siedepunkte in der Oxalsäure- und Oelsäurereihe“, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 22 (1889), 820.

Die Zeichnung zeigt eine an einen Wasserhahn angeschlossene Wasserstrahlpumpe, deren Abflussschlauch durch ein Loch im Labortisch in den Ausguss mündet. Deutlich erkennt man die eiförmige Erweiterung des Glasrohrs, in deren untere Engstelle das aus der eingeschmolzenen Glasspitze austretende Wasser hineinschießt. Am waagrechten Anschlussrohr sind über Glas- und Kautschukverbindungen eine großvolumige Glasflasche, die zur Stabilisierung des Unterdruckes dient, ein Manometer zur Messung des erzeugten Unterdruckes und ein weiteres Gefäß angebracht, an dem zwei Hähne die

Feineinstellung des gewünschten Druckes ermöglichen. Ein Pfeil mit der Beischrift „Apparat“ weist auf die Stelle, wo die zu evakuierende Apparatur angeschlossen wird.

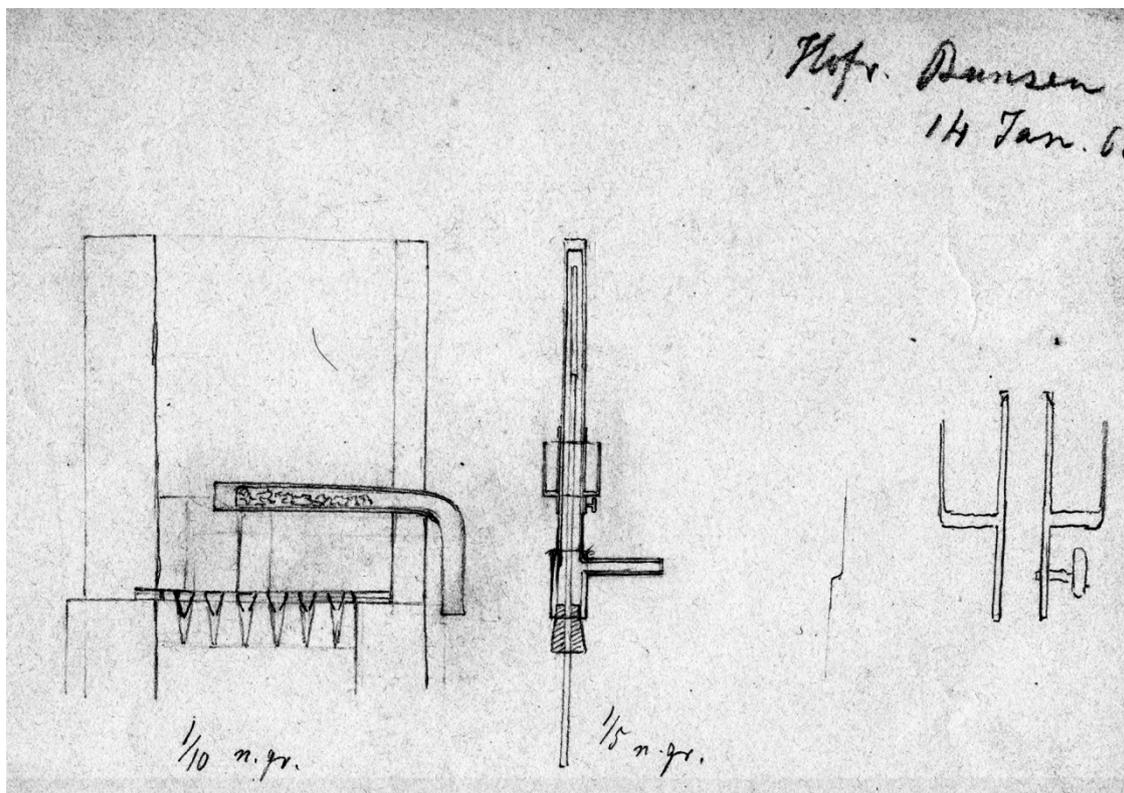
Friedrich Krafft u. Hugo Noerdlinger, „Ueber einige Siedepunkte in der Oxalsäure- und Oelsäurereihe“, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 22 (1889), 816–820 (Abb. S. 820). – Friedrich Krafft, „Ueber neunzehn höhere Normalparaffine C_nH_{2n+2} und ein einfaches Volumengesetz für den tropfbar flüssigen Zustand, I“, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 15 (1882), 1687–1711. – Friedrich Krafft, *Kurzes Lehrbuch der Chemie, Bd 2: Organische Chemie*, Leipzig, Wien 1893. – Robert Bunsen, „Ueber das Auswaschen der Niederschläge“, *Annalen der Chemie und Pharmacie* 148 (1868), 269–293, u. Taf. III. – Robert Bunsen, „Erklärung“, *Annalen der Chemie und Pharmacie* 165 (1873), 156–160. – Hermann Sprengel, „Zur Geschichte der Wasser-Luftpumpe“, ebd. 167 (1873), 62–64. – Jules Piccard, „Eine wesentliche Beschleunigung des Filtrationsgeschäftes“, *Zeitschrift für analytische Chemie* 4 (1865), 45–48, und *Journal für praktische Chemie* 96 (1865), 336–339.

NS

6.3.9. Ein tragischer Unglücksfall

[*15] Bleistiftzeichnung, 15,7 x 19,1 cm; bez.: Hofr. Bunsen, 14 Jan. [18]60

Nicht in allen Fällen wurden die Zeichnungen Veiths in Lithographien oder Holzstiche umgesetzt und im Druck veröffentlicht. Das hier gezeigte Blatt war wohl als Konstruktionsvorlage für einen Mechaniker gedacht und weist daher – anders als die meisten anderen Blätter – Größenangaben ($1/10$ bzw. $1/5$ n[atürlicher] Gr[öße]) auf. Entsprechende Abbildungen lassen sich in Bunsens publizierten Arbeiten nicht nachweisen.



Im linken Drittel des Blattes wird eine Substanzprobe in einem gebogenen Rohr über einer Reihe von Gasflammen erhitzt; in der Mitte sieht man einen wasserdurchströmten Kühlfinger aus Metall, der mit einer rechts noch einmal herausgezeichneten, verschiebbaren und mittels Stellschraube zu fixierenden Halterung auf das offene Ende des gebogenen Rohres aufsteckt.

genen Reaktionsrohres aufgesetzt werden kann, um die Edukte einer thermischen Reaktion daran zu kondensieren. Bunsen hat mit dieser Apparatur 1862 erstmals metallisches Rubidium isolieren können. In der kurzen Notiz, die er dazu publiziert hat, ist lediglich von der „Anwendung eines eigenthümlichen, mit Wasserkühlung versehenen kleinen Condensationsapparates“ die Rede, der aber weder näher beschrieben noch abgebildet ist. Erst die Nachschrift, die Philipp Lenard, Physik-Nobelpreisträger von 1905, im Wintersemester 1883/84 von Bunsens Vorlesung angefertigt hat, bringt eine Abbildung und erläutert den Prozess.

„Um metallisches Rb herzustellen, verfährt man ganz wie bei K od[er] Na, Man bestreicht einen Flintenlauf, der zugeschweisst ist an einer Seite und gebogen, mit Borax, damit er nicht schmilzt mit der Kohle, und füllt ein ganz ähnliches Gemenge wie bei K od[er] Na hinein. Dann erhitzt man zur stärksten Weissglut, dazu muss man aber einen sehr hohen und engen Schornstein haben. In die Mündung des Laufs steckt man einen Metalleylinder, der hohl ist und durch fließendes Wasser immer kalt gehalten wird; an dem verdichtet sich das Rubidium.“

Für Bunsen verband sich die Reaktion mit einer schrecklichen Erinnerung: Anfang 1863 schrieb er Henry Roscoe in Manchester: „Ich lebe seit 8 Tagen in einer recht traurigen und gedrückten Stimmung durch einen schrecklichen Unglücksfall, der sich im Laboratorium ereignet hat. Während meiner Abwesenheit von hier in den Weihnachtsferien hat der Holzhauer trotz früherer Warnung unverantwortlicher Weise seinen kleinen Knaben mit sich in das Laboratorium gebracht und ohne Beaufsichtigung umherlaufen lassen. Das Kind scheint ein Eisenrohr in den Mund genommen zu haben, in dem sich Kohlenoxydrubidium bei der Rubidiumdarstellung gebildet hatte, und von einer Explosion in den Mund getroffen zu sein. Obgleich keine mechanische Verletzung, sondern nur eine schreckliche Verbrennung in der Mundhöhle und dem Schlunde stattgefunden hat, war doch das Kind schon nach 12 Stunden tod. Sie können sich vorstellen, in welche Verfassung ich durch diesen Unglücksfall versetzt bin, obwohl mich dabei gottlob keine Schuld der Unvorsichtigkeit trifft.“

Robert Bunsen, „Ueber die Darstellung und die Eigenschaften des Rubidiums“, *Annalen der Chemie und Physik* 125 (1863), 367–368. – Robert Bunsen, *Experimentalchemie*, Vorlesungsnachschrift von Philipp Lenard, WS 1883/84, S. 116/117; Universitätsarchiv Heidelberg, Sign. KE 111, Acc. 48/08. – Bunsen an Roscoe, o. Dat. [1863]; Nachlass Henry E. Roscoe, Archiv des Deutschen Museums, Bl. 150–151.

CM/CN