



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Die chemische Experimentierkunst im Zeichen eines  
forschenden Geistes“

verfasst von

Philipp Werderitsch

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 190 423 313

Studienrichtung lt. Studienblatt:

UF Chemie und UF Geschichte, Sozialkunde, Polit.Bildg.

Betreut von:

Ao. Univ.-Prof. i. R. Dr. Adolf Mikula

Am Ende des Studiums wird es nun also Zeit Résumé zu ziehen und Danke zu sagen; mein allerhöchste Dank gilt der Familie Werderitsch und dabei vor allem meiner Mutter und meinem Großvater, welche mich stets ermutigt und durch ihre finanzielle Unterstützung mein Studium ermöglicht haben.

Weiters ist nun Platz mich bei all denjenigen Freunden zu bedanken, die mich Zeit meines Studiums begleitet haben und dabei jeweils zum richtigen Moment sowohl Stütze, als auch Stein des Anstoßes waren.

Wer Diplomarbeit schreibt braucht nicht nur einen Idee und einen Titel, sondern auch einen Betreuer. In diesem Sinne möchte ich mich bei meinem Diplomarbeitsbetreuer Ao. Univ.-Prof. i.R. Dr. Adolf Mikula bedanken, der mich mit seinen inspirierenden Ideen und seinem glühenden Interesse für die Geschichte der Chemie beim Verfassen der Arbeit in jedwelcher Hinsicht unterstützt hat.

*Nicht an die Thaten mächtiger Fürsten oder berühmter Feldherren,  
sondern an die unsterblichen Namen Columbus, Copernicus, Kepler,  
Gallilei, Newton knüpft die Geschichte den Fortschritt in den  
Naturwissenschaften und den Zustand der Geistesbildung in der  
gegenwärtigen Zeit <sup>1</sup>*

Justus von Liebig

---

<sup>1</sup>Wilhelm *Strube*, Der historische Weg der Chemie. Von der Uhrezeit bis zur industriellen Revolution (1. Aufl. Leipzig 1981) 1.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2. Welche Aufgabe wird der Chemie nach Ansicht der Lehrenden zu Teil?</b>	<b>9</b>
2.1 Die Aufgabe des chemischen Unterrichts an verschiedenen Lehranstalten . . .	12
2.1.1 Justus von Liebig in Gießen . . . . .	16
2.2 Die Rolle der Theorie in der Lehre . . . . .	20
<b>3. Der Stand der Wissenschaft</b>	<b>24</b>
3.1 Atommodell nach Thomson um 1903 . . . . .	24
3.2 Das Rutherford-Bohr'sche Atommodell um 1909-1911 . . . . .	26
<b>4. Die Entwicklung der Chemie an der Universität Wien</b>	<b>28</b>
4.1 Grundlegende Ausstattung und Beschaffenheit von Vortragsräumen . . . . .	29
4.1.1 Hörsaal . . . . .	30
4.1.2 Experimentiertisch . . . . .	33
4.1.3 Abzug . . . . .	39
<b>5. Mikrochemie - Chemie im kleinen Maßstab</b>	<b>43</b>
5.1 Methoden der Mikrochemie . . . . .	44
5.1.1 Mikroschmelzpunktbestimmung . . . . .	44
5.1.2 Mikrosublimation . . . . .	47
5.1.3 Fällungsanalyse . . . . .	48
5.2 Mikroanalyse nach Fritz Pregl . . . . .	48
5.2.1 Mikrochemische Analysewaagen . . . . .	49
5.2.2 Gerätschaften . . . . .	52
5.2.3 Bestimmung von Wasserstoff und Kohlenstoff nach Fritz Pregl . . . . .	52
5.3 Analytische Tüpfelreaktion nach Fritz Feigl . . . . .	60
5.3.1 Praktische Anwendung . . . . .	62
5.3.2 Tüpfelanalyse am Beispiel der Bestimmung von Silber . . . . .	63
5.3.3 Elektro-Tüpfelanalyse . . . . .	65
<b>Zusammenfassung</b>	<b>66</b>
<b>Abstract</b>	<b>67</b>

Literaturverzeichnis	68
Abbildungsverzeichnis	70

# 1. Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist die Betrachtung der Praxis des chemischen Studiums an den Instituten der Universität Wien an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert sowie in den darauffolgenden frühen Jahrzehnten des beginnenden 20. Jahrhunderts.

Das Hauptaugenmerk fällt dabei vor allem auf die chemisch angewandte bzw. experimentelle Ausprägung der Lehre in einem Zeitraum beginnend vor der Schwelle zum Digitalzeitalter und der Entwicklung chemischer Theorien, die unser heutiges Verständnis von der Natur prägen.

Doch die Ausführungen beschränken sich dabei nicht nur auf die experimentalchemische Praxis per se, sondern sollen auch in einem größeren Kontext mit dem Stand der Wissenschaft jener Epoche, der Aufgabe der Lehre an sich, sowie mit den infrastrukturell zur Verfügung stehenden Mitteln und der Ausstattung chemischer Hörsäle und Vortragsräume stehen. Im Rahmen der Arbeit soll ein anschauliches Bild des chemischen Alltags an den Universitäten zur Zeit der Jahrhundertwende und der darauf folgenden Jahrzehnte gezeichnet werden. Viele der damaligen anerkannten und gültigen Theorien lieferten die Voraussetzung bzw. waren die Vorläufer der Chemie wie sie heute gelehrt und praktiziert wird. Nicht nur räumliche Gegebenheiten und chemische Theorien spiegeln den Stand der Wissenschaft und in diesem Fall der Chemie wieder; es braucht viel mehr auch Personen, die den Geist der Wissenschaft leben, weiter entwickeln und mit ihrer schöpferischen Kraft diese Wissenschaft stetig auf eine neue Stufe stellen.

In diesem Sinne wird die Entwicklung der chemischen Institute Wiens ausgehend von der Hilfswissenschaft der Medizin, über die Einrichtung einer eigenen Lehrkanzel, bis zur Errichtung eigener chemischer Institute, die als Ausbildungs- und Wirkungsstätte vieler heurausragender Forscher des 20. Jahrhunderts weit über die Grenzen Österreichs hinaus bekannt war, dargestellt. Dies geschieht in engem Kontext mit Persönlichkeiten der Universität Wien, die mit ihren qualitativen und quantitativen analytischen Forschungen und Theorien neue Maßstäbe für die analytische Praxis des frühen 20. Jahrhunderts gesetzt haben.

Die Arbeit soll nun einen Überblick geben über die Entwicklung der Lehre der Chemie an den Universitäten im deutschsprachigen Raum und dabei vor allem an der Universität Wien. Die Antworten auf die Fragen nach der Aufgabe der Lehre und vor allem der Theorie nehmen dabei einerseits durchaus philosophischen Charakter an, andererseits aber wird die klare Abgrenzung zur Philosophie gesucht und versucht eine allgemeine

Wahrheit zu finden. Wenn es um die Rolle der Theorie in der Wissenschaft und vor allem in der Naturwissenschaft geht, dann scheint es dabei einen breiten Konsens zu geben und eben diese Theorie wird als untrennbar mit der Wissenschaft verbunden angesehen. Am Beispiel zweier Atommodelle bzw. Theorien über den Aufbau der Atome wird gezeigt, wie schnell sich oft grundlegende, als allgemein gültige Theorien postulierte Annahmen an neue Forschungserkenntnisse anpassen müssen.

Um einen weit größeren Einblick in die Experimentierkunst vergangener Tage verschaffen zu können, und dadurch in der Lage zu sein, eine Vorstellung zu vermitteln, mit welchem großem experimentellen Aufwand chemische Forschung verbunden war, habe ich nicht nur Versuche und Analysengänge skizziert, sondern weiters auch das stationäre Setting beschrieben, in welchem Forschung statt fand. Dabei wird es weiters Ziel der Arbeit sein, diese heute oft als antiquiert angesehen Methoden einer praktischen und kritischen Anwendung zu unterziehen, um durch die praktische Anwendung einen möglichst authentischen Blick auf die Herausforderungen der Chemie jener Epoche gewinnen zu können.

## 2. Welche Aufgabe wird der Chemie nach Ansicht der Lehrenden zu Teil?

Die Chemie schafft im 17. Jahrhundert den Weg weg von der Alchemie zu einer öffentlich respektierten, wissenschaftlich basierten Naturwissenschaft und wurde damit im Rahmen der wissenschaftlichen Revolution dieses Jahrhunderts auch Teil der medizinischen und pharmazeutischen Ausbildung. Nicht zuletzt schaffte es Robert Boyle mit seinen Theorien, die Chemie aus dem geheimnisvollen Hinterzimmer der Alchemie herauszuholen und die chaotische und ungenaue Sprache dieser in eine erste chemische Formelsprache zu fassen.<sup>2</sup> Damit stand die Chemie nun also an der Schwelle zur modernen Wissenschaft und wurde im Rahmen der Ausbildung der Mediziner und Pharmazeuten auch Teil universitärer Ausbildung. Die Vermittler von chemischem Wissen waren nunmehr auch die Universitäten und damit verbunden die dort tätigen Lehrenden. Auf dieser Tatsache fußend stellt sich also die Frage, welche Aufgabe die Chemie bzw. das Vermitteln chemischen Wissens aus der Sicht der Lehrenden hatte und diese Frage stellt sich nicht nur für das ausgehende 17., sondern auch für die darauffolgenden Jahrhunderte. Hollemann und Manchot beschreiben die Chemie als Zweig der Naturwissenschaften, d.h. der Wissenschaften, die sich mit dem Studium der Dinge auf der Erde und im Weltall beschäftigen. Damit wird bereits in den Lehrbüchern des beginnenden 20. Jahrhunderts der Anspruch an die Chemie gestellt, sich nicht nur mit der Mikroebene der Dinge, sondern auch mit der Makroebene zu beschäftigen. Wenn es um den Weg zur Erkenntnis und zur Erlangung wissenschaftlicher Wahrheit geht, wird der Wahrheitsbegriff an sich zwar in Frage gestellt, dieser Zwiespalt allerdings als Teil der Philosophie angesehen, von dem sich die Wissenschaft abzugrenzen hat.<sup>3</sup>

*Zur Kenntnis dieser Dinge kommen wir durch Wahrnehmung mittels unserer Sinnesorgane; auf anderem Wege ist dies nicht möglich. Hierbei ist zu beachten, dass wir demgemäß die Dinge selbst nicht kennen, sondern nur den Eindruck, den sie auf unsere Sinnesorgane machen. Wenn wir einen Gegenstand sehen, nehmen wir tatsächlich nur die Wirkung auf unsere Netzhaut wahr; befühlen wir ihn, so ist es wieder nicht der Gegenstand selbst, sondern der Reiz der Gefühlsnerven unserer Finger, der zu unserem Bewusstsein kommt. Die Frage ist deshalb gerechtfertigt, ob die zu unserer Wahrnehmung kommenden Gegenstände auch wirklich so sind, wie wir sie wahrgenommen haben, ja sogar, ob*

---

<sup>2</sup>William H. Brock, Viewegs Geschichte der Chemie (Braunschweig/Wiesbaden 1997) 55f.

<sup>3</sup>Arnold F. Hollemann, Wilhelm Manchot (Hrsg.), Lehrbuch der Anorganischen Chemie für Studierende an Universitäten und technischen Hochschulen (Leipzig 1903) 1-10.

sie außerhalb unserer Person überhaupt vorhanden sind. Die Naturwissenschaften lassen sich auf diese Frage nicht ein – ihre Beantwortung ist die Aufgabe der spekulativen Philosophie – sie beschäftigt sich also, wenn man sich genau ausdrücken will, nicht mit den Gegenständen selbst, sondern mit dem Studium der Sinneseindrücke, die wir empfangen. Die Sinneseindrücke treten für uns an die Stelle der Gegenstände, die wir für sich selbst nicht kennen. Wir betrachten sie als die Gegenstände selbst.<sup>4</sup>

Wenn nun die subjektive Ebene des Empfindens und der Wahrnehmung der Philosophie gleichgesetzt werden kann, wie kann dann überhaupt so etwas wie wissenschaftliche Wahrheit entstehen? Auch hier wird ein Ausweg angeboten, wenn es heißt:

*Unter der naturwissenschaftlichen Erforschung der Gegenstände versteht man zunächst ihre möglichst genaue Beschreibung. Durch diese ergibt sich, dass viele Gegenstände eine kleine oder größere Übereinstimmung untereinander zeigen, wodurch eine Klassifikation, d.h. eine Zusammenfassung von Gleichartigem in eine Gruppe und eine Trennung der einzelnen Gruppen voneinander, ermöglicht wird. Auf dem Wege der Beschreibung gelangt man so zu einer Einteilung der Naturwissenschaften in Zoologie, Botanik, Mineralogie, Astronomie. Die naturwissenschaftliche Forschung umfasst weiters die Untersuchung des Verhältnisses, in welchem die Gegenstände zueinander stehen, mit anderen Worten, das Studium der Erscheinungen. Die Himmelskörper verschieben sich gegeneinander; Wasser wird beim Abkühlen zu Eis, erhitztes Holz verbrennt. Die Aufgabe der Naturwissenschaften ist, solche Erscheinungen genau zu beobachten und zu beschreiben; also zu erforschen, auf welche Weise die Himmelskörper ihre Stellung zueinander verändern, welche Umstände auf das Gefrieren von Wasser von Einfluss sind, was aus dem verbrennenden Holz wird, unter welchen Bedingungen die Verbrennung erfolgen kann usw. Die Beschreibung der Erscheinungen führt zu einer anderen Einteilung der Naturwissenschaften als die Beschreibung der Gegenstände, nämlich zu der folgenden: Physik, Chemie und Biologie d.h. die Lehre von den Lebensvorgängen. Die Naturerscheinungen erweisen sich als unveränderlich. Die Bewegung der Planeten findet noch in derselben Weise statt, wie zu den Zeiten der Ptolomäer; wenn Wasser zu Eis wird, hat man stets dieselbe Volumsvermehrung wahrgenommen; die Kristallform des Kochsalzes ist, wo und wann auch beobachtet, zu allen Zeiten dieselbe; bei der Verbrennung des Holzes werden stets die selben Produkte erhalten; die mikroskopische Struktur der Blätter einer und derselben Pflanze ist immer gleich befunden worden; dieser Erfahrung gibt man Ausdruck, indem man von der Konstanz der Naturerscheinungen spricht. Von ihr ist jedermann überzeugt, und stillschweigend wird sie als Basis jeder naturwissenschaftlichen Untersuchung angenommen. Wenn man z.B. an einem bestimmten Sodakristall die Winkel gemessen hat, welche die Flächen miteinander bilden, hält man es für sicher, dass an allen Sodakristallen, wo und wann auch immer sie untersucht werden mögen, dieselben Winkel vorhanden sein müssen. Hat man einmal bestimmt, dass reiner Alkohol bei 78 ° siedet, so wird ohne weiters angenommen, dass dies bei allem Alkohol, wie er auch gewonnen und wo und wann er untersucht werde, der Fall sein müsse. Indem sich der menschliche Geist der naturwissenschaftlichen Forschung zuwendet, gibt er sich nicht zufrieden mit der genauen Beschreibung der Gegenstände und der Erscheinungen; er wünscht für die letztere auch eine Erklärung zu finden. Dieses Bestreben, die Vorgänge zu erklären, bildet einen der wichtigsten Teile der Naturwissenschaft. Wenn man z.B. beobachtet hat, dass ein Lichtstrahl, der durch ein Stück isländischen Kalkspats hindurchgeht, in zwei andere mit verschiedenen Eigenschaften gespalten wird, sucht man sich Rechenschaft zu geben, warum dies geschieht. Wenn Kupfer an der Luft erhitzt wird, geht es in ein schwarzes Pulver über; wieder erhebt sich*

---

<sup>4</sup>Arnold F. Hollemann, Wilhelm Manchot (Hrsg.), Lehrbuch der Anorganischen Chemie für Studierende an Universitäten und technischen Hochschulen (Leipzig 1903) 1-10.

*die Frage, warum dies der Fall ist. Beim Suchen nach einer Erklärung einer Erscheinung trachtet man also tiefer in das Wesen des Vorganges einzudringen, als dies durch die direkte Beobachtung geschehen kann. Während die Vorgänge selber, die wir zu erklären wünschen, zufolge unserer Erfahrung unveränderlich sind, soll ihre Erklärung, entsprechend dem Fortschritt unserer Kenntnisse, abgeändert werden können. Dass Kupfer beim Erhitzen an der Luft in ein schwarzes Pulver verwandelt wird, wurde früher durch die Annahme erklärt, dass vom Metall etwas verschwinde; später, bei vollständigerer Kenntnis dieser Erscheinung dadurch, dass das Kupfer einen Bestandteil der Luft aufnehme.*<sup>5</sup>

Somit gerät nicht der Gegenstand, sondern die Erscheinung dieses Gegenstandes in den Fokus naturwissenschaftlicher Betrachtungen. Durch die Klassifizierung und Kategorisierung von Erscheinungen meint Hollemann weiters auch die Naturwissenschaft in verschiedene Teilgebiete aufteilen zu können. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist die Tatsache, dass Naturerscheinungen dabei als unabänderlich angesehen werden. Dies schafft gewissermaßen eine Basis bzw. eine Grundlage auf der Beobachtungen aufgebaut und in weiterer Folge ein Theoriegebilde geschaffen werden kann. Eine Theorie ist demnach eine Suche nach Erklärungen und ein Eindringen in die Tiefe der beschriebenen Erscheinung. Dass die Interpretation einer Erscheinung jedoch keinen Anspruch auf eine universelle Wahrheit stellen darf veranschaulicht das genannte Beispiel der Oxidation von Kupfer. Damit verschwindet gewissermaßen auch der letzte Hauch der Alchemie aus der Chemie, welche im 19. Jahrhundert eindeutig zu einer Wissenschaft geworden ist, die nicht nur nach einer Beschreibung der Dinge trachtet sondern auch nach Zusammenhängen und Ursachen sucht. Man könnte soweit gehen zu sagen, dass die Chemie getreu Goethes Faust versucht zu *erkennen, was die Welt im Innersten zusammenhält.*<sup>6</sup>

Blochmann sieht die Aufgabe der Chemie in der Lehre, der Lehre davon, woraus sich bekannte Stoffe und Körper zusammensetzen und des Weiteren aus der Lehre, nach welchen Gesetzen und Regelmäßigkeiten sich diese Stoffe aus einer begrenzten Anzahl von Grundstoffen zusammensetzen. Grundlage der Erkenntnis und des Wissens ist dabei der Versuch, und zwar der zielgerichtete, theoriegeleitete Versuch. Die aus diesen Versuchen gewonnenen *Erfahrungen wurden zusammengefasst und führten zur Erkenntnis der Gesetze, welche die tote und lebendige Natur beherrschen.*<sup>7</sup>

Wenn nun also die Chemie beginnend als medizinische Hilfswissenschaft seit dem 17. Jahrhundert immer mehr zum Bestandteil universitärer Ausbildung wurde, dann war es nicht nur ihre Aufgabe, die Welt mit ihren Erscheinungen zu beschreiben und zu verstehen, sondern die Aufgabe bestand immer mehr auch darin, die gewonnenen Erkenntnisse, Gesetze und Regelmäßigkeiten zu lehren. Damit begann man auch über die Aufgabe der Lehre und des chemischen Unterrichts nachzudenken.

---

<sup>5</sup>Arnold F. *Hollemann*, Wilhelm *Manchot* (Hrsg.), Lehrbuch der Anorganischen Chemie für Studierende an Universitäten und technischen Hochschulen (Leipzig 1903) 1-10.

<sup>6</sup>Johann W. *Goethe*, Faust I. Der Tragödie erster Teil (Hollfeld 1996) 16.

<sup>7</sup>Reinhart *Blochmann*, Luft, Wasser, Licht und Wärme. *In: Aus Natur und Geisteswelt. Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens* (Leipzig 1903) 1.

## 2.1 Die Aufgabe des chemischen Unterrichts an verschiedenen Lehranstalten

Genauso, wie die Chemie in ihrer Entwicklung einen Einfluss auf andere Wissenschaften gewonnen hat und diesen auch auf das praktische Leben ausdehnen konnte, hat auch das Studium der Chemie an den Universitäten und anderen Hochschulen immer mehr an Bedeutung gewonnen. Während man die Chemie ursprünglich als Hilfswissenschaft der Medizin oder Pharmazie sehen konnte, steigt mit einer größer werdenden Anzahl derer, die Chemie als Hauptfach wählen, auch die Anzahl und Größe der chemischen Laboratorien. Dabei beschränkte sich die Anwendung der Chemie keineswegs nur mehr auf die spezifischen Gebiete der Medizin und Pharmazie, sondern auch die Technik und die Agrikultur haben die Chemie zum Gegenstand ihrer Studien erkoren. Im Entwicklungsprozess der Lehre von der Chemie vollzog sich ein Wandel dahingehend, dass man früher der Meinung war, ein von Experimenten begleiteter Vortrag sei ausreichend für das Verständnis der Materie hin zu der Erkenntnis, dass es von absoluter Wichtigkeit sein sollte, dass die Studierenden selbst die Möglichkeit bekommen, Hand am Experiment anzulegen. Ursprünglich dienten die eher schlecht ausgerüsteten Laboratorien an den Universitäten nämlich lediglich zur Vorbereitung einiger Demonstrationsexperimente und die Chance zur praktischen Ausbildung beschränkte sich auf nur wenige Einheiten pro Woche. Justus von Liebig revolutionierte gewissermaßen das Verständnis des chemischen Studiums an der kleinen Universität von Gießen und wurde somit zum Vorbild vieler anderer Institutionen im In- und Ausland.<sup>8</sup>

Mit In- und Ausland bezeichnet Erdmann an dieser Stelle wohl eher deutschsprachige und nicht deutschsprachige Gebiete, denn eine genaue territoriale Einheit, da zu Beginn der 1860er Jahre die Frage um die Neuordnung des Deutschen Bundes noch keinesfalls geklärt war. Mit der zunehmenden Wichtigkeit der Chemie und der Ausdehnung auf viele Bereiche des täglichen Lebens und der Wissenschaft musste sich also auch etwas im Tätigkeitsfeld der Ausbildung und der Lehre ändern; nämlich nicht nur in Summe und Zahl der chemische Laboratorien, sondern auch in der Art der Ausbildung. Als Beispiel für die neue Qualität chemischer Lehre und Ausbildung ist die Universität Gießen zu nennen, wie am Beispiel des Studienplan des Studenten Horsford unschwer zu erkennen ist.

Der Stunden- bzw. Studienplan des amerikanischen Studenten Horsford; ja, es war in jenen Tagen tatsächlich nicht ungewöhnlich, dass Studenten aus der neuen Welt an den führenden Universitäten im deutschsprachigen Raum studierten, zeigt sehr anschaulich den von Liebig gewählten Weg, weg von den alleinigen Experimentalvorlesungen, hin zur experimentellen Praxis. Ein Rundgang durch das im Jahre 1833/34 erstmals von Liebig erweiterte Universitätsgebäude von Gießen, heute Sitz des Justus von Liebig Museums, lässt erahnen, wie revolutionär und großzügig die Ausstattung seiner Universität zu jener Zeit gewesen sein musste. Liebig stellte seine Laboratorien den Studenten nicht nur zu

---

<sup>8</sup>Otto L. *Erdmann*, Über das Studium der Chemie (Leipzig 1861) 1-5.

Praktikumszeiten, sondern auch nachmittags oder während der Freizeit zum persönlichen Studium zur Verfügung, was zu der damaligen Zeit eine Revolution im Universitätsbetrieb bedeutete. Daher erscheint es also nicht als ungewöhnlich, dass *Liebig's Chemisches Institut in Gießen als die Mutter der chemischen Institute bezeichnet wird*.<sup>9</sup> Liebig wurde damit eine Vorreiterrolle im deutschsprachigen Raum zu Teil und die Universität Gießen avanciert dadurch zum Vorbild für viele andere Institutionen. Alle diese Institutionen

*teilen ein Gut, dessen Bedeutung vor allem hervorgehoben und dem Studierenden zum Bewusstsein gebracht werden muss, es ist der Geist der Schule, welcher in ihnen lebt, die strenge Methoden der heutigen Wissenschaft, der sie huldigen. Die Schule ist es, welche die Laboratorien obwohl sie zunächst nur Werkstätten für praktische Tätigkeit sind, zugleich zu Pflegestätten des rechten Geistes der auf Erfahrung gegründeten Wissenschaft überhaupt macht. Darum haben dieselben auch Nachahmung gefunden beim Studium anderer Naturwissenschaften in physikalischen Laboratorien, physiologischen, mikroskopischen Instituten, welche künftig keiner Universität werden fehlen dürfen*.<sup>10</sup>

Erdmann sieht damit die Universität auch als einen Ort an, an dem nicht nur das Handwerkszeug gelehrt wird, sondern auch das Bewusstsein der Studierenden in Richtung naturwissenschaftlichen Denkens geleitet wird. Darin sieht er auch den Grund, warum es andere Naturwissenschaften der Chemie gleich getan haben und diesem Weg gefolgt sind. Friedrich Wöhler sieht als vordringlichste Aufgabe der Chemie

*die Erforschung der Ursachen der Veränderungen, der gemeinschaftlichen Faktoren in verschiedenen Reihen von Erscheinungen, die Benutzung der ausgemittelten Gesetze um das Übersinnliche dem geistigen Auge anschaulich und begreiflich zu machen*<sup>11</sup>

und spricht weiters von der Chemie als ein, in *unbekannten Chiffren geschriebenes Buch*, das man erst verstehen mag, wenn man das notwendige Alphabet erlernt hat.<sup>12</sup> Wird die Chemie bzw. die Lehre der Chemie damit wieder zu etwas unnahbarem und mystischem, wie es die Alchemie war? Nein, ganz im Gegenteil; die Chemie mag zwar ein in *unbekannten Chiffren verfasstes Buch* darstellen, doch besteht die Möglichkeit dieses mit Hilfe der richtigen Sprache lesen und somit verstehen zu können.

*Wir müssen uns mit dem Gebrauch dieser Zeichen bekannt machen und uns Gewandtheit und Übung in ihrer Handhabung verschaffen. Der Chemiker muss als Naturforscher, sich die vertrauteste Bekanntschaft mit der chemischen Analyse und der ihm eigentümlichen Combinationslehre erworben haben, da er all seine Resultate und Schlüsse durch Versuche ausdrückt. Jeder Versuch ist ein in eine Erscheinung gebrachter Gedanke. Es gab eine Zeit, wo die Chemie nicht als eine durch Erfahrung ausgemittelte und in Regeln gebrachte Experimentierkunst war; seitdem man aber die Ursachen und Gesetze kennt, die diesen Regeln zu Grunde liegen, hat die Experimentierkunst ihre Bedeutung verloren. Das mühsame Erlernen von Handgriffen, von Verfahrensweisen, von Vorsichtsmaßregeln in der Industrie, den chemischem Gewerben, der Pharmazie, die sonderbaren Attribute des Chemisten früherer Zeit, ihre Öfen und Gefäße, sie sind zu Kuriositäten*

---

<sup>9</sup>Siegfried Heilenz, Das Liebig-Museum in Gießen (4. Aufl. Verlag der Ferber'schen Universitäts Buchhandlung Gießen 1996) 32.

<sup>10</sup>Otto L. Erdmann, Über das Studium der Chemie (Leipzig 1861) 16-18

<sup>11</sup>Friedrich Wöhler, Justus Liebig (Hrsg.) In: Annalen der Chemie und der Pharmazie. Band 33, 113-115 (Heidelberg 1840).

<sup>12</sup>Friedrich Wöhler, Justus Liebig (Hrsg.) In: Annalen der Chemie und der Pharmazie. Band 33, 113-115 (Heidelberg 1840).

# Studienplan des amerikanischen Studenten Horsford von 1846

Liebig - selbst ein „Schwarzarbeiter“ - stellte auch an seine Mitarbeiter hohe Anforderungen.

E.N. Horsford z.B. notierte im Jahre 1846 den folgenden Wochenstundenplan - weekly schedule - emploi du temps

Zur Person: Ebenezer Norton Horsford (1818 - 1893) studierte 1844 - 46 bei Liebig.

H. wurde noch 1846 zum Professor am Harvard College, New Cambridge ernannt

Er gründete die erste Chemische Lehranstalt nach Liebig's Vorbild in Amerika.

Erfindungen: Backpulver (zusammen mit Liebig) - Kondensmilch - Nahrungskonzentrat - Benzinlampe

Uhrzeit	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
6 - 7	<u>Dr. Will</u> Lötrohr - Analyse Blowpipe Analysis analyse prognostique		<u>Fresenius</u> Quantitative und Qualitative Analyse	<u>Fresenius</u> Quantitative und Qualitative Analyse	<u>Fresenius</u> Ökonomische und Technische Chemie Economic and Technical Chemistry	<u>Fresenius</u> Ökonomische und Technische Chemie Economic and Technical Chemistry	
7 - 8	" "	<u>Kopp</u> Kristallographie Crystallography	<u>Kopp</u> Kristallographie Crystallography	<u>Will</u> Qualitative Anorgan. Chemie Qualitative Inorganic Chemistry	<u>Kopp</u> Kristallographie	<u>Will</u> Qualitative Analyse	
8 - 11	<u>Dr. Will</u> Quantitative und Qualitative Analyse					Keine Laborarbeit no laboratory today	9 - Kirche church église
11 - 12+	<u>Liebig</u> Experimentalchemie						Rest des Tages gewöhnlich ein Ausflug rest of day usually on an outing le reste de journée général une excursion
Nachmittag		Essen und Entspannen dine and lounge					
3 - 6:30	Laborarbeit work in laboratory						
8 - 9:30	Deutschunterricht German lesson cours d'allemand	Spaziergehen und Entspannen walk and lounge				2 - 2:30 <u>Kopp</u> Kristalle zeichnen drawing crystals dressiner cristalles	
10:30	zu Bett to bed a lit					Besorgungen in der Stadt arrange affairs in town achats et divers	

Abbildung 1: Studienplan des Studenten Horsford nach Liebig

geworden. Alle dieses erlernt sich nicht mehr, es versteht sich von selbst, da man die Ursachen kennt, die sie notwendig gemacht haben. Das Gelingen eines Versuches, es hängt nicht mehr von der Geschicklichkeit ab, sondern von Kenntnissen, ein Missglücken beruht auf Mangel an Kenntnissen, das Entdecken auf Gewandtheit im Kombinieren und auf dem Denkvermögen. In unseren Vorlesungen machen wir die Studierenden mit dem Alphabet bekannt, in unseren Laboratorien erlernen sie den Gebrauch dieser Zeichen, sie

*erwerben sich Fertigkeit im Lesen der Sprache der Erscheinungen, die Regeln der Combinationen, Gewandtheit und Gelegenheit, diese in Anwendung zu bringen. Die Bedeutung der Zeichen und Buchstaben verliert und verwischt sich nicht mehr, wenn die zu einer geistigen Sprache sich gestaltet haben, ihre Anwendung, ihr nutzen zum Bereisen, zum Erforschen aller unbekanntem Länder, wo die nämliche Sprache gesprochen wird, wo sie zum gegenseitigen Verständnis, zur gegenseitigen Belehrung dient, ist augenfällig*<sup>13</sup>

Um die Sprache der Chemie sprechen zu können, bedarf es wie in jeder anderen Sprache einem Vokabular und einer Grammatik. Das Erlernen dieses Vokabulars, nämlich das Erlernen der chemischen Formelsprache sowie der Fachausdrücke ist dabei unabdingbar, genauso wie das Erlernen der Grammatik. Als chemische Grammatik kann man in diesem Zusammenhang getrost alle chemischen Grundgesetze und Regelmässigkeiten verstehen. Damit ergeht ein klarer Auftrag an die chemischen Institutionen, die Lehrenden aber auch gleichermaßen an die Studenten, nämlich, dass nur durch das Erlernen der Grundprinzipien der Chemie ein profundes Wissen über chemische Vorgänge und vor allem ein Verständnis derer auch möglich ist. Dazu gehören neben dem Erlernen der theoretischen Hintergründe und der Schulung des Geistes zum Verständnis chemischer Erscheinungen ebenso das eigenständige Experimentieren zum Studium der Chemie wie das täglich Brot zum Leben. Wöhler sieht damit das Experiment, den Versuch, als wesentlichen Bestandteil des chemischen Unterrichts; aber er sieht diesen Versuch nicht als bloßes Versuchen, wie es beispielsweise lange Zeit bei den Alchemisten der Fall war. Vielmehr ist die Experimentierkunst erlernbar und genau das dafür notwendige Rüstzeug sollten die Studierenden in den Vorlesungen und Laboratorien vermittelt bekommen. Dem Experiment wird damit ein ganz wesentlicher Aspekt der chemischen Ausbildung zu Teil und das Experiment bietet der Chemie damit etwas Einzigartiges, worum sie andere Disziplinen wohl beneiden dürfen, nämlich die Kraft, die Hörer zum Staunen zu bringen. Aber Experimente regen nicht nur zum Staunen an, sie verleiten fast intuitiv dazu, selber Hand anzulegen und bieten damit die Möglichkeit, die oft graue Theorie mit Farbe zu unterlegen. Wie aktuell der vorher genannte Ansatz heute noch ist, zeigt die Tatsache, dass immer mehr Schulen ihren Schwerpunkt auf die Seite der praktischen naturwissenschaftlichen Ausbildung verlagern.

Wenn nun weiterführend Wöhler davon ausgeht, dass die für das Gelingen des Experiment notwendigen Gesetze und Ursachen bekannt sind, dann bedeutet das vice versa auch, dass dem Experiment und dem Gelingen dieses Experimentes eine Theorie zu Grunde liegen muss.

---

<sup>13</sup>Friedrich Wöhler, Justus Liebig (Hrsg.) *In: Annalen der Chemie und der Pharmazie*. Band 33, 113 (Heidelberg 1840).

### 2.1.1 Justus von Liebig in Gießen

Um einen Einblick in die Arbeit und Wirkungsstätte eines Pioniers auf dem Gebiet der universitären chemischen Ausbildung zu erlangen, unternahm ich eine Reise in die kleine deutsche Universitätsstadt Gießen, wo sich heute, im ehemaligen Institutsgebäude, das Justus von Liebig Museum befindet. An genau dieser Institution revolutionierte Liebig den chemischen Unterricht, indem er, wie schon vormals erwähnt, das experimentell-chemische Arbeiten zu einem essentiellen Bestandteil des Chemiestudiums machte. Mit der Entwicklung des Dreikugelapparates vereinfachte er weiters die Elementaranalyse und stellte diese Methode somit einer großen Zahl von Chemikern zur Verfügung. Das Gebäude, in dem sich ab 1833 Liebig's erstes Labor befand, war ursprünglich ein altes Kasernengebäude. Das Labor fand samt separatem Waagenraum, Präparaterraum, Spülküche und Famuluszimmer Platz im Parterre, während das Obergeschoß von Liebig und seiner Familie als Wohneinheit benutzt wurde. In diesem ersten Labor, auch als *Altes Labor* bezeichnet, unterrichtete



Abbildung 2: Liebig's altes Labor

Liebig bis zu zwölf Studenten gleichzeitig. Bermerkenswert ist, dass es in diesem Raum weder einen Abzug im herkömmlichen Sinn, noch eine Abzugsesse gab. Entstanden beim Experimentieren unerwünschte Gase, Rauch oder Dampf, so wurden einfach die Fenster und Türen geöffnet, um für einen Durchzug zu sorgen, und dies unabhängig von Jahreszeit und Witterung. Eine weitere Möglichkeit vor unliebsamen Gasen zu flüchten, bestand darin, die Experimentiertätigkeit ins Freie, in den Innenhof der Universität, zu verlegen. Zum Bedenken ist dabei, dass auch schon bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts mit Chemikalien experimentiert wurde, deren Gefahrenpotential heute als durchaus sehr hoch eingeschätzt wird. Untersuchungen über aus der Experimentierpraxis resultierende Er-

krankungen des Universitätspersonals bzw. der Studenten gibt es in diesem Zusammenhang leider keine. Weiters gab es zu jener Zeit noch keinen Chemikalienhandel, und so mussten auch viele Grundchemikalien vor dem Beginn der Analyse hergestellt werden. Besonders stolz ist man im Museum auf eine im Original erhaltene Analysewaage, die angeblich auch heute noch auf 0,2 mg genau wiegt. Der Prozeß der Wiegung war ein sehr langwieriger und der Legende nach hat Liebig bei jeder Wägung stets eine Zigarre geraucht, während er darauf wartete, dass der Balken zur Ruhe kam und er die Masse ablesen konnte.



Abbildung 3: Liebig's Analysewaage

Nach der ersten Erweiterung 1834, in der Liebig ein Privatlabor sowie ein eigenes Schreibzimmer erhielt, wurde schon 1839 das ursprüngliche Labor erweitert, um Liebig dadurch zum Verbleib in Gießen zu bewegen; er hatte nämlich eine Angebot von der Universität St. Petersburg bekommen. Im Zuge dieser Erweiterung entstanden ein pharmazeutisches Labor, ein analytisches Labor, eine Bibliothek, ein zweites Waagenzimmer sowie ein direkt an das analytische Labor angrenzender Hörsaal. Die beiden neuen Laboratorien waren dabei mit modernstem chemischen Gerät sowie mit Abzugsessen ausgestattet. Wasser zum Reinigen der Glasgefäße erhielt man, indem man dieses durch Kieselsteine sickern ließ und in einer Zisterne im Innenhof sammelte. Der heutzutage bei Destillationsapparaturen verwendete und als *Liebigkühler* bezeichnete Kühler wurde entgegen der Namensgebung nicht von Liebig erfunden, wohl aber von ihm erstmals im großen Stil eingesetzt. Im analytischen Laboratorium gelang ihm schließlich mit der Entwicklung des Fünfkugelapparates der Durchbruch in der Elementaranalyse. Diese Elementaranalyse sollte in weiterer Folge auch eine zentrale Rolle im experimentellen Schaffen Liebigs und vieler seiner Schüler spielen. Angrenzend an das analytische Labor finden wir den Hörsaal, in welchem Liebig bis zu 100 Studenten im Zuge seiner Experimentalvorlesungen unterrichtete. Das analytische Labor dient dazu als Vorbereitungsraum und ganz so wie bei modernen chemischen Hörsälen ist der Abzug von beiden Seiten bedienbar; des weiteren bestand die Möglichkeit, den Hörsaal komplett abzudunkeln, um Experimente zur Phosphoreszenz eindrucksvoll zu demonstrieren.



Abbildung 4: Elementaranalyse inkl. Fünfkugelapparat



Abbildung 5: Liebig's Hörsaal



Abbildung 6: Analyselabor

v

- 1 Altes Labor
  - 2 Wiegezimmer
  - 3 Magazin
  - 4 Spülraum
  - 5 Schreibzimmer
  - 6 Labor des Direktors
  - 7 Liebig's Schreibzimmer
  - 8 Pharmazeutisches Labor
  - 9 Bibliothek
  - 10 Wiegezimmer
  - 11 Analytisches Labor
  - 12 Hörsaal
- 
- 1 Old laboratory
  - 2 Balance room
  - 3 Chemical storage
  - 4 Washroom
  - 5 Office
  - 6 Liebig's private laboratory
  - 7 Liebig's office
  - 8 Pharmaceutical laboratory
  - 9 Library
  - 10 Balance room
  - 11 Analytical laboratory
  - 12 Auditorium
- 
- 1 ancien laboratoire
  - 2 salle des balances
  - 3 magasin
  - 4 chambre pour le lavage
  - 5 bureau
  - 6 laboratoire du directeur
  - 7 bureau de Liebig
  - 8 laboratoire pharmaceutique
  - 9 bibliothèque
  - 10 salle des balances
  - 11 laboratoire d'analyse
  - 12 amphithéâtre

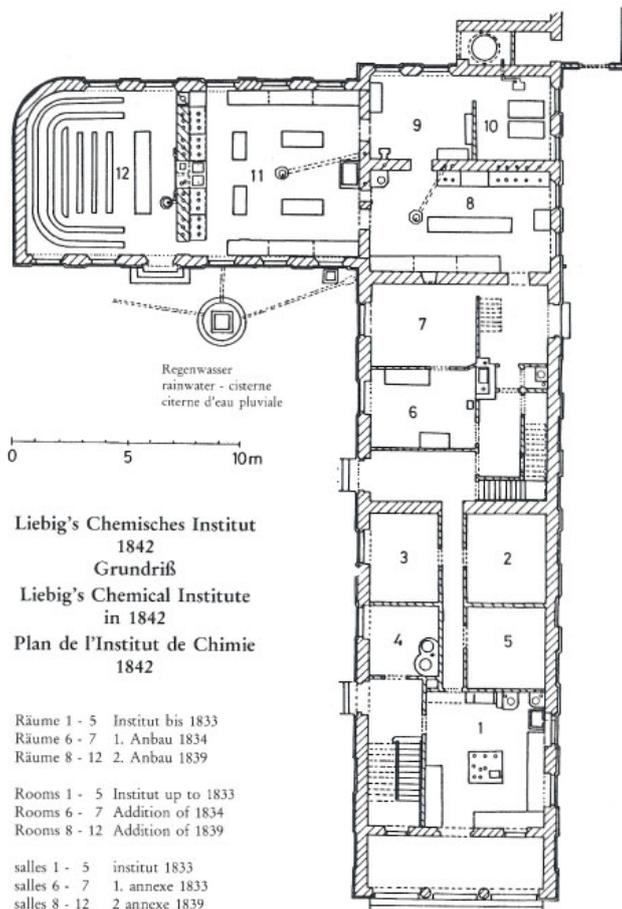


Abbildung 7: Grundriß des chemischen Instituts Gießen 1842

### 2.1.1. I Fünfkugelapparat nach Liebig

Der von Liebig entwickelte Kaliapparat, erst in späterer Folge Fünfkugelapparat genannt, dient zum Auffangen des bei der Elementaranalyse freiwerdenden Kohlenstoffdioxides.

Wie in der Abbildung ersichtlich, besteht der Apparat aus insgesamt fünf miteinander verbundenen Glaskugeln und gewährleistet in dieser Ausführung eine optimale Absorption des Kohlenstoffdioxids. Die Befüllung des Fünfkugelapparats erfolgt über ein Saugrohr und sollte etwa so weit reichen, dass in jeder der drei unteren Kugeln noch eine Luftblase übrig bleibt. Zu Beginn der Elementaranalyse wird der befüllte und gewogene Kaliapparat auf einen Korkring gebettet und eines seiner Enden mittels Kautschukschlauch mit dem Verbrennungsrohr verbunden. Nach Beendigung der Analyse muss das restliche im Fünfkugelapparat verbliebene Kohlendioxid zur Absorption in der Kalilauge über den Mund durchgezogen werden. Nach Liebig erkennt man an der Geschmacklosigkeit der durchgesogenen Luft, ob eine vollkommene Verbrennung im Verbrennungsrohr stattgefunden hat und die Analyse somit geglückt ist. Aus der relativen Gewichtszunahme des Fünfkugelapparates kann nun auf die elementare Zusammensetzung der zu analysierenden Verbindung geschlossen werden.<sup>14</sup>



Abbildung 8: Fünfkugelapparat

Im Andenken an Justus von Liebig verwenden eine Vielzahl von Institutionen, wie beispielsweise die American Chemical Society den Fünfkugel- bzw. Kaliapparat in ihrem Logo.

## 2.2 Die Rolle der Theorie in der Lehre

Sir Robert Boyle postulierte in seinem Werk *The Sceptical Chemist*, dass das wesentliche Merkmal einer Naturwissenschaft die Theorie darstellt und dass alle Theorie auf den Grundlagen experimenteller Beobachtungen aufgebaut werden muss.

Svante Arrhenius sieht die Ursprünge der Chemie in der Erforschung von Problemen

<sup>14</sup>Justus Liebig, *Anleitung zur Analyse organischer Körper* (2., umgearb. und verm. Aufl. Braunschweig 1853) 4f.

aus der alltäglichen Praxis. So gehen beispielsweise Lavoisiers Untersuchungen über die Verbrennung und weiters seine Oxidationstheorie auf eine Ausschreibung bezüglich der Installation einer neuen Straßenbeleuchtung in der Stadt Paris zurück. In einer seiner Vorlesungen vergleicht Arrhenius die Arbeit eines Wissenschaftlers anschaulich mit der eines Ingenieurs, der versucht zwei durch ein Bergmassiv getrennte Städte möglichst effizient miteinander zu verbinden.<sup>15</sup>

*Die Arbeit eines Experimentators, der ohne den leitenden Einfluss einer Theorie die Beziehung zweier Faktoren zu finden sucht, die von Einfluss auf eine Erscheinung sind, lässt sich mit der Arbeit eines Ingenieurs vergleichen, der zwei Städte, die auf den entgegengesetzten Seiten einer Bergkette liegen, durch einen Tunnel miteinander verbinden will, und der den ganzen Berg abträgt, um sicher zu sein, die kürzeste und bequemste Verbindung zu finden. Der wissenschaftliche Arbeiter, der eine Theorie benutzt, bildet sich eine Meinung, welches der beste Weg zur Lösung des Problems sei. Er ist mit dem Ingenieur zu vergleichen, der durch vorhergehende Erwägung eine Ansicht über die relative Lage der zwei Städte und der Bergkette gewonnen hat, und mit Hilfe seiner Instrumente die Richtung angibt, in der zu beiden Seiten des Berges Arbeiter das Tunnelloch bohren müssen. Wenn die Ansicht des Ingenieurs nicht ganz korrekt war, so werden die Richtungen, die er angegeben hat, sich in der Mitte des Berges nicht genau treffen, sondern die Achse des einen Bohrloches wird einige Meter von der des anderen entfernt liegen. Dafür müssen hinterher kleine Korrekturen angebracht werden indem man am Treffpunkt das Bohrloch erweitert. Ebenso mögen die theoretischen Betrachtungen den wissenschaftlichen Arbeiter etwas abseits führen, sie müssen dann ein wenig korrigiert und verbessert werden. Aber mit Hilfe seiner quantitativen Messungen findet er das Naturgesetz, das die beiden zu prüfenden Faktoren verbindet.*<sup>16</sup>

Bei genauerer Betrachtung dieser Analogie erkennt man, dass die Theorie und damit wohl auch die theoriegeleitete Wissenschaft einen wesentlich Beitrag zur Lösung einer Fragestellung liefert. Eine aufgestellte Theorie, ausgehend von einer Hypothese, vermag zwar vielleicht nicht auf Anhieb der Weisheit letzter Schluss sein, doch kann sie durch entsprechende Korrekturen darauf getrimmt werden, von einem Problem auf ein anderes transferiert zu werden. Wenn auch das Abtragen des Berges auf den ersten Blick viel eher zu einem Ziel führen würde, ist diese Variante im Endeffekt mit einer wesentlich größeren Anstrengung verbunden als eine theoriegeleitete Bohrung. Setzt man dieses Gedankenexperiment nun weiter fort und versucht, die beiden Problemlösungsstrategien auf den Bau eines weiteren Tunnels anzusetzen, dann muss man einsehen, dass man die gewonnenen Erfahrungen und Regelmäßigkeiten, sprich die Theorie, aus dem ersten Bauprojekt auf das nächste Projekt projizieren kann. Damit entsteht mit Hilfe einer Theorie eine universell anwendbare Problemlösungsstrategie.

*Als Grundlage für die Theorie dient hierbei eine Hypothese, welche auf einer Reihe vorläufiger Messungen beruht. Die Theorie entspricht dabei aber keinesfalls der absoluten Wahrheit, sondern sie sollte nur als Hilfsmittel betrachtet werden. „Sie sprechen z.B. der Emissionstheorie des Lichtes den Wert ab, weil sie von der Schwingungstheorie des Lichtes*

---

<sup>15</sup>Svante Arrhenius, Theorien der Chemie. Nach Vorlesungen gehalten an der Universität von Kalifornien zu Berkeley (Leipzig 1909) 3.

<sup>16</sup>Svante Arrhenius, Theorien der Chemie. Nach Vorlesungen gehalten an der Universität von Kalifornien zu Berkeley (Leipzig 1909) 3-7.

tes abgelöst worden ist, und da sie hören, dass auch diese Theorie gestürzt ist und durch die elektromagnetische Lichttheorie ersetzt ist, so schütteln sie ihr Haupt und vertrauen uns an, dass sie es für besser hielten, die Zeit für die Ausarbeitung von Theorien zu sparen, und sie statt dessen für Versuche zu verwenden. Die Ansicht dieser Leute ist ebenso begründet, wie die eines Handwerkers, der sein Werkzeug wegwirft, weil doch früher oder später verfeinerte Maschinen an die Stelle treten werden. Oft hört man auch die Ansicht, dass eine Theorie keinen Wert hat, weil es möglich sein könnte, eine andere Theorie auf anderer Grundlage auszuarbeiten. Das ist gerade so gescheit, wie wenn man ein Instrument, das man besitzt, wegwerfen wollte, weil es vielleicht möglich sein könnte, ein besseres Instrument aus anderem Material zu bauen, ohne zu warten bis es da ist und schneller oder besser arbeitet als das alte. Als was kann man sich aber nun eine Hypothese vorstellen? Eine Hypothese hat eine qualitative Bedeutung und sagt nichts über die Quantität aus. Allerdings ist es im allgemeinen möglich, eine Hypothese mittels quantitativer Messung zu einer Theorie umzuarbeiten. Mit Hilfe der neuen Theorie entdeckt man neue Beziehungen zwischen verschiedenen Faktoren oder neue Regeln, die zu neuen Vorstellungen, d.h. zu neuen Hypothesen führen. Diese können wiederum später zu Theorien ausgearbeitet werden, die mit der alten Theorie in Verbindung stehen, aus der sie sich entwickelt haben. Diese neuen Theorien können dann als Zweige der alten angesehen werden, und indem in derselben Richtung weitergearbeitet wird, wird ein System von Nebentheorien entwickelt, welche alle mit der Haupttheorie verbunden sind. Diese Entwicklung der theoretischen Systeme ist das Kennzeichen der modernen exakten Wissenschaft. Keine andere Arbeit hat den Charakter der modernen Wissenschaft so deutlich ausgeprägt, wie die theoretische Entwicklung.<sup>17</sup>

Am Anfang der Theoriefindung steht die Beobachtung einer Erscheinung und die greifbare und nachvollziehbare Beschreibung dieser durch Messungen. Diese Messungen bilden bei sowohl entsprechender Qualität der Beschreibung als auch der Messung die Basis auf der Regelmäßigkeiten und Gesetzmäßigkeiten erkannt werden können. Auf Grund dieser erkannten Gesetzmäßigkeiten ist es nun möglich, eine Hypothese zu erstellen und zu überprüfen, ob diese auch bei verwandten bzw. ähnlichen Problemstellungen ihre Gültigkeit behält. Erst dann kann aus der Beantwortung der hypothetischen Fragestellung eine entsprechende Theorie ausgearbeitet werden.

Dabei ist es gar nicht zweckdienlich, aus Furcht davor, dass eine Hypothese falsch oder eine Theorie nicht vollständig ist, aus Bequemlichkeit in Erwartungshaltung zu verharren und abzuwarten, bis eine auf den ersten Blick bessere Theorie veröffentlicht wird. Dann nämlich würde man einerseits Gefahr laufen, dass diese Theorie vielleicht gar nicht den erhofften Durchbruch bringt und andererseits zu viel Zeit mit Warten verbracht haben, ohne einen wertvollen Beitrag zur Wissenschaft geliefert zu haben. Die Hypothese und in weiterer Folge auch die daraus resultierende Theorie werden zur Grundlage der Chemie als Wissenschaft. Allerdings kann keine Theorie den Anspruch auf Allgemeingültigkeit oder Vollkommenheit stellen, denn im Prozess der Forschung ist es nur allzu natürlich und verständlich, dass neuere Theorien alte erweitern, oder gar ablösen können.

Welchen Einfluss hat nun eine Theorie oder die Theorie in ihrer Allgemeinheit auf die Wissenschaft? Der aktuelle Stand der Wissenschaft ist in gewisser Art und Weise immer ein

---

<sup>17</sup>Svante Arrhenius, Theorien der Chemie. Nach Vorlesungen gehalten an der Universität von Kalifornien zu Berkeley (Leipzig 1909) 8.

Spiegelbild zum jeweiligen Zeitraum auf breitem Raum anerkannter Theorien bzw. Theoriegebilde. Das geht sogar soweit, dass sich aus diesen Theoriegebilden Modelle entwickeln können und dabei durchaus Modelle verschiedener Theorien parallel zueinander existent sind. Man muss sich ja beispielsweise nur vor Augen führen, dass je nach Problemstellung das Bohr'sche Atommodell oder das wellenmechanische Atommodell zur Erklärung von Bindungsvorgängen zwischen Atomen herangezogen werden.

## 3. Der Stand der Wissenschaft

Dieses Kapitel soll einen Einblick gewähren in die Vorstellung über die Beschaffenheit und den Aufbau der Materie um die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert. Erläutert werden dabei die Atommodelle nach Thomson, Bohr und Rutherford, da es gelang, mit Hilfe derer, Reaktionen der anorganischen Chemie in der Elektronenhülle entsprechend den jeweiligen Modellvorstellungen schlüssig und plausibel zu erklären.

### 3.1 Atommodell nach Thomson um 1903

Aus den Betrachtungen zur elektrischen Entladung resultiert die Erkenntnis, dass diese mit Hilfe sehr kleiner Partikel, den Elektronen, zustande kommt. Diese Elektronen sind nicht größer als der siebzehnhundertste Teil des Wasserstoffatoms, besitzen allerdings eine gleich große Ladung entgegengesetzten Vorzeichens wie das Wasserstoffatom. Somit tritt anstelle des von Proust postulierten Wasserstoffatoms als kleinstes Teilchen das Elektron. Untermuert wird diese Hypothese teilweise durch Lenards Untersuchungen über die Absorption von Kathodenstrahlen. Philipp Lenard konnte dabei nachweisen, dass Kathodenstrahlen von großer Geschwindigkeit von jeweils der selben Menge an Materie gleich stark absorbiert werden, gleichgültig ob diese Materie aus Atomen von Gasen, wie Wasserstoff oder Sauerstoff, oder aus Atomen von Metallen oder Glas in fester Form besteht.<sup>18</sup> Thomson geht also auf dem Weg der Atomtheorie einen Schritt weiter und erkennt, dass nicht wie bisher angenommen das Wasserstoffatom das kleinste existente Teilchen ist, sondern dass es ein weitaus kleineres Teilchen geben muss, das zusätzlich noch für die elektische Ladung verantwortlich ist, nämlich das Elektron. Arrhenius erklärt die Existenz von Elektronen folgendermaßen:

*Diese Tatsache ist leicht zu verstehen, wenn man annimmt, dass Materie aus Elektronen zusammengesetzt ist und dass dieselbe Masse von Materie immer aus der gleichen Anzahl Elektronen besteht, die in den verschiedenen Stoffen in verschiedener Weise angeordnet sind. Wenn die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen abnimmt, wird der Einfluss der Art des Materials größer. Das beruht wahrscheinlich auf der Stellung der elektrischen Ladungen auf den Atomen, die eine merkliche Ablenkung der elektrisch geladenen Kathodenstrahlen hervorzubringen imstande sind, soweit deren Geschwindigkeit nicht außerordentlich groß ist. Die Tatsache, dass ein Kathodenstrahl Metallblätter bis zu 0,03 mm Dicke zu durchdringen vermag, zeigt, dass die Elektronen durch Tausende von Molekülen hindurchgehen können. Zwischen den Elektronen, die das Metallmolekül aufbauen, müssen*

---

<sup>18</sup>Svante Arrhenius, Theorien der Chemie (Leipzig 1909) 95-102.

daher große Zwischenräume frei sein. Die positiv geladenen Teile der Atome sind, wie zahlreiche Untersuchungen über Anodenstrahlen zeigen, von ungefähr der selben Größe, wie die Atome selbst, und man nimmt deshalb an, dass sie aus den Atomen der bei der Entladung teilnehmenden Gase, welche eine oder mehrere negativ geladenen Elektronen abgegeben haben, bestehen.<sup>19</sup>

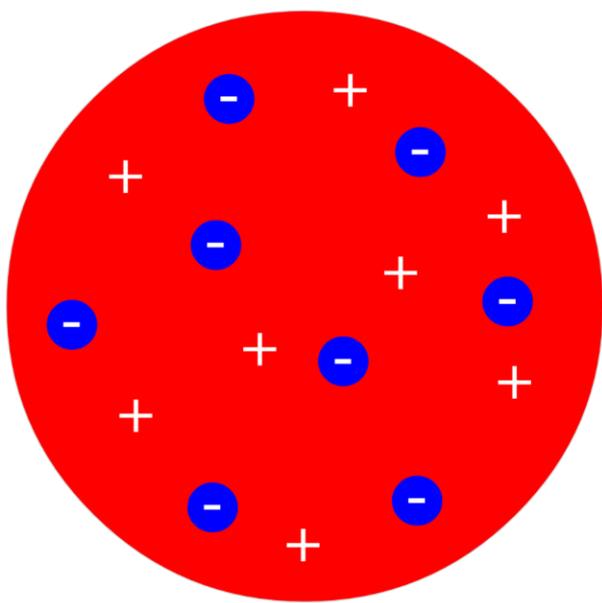


Abbildung 9: Atommodell nach Thomson

Dabei unterscheidet Sir Joseph J. Thomson allerdings noch nicht zwischen dem Atomkern und der Atomhülle, sondern nimmt resultierend aus seinen Versuchen an, dass positiv geladene Massen sich gleichmäßig mit der negativen Ladung im ganzen Atom verteilen. Dieses Modell liefert heute, auch wenn es überholt ist, einen wertvollen Beitrag zur Veranschaulichung über die Entwicklung der Atomtheorie von Demokrit bis hin zum wellenmechanischen Modell und der Orbitaltheorie. Weiters lässt sich daran veranschaulichen, dass eine Theorie keinesfalls ein in Stein gemeißeltes Gesetz ist, sondern dass hier

und da, ganz wie in dem Beispiel mit dem Tunnelbau, Verfeinerungen und Anpassungen durchgeführt werden müssen.

Nach der Atomtheorie von Thomson sollte es nur eine Spektrallinie des Wasserstoffes geben, was aber in klarem Widerspruch zu experimentellen Daten steht. Zu bemerken ist hierbei, dass das komplizierte Linienspektrum des Wasserstoffs zunächst unverstanden blieb.<sup>20</sup>

<sup>19</sup>Svante Arrhenius, Theorien der Chemie (Leipzig 1909) 95-102.

<sup>20</sup>Gunnar Lindström, Rudolf Langkau, Wolfgang Scobel, Physik kompakt 3. Quantenphysik und Statistische Physik (Berlin/Heidelberg 2002) 82.

## 3.2 Das Rutherford-Bohr'sche Atommodell um 1909-1911

Rutherford hat Lenard's Annahme, dass die Masse eines Atoms nicht gleichmäßig in diesem verteilt ist, weiterentwickelt und angenommen, dass nahezu die gesamte Masse eines Atoms in seinem Kern konzentriert ist. Somit muss laut Rutherford auch die gesamte Anzahl der positiven Ladungsträger im Kern versammelt sein. Seine Annahme begründet er mit den Ergebnissen eines Versuches – heute als Rutherford'scher Streuversuch bekannt – nämlich, dass eine Goldfolie bei Beschuss mit Alpha-Teilchen nur für einen sehr geringen Anteil der Alpha-Teilchen undurchlässig ist. Daraus schließt er weiters, dass der Atomkern im Vergleich zur gesamten räumlichen Ausdehnung des Atoms sehr klein sein muss. Bei der Annahme, dass negative Elektronen um den positiv geladenen Atomkern kreisen, handelt es sich um eine Hilfskonstruktion bzw. ein Modell, um zu erklären, warum diese nicht vom entgegengesetzt geladenen Kern angezogen werden. Allerdings müssten diese Elektronen stetig an Energie verlieren und irgendwann in den Kern stürzen, da sie auf Grund ihrer Rotationsbewegung eigentlich einen Induktionsstrom erzeugen müssten.<sup>21</sup>

Bohr kam darauf hin zu der Annahme, dass sich Elektronen nur immer auf bestimmten Bahnen bewegen können, ohne Energie abzugeben und in weiterer Folge deshalb nicht zwingend in den Kern stürzen müssen. Begründet sah er diese Annahme dadurch, dass ein bestimmtes Atom, wenn es zum Leuchten angeregt wird, nur Licht einer bestimmten Wellenlänge ausstrahlt. Dem zur Folge springen lichterzeugende Elektronen von einer äußeren Bahn auf eine Bahn näher dem Kern und verlieren somit an potentieller Energie. Dabei können auch mehrere Bahnen übersprungen werden; allerdings kann das Elektron niemals zwischen den Bahnen zur Ruhe kommen. Bohr spricht in diesem Zusammenhang von Schalen und vergleicht diese mit einer stehenden Wasserwelle in deren Zentrum der Atomkern lokalisiert ist. Gemäß dieser Modellvorstellung schwimmen Elektronen wie kleine Schiffchen in den Wellentälern umher, welche, sollten sie durch einen Zufall auf einen Wellenberg gehoben werden sofort wieder ins Wellental zurückgleiten würden. In diesen Wellentälern kann allerdings nur eine bestimmte, beschränkte Anzahl von Schiffchen ihren Platz finden. Wenn nun die maximale Anzahl der Schiffchen in einem Wellental erreicht ist, bilden diese einen stabilen Ring und kein Schiffchen kann mehr aus diesem Wellental abgetrieben werden. Für Elektronen bedeutet das, dass Elektronen welche eine geschlossene Schale bilden nur durch besonders starke Kräfte aus ihrem Verband entfernt werden können und diese deshalb auch keine Spektrallinien liefern.<sup>22</sup>

Damit gelang es Bohr ein Atommodell zu schaffen, welches noch in diesen Tagen im Schulunterricht, aber auch im Rahmen der universitären anorganischen Chemie Erklärungen über Bindungsverhalten einzelner Atome und den daraus resultierenden Bindungsvorgängen

---

<sup>21</sup>Hans *Reihlen*, Remsen's Einleitung in das Studium der Chemie (10., völlig neubearb. Aufl. Dresden/Leipzig 1939) 236-238.

<sup>22</sup>Hans *Reihlen*, Remsen's Einleitung in das Studium der Chemie (10., völlig neubearb. Aufl. Dresden/Leipzig 1939) 238-240.

liefert. Weiters konnten mit Hilfe des Bohr'schen Atommodells auch die Existenz der Spektrallinien des Wasserstoffs erklärt werden.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass damit die Erforschung der kleinsten Teile der Erde, welche mit Demokrit im antiken Griechenland begann, keinesfalls zu einem Ende gekommen ist, sondern, dass auf das Rutherford-Bohr'sche Atommodell noch weitere Modelle folgen werden, die es geschafft haben, immer tiefer in die Struktur der für uns sichtbaren Materie vorzudringen. An dieser Stelle sei beispielsweise das Wellenmechanische Atommodell erwähnt, welches seinen Weg auf Grundlage der von Erwin Schrödinger aufgestellten Gleichung mehr oder weniger gleich ums Eck der Wiener chemischen Institute fand. Mit dem Wissen um den Aufbau der Atome wurde somit eine Grundlage geschaffen, auf der andere weiterführende Theorien aufbauen konnten. Somit konnte aus einer die Erscheinungen beschreibenden Chemie eine Wissenschaft entstehen, welche die Ursachen dieser Erscheinungen kennen und verstehen gelernt hat. Doch auch wenn diese Theorien sehr viel Licht ins Dunkel der Materie bringen konnten, erheben auch sie keinen Anspruch auf die absolute Wahrheit, wie die Weiterentwicklung der Atomtheorie bis heute beweist. Dabei löst meiner Meinung nach nicht einfach eine Theorie die andere ab, sondern die jeweils vorhergehende geht in der nächsten Theorie auf. Das gilt auch für den Fall, wenn sich eine Theorie als grundlegend fehlgeleitet herausstellen sollte; denn auch dann war dieser Schritt in die falsche Richtung der Fingerzeig in eine andere, womöglich richtige Blickrichtung.

Gemäß dem Sprichwort *men sano in corpero sano* benötigt auch der forschende Geist eine gesunde Stätte, in welcher er sich entfalten kann. Wie wichtig dabei bauliche Voraussetzungen sowie räumliche Ausstattung für Forschung und Lehre sind, wurde bereits am Beispiel von Liebig's Universität in Gießen erläutert. Nun war Gießen keinesfalls der einzige Universitätsstandort im deutschsprachigen Raum, an dem sich ein eigener Lehrstuhl der Chemie entwickelte. Die Einrichtung eines eigenen Lehrstuhles bzw. überhaupt einer eigenen Studienrichtung bedeutet nicht nur eine organisatorische Umstrukturierung, sondern verlangt auch nach baulich notwendigen Maßnahmen, um eine adäquate Umgebung für Forschung und Lehre zu schaffen.

## 4. Die Entwicklung der Chemie an der Universität Wien

Besichtigt man die verschiedenen Gebäude der Universität Wien, so vermag man den Schriftzug *Chemisches Institut* an manch eher ungewöhnlichem Ort auffinden, wie beispielsweise noch schwach lesbar am Portal neben der Philosophenstiege im Hauptgebäude der Alma Mater Rudolphina. Die Entstehung der einzelnen Institute an der Universität Wien ist bei genauerer Betrachtung eng verknüpft mit dem Werdegang der Chemie als Wissenschaft; von der Hilfswissenschaft der Medizin hin zu einer selbstständigen naturwissenschaftlichen Disziplin.

Die Idee chemische Vorlesungen an der Universität Wien abzuhalten, bestand schon zur Regierungszeit Joseph II, wurde aber auf Grund der damaligen Sparpolitik nicht umgesetzt. Im Zuge einer Neustrukturierung der Studienrichtungen an der Universität Wien wurde im Jahre 1849 die Lehrkanzel der Chemie der philosophischen Fakultät zugeordnet und unter Dr. Joseph Redtenbacher entstand im Gebäude des heutigen Theresianums das I. Chemische Laboratorium der Universität Wien. Damit wurde der Grundstein für Vorlesungen über allgemeine, medizinisch-pharmazeutische und analytische Chemie sowie für analytisch-chemische Praktika gelegt. Die Hörer der chemischen Vorlesungen setzten sich aus Studenten der Philosophie, Medizin und Pharmazie zusammen, was dazu führte, dass bald der Ruf nach einem eigenen Institutsgebäude laut wurde.<sup>23</sup>

Das II. Chemische Laboratorium und somit ein zweiter chemischer Lehrstuhl entstand schließlich als Übergangslösung bis zu einem Neubau, in Zusammenarbeit mit dem Kriegsministerium in der in Auflösung begriffenen Josepfsakademie, unter Institutsvorstand Prof. Dr. Friedrich Rochleder.<sup>24</sup>

Die Josepfsakademie in der Währingerstraße 25 ist heute besser bekannt unter dem Namen Josephinum und beherbergt das Institut für Geschichte der Medizin der Medizinischen Universität Wien.

Nach langer Planung, zähen Verhandlungen mit dem Finanzministerium und erst durch eine Entschließung des Kaisers konnte schließlich der Studienbetrieb im Wintersemester 1872/73 in einem eigenen Institutsgebäude in der heutigen Währingerstraße 10 aufgenom-

---

<sup>23</sup>Helga *Michl*, Geschichte des Studienfaches Chemie an der Universität Wien in den letzten hundert Jahren (ungedr. geisteswiss. Diss. Wien 1950) 21-27.

<sup>24</sup>Helga *Michl*, Geschichte des Studienfaches Chemie an der Universität Wien in den letzten hundert Jahren (ungedr. geisteswiss. Diss. Wien 1950) 43.

men werden. Allerdings stellte sich auch dieser Neubau schon bei der Eröffnung als zu klein dar, da der Platzbedarf lediglich für ein chemisches Laboratorium berechnet und somit nicht für beide Wiener chemische Laboratorien ausreichend war.<sup>25</sup>

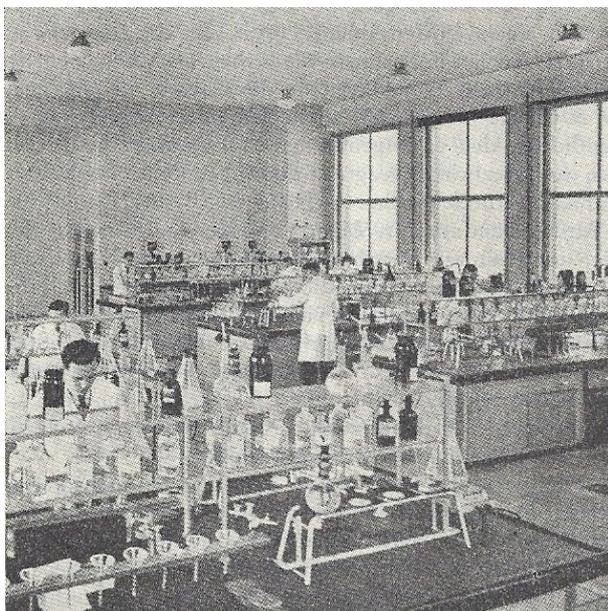


Abbildung 10: Labor zur Jahrhundertwende

Somit konnte erst gut drei Jahrzehnte nachdem Liebig's Universität voll ausgebaut war in Wien ein eigenes Institutsgebäude seiner Bestimmung übergeben werden.

Resultierend aus der Platznot im neu geschaffenen Institutsgebäude und dem Bestreben einer Erhöhung der chemischen Lehrstühle wurde schließlich 1870 unter der Leitung von Dr. Ernst Ludwig das III. Chemische Laboratorium in der Wiener Handelsakademie, welches aber in weiterer Folge in das alte Universitätsgebäude umgesiedelt wurde, gegründet. Dieses III. Laboratorium wurde schließlich 1909 dem II. Chemischen

Laboratorium eingegliedert und als dessen Zweigstelle geführt. Der Bau des heutigen Gebäudes in der Währingerstraße 38-42 wurde bereits seit 1907 betrieben und beide chemische Laboratorien der Universität Wien fanden ab dem Wintersemester 1921/22 ihren Platz im neu errichteten Institutsgebäude. Institutsvorstand des II. Chemischen Laboratoriums war zu jener Zeit Prof. Dr. Ernst Späth, zu dessen Mitarbeitern auch Dr. techn. Fritz Feigl gehörte.<sup>26</sup>

## 4.1 Grundlegende Ausstattung und Beschaffenheit von Vortragsräumen

Beim Vergleich der Hörsäle in Gießen und des großen Hörsaales der Wiener chemischen Institute, heute Carl Auer v. Welsbach Hörsaal wird augenscheinlich, dass beiden Hörsälen, wenngleich sie auch in der Größe weit differenzieren, ähnliche Ideen zu Grunde liegen. Wenn man Liebig's Universität tatsächliche eine Vorreiterrolle zukommen lässt, dann ist das auch gar nicht verwunderlich.

Einen sehr ähnlichen Archetyp, wie denn ein Hörsaal aufgebaut bzw. beschaffen sein sollte, entwickelte Prof. Dr. Arendt in seinem Werk *Technik der Experimentalchemie. An-*

<sup>25</sup>Helga Michl, Geschichte des Studienfaches Chemie an der Universität Wien in den letzten hundert Jahren (ungedr. geisteswiss. Diss. Wien 1950) 63.

<sup>26</sup>Helga Michl, Geschichte des Studienfaches Chemie an der Universität Wien in den letzten hundert Jahren (ungedr. geisteswiss. Diss. Wien 1950) 304-312.

*leitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht*, welches wohl Anlehnung in Gießen genommen hatte, aber auch eine Weiterentwicklung darstellt.

Inwieweit die bauliche Beschaffenheit des Wiener Hörsaals mit beiden Entwürfen zusammenhängt wird sich wohl nicht restlos klären lassen. Als gesichert gilt jedoch die Tatsache, dass im Jahre 1868 die Planer des ersten chemischen Institutsgebäude in Wien, Dr. Redtenbacher und der Architekt des Hauptgebäudes der Universität Wien, Heinrich von Ferstel eine ausgedehnte Studienreise nach Deutschland unternahmen, die sie unter anderem auch nach Gießen zu Liebig führte.<sup>27</sup>

### 4.1.1 Hörsaal

Das zentrale Element in jedem Hörsaal stellt der aus massivem Mauerwerk ausgeführte Experimentiertisch  $E$  dar, vor dem unmittelbar ein verschließbarer Abzug  $N$ , welcher mit zwei Abzugsessen  $a$  und  $b$  verbunden ist, steht. Dabei ist dieser von der Wand abgerückt, damit durch ein Zurückrücken der links und rechts davon aufgestellten Chemikalienschränke  $c$ ,  $d$ ,  $e$  das volle Tageslicht auf den durch Glasscheiben verschlossenen Arbeitsraum des Abzuges fallen kann. Zu achten ist dabei darauf, dass der Abzug mit einer gut ziehenden Abzugsesse verbunden ist, damit die abzuleitenden Gase mittels eines Rohres über das Dach abgeleitet werden können. Dieses Rohr sollte sich nach oben allmählich erweitern, mit einer Ventilationskappe versehen sein und höher liegen als die Dachfirste der umliegenden Gebäude; andernfalls würde die Gefahr bestehen, dass die Esse eher ein Zuzug, denn ein Abzug sei. Ein weiteres Rohr ist unterirdisch mit dem Experimentiertisch verbunden und ermöglicht es somit, auch Experimente mit abzuleitenden Gasen am Experimentiertisch durchzuführen. Um den Zug des Abzuges zu beschleunigen, sind in den unteren Teilen der Rohre Gasbrenner mit weiter Öffnung installiert, welche während des Arbeitens entzündet werden. Zur Gewährleistung, dass die Chemikalien und Apparate dem Experimentator möglichst nahe sind, ist es geschickt, die Chemikalienschränke  $f$ ,  $g$ ,  $h$  unmittelbar neben dem Abzug an der rückwärtigen Wand aufzustellen. Weitere Schränke können an der seitlichen bzw. rückwärtigen Wand des Hörsaales ihren Platz finden. Mikroskopische Bilder werden über die Köpfe der Studierenden hinweg mittels einer Linnemann'schen Zirkonlampe  $u$  auf einen Schirm  $s$  projiziert. Die Bänke für die Studierenden  $m$  sind im Entwurf nach hinten hin ansteigend angeordnet, um auch von den hinteren Reihen einen ungestörten Blick auf den Experimentiertisch gewährleisten zu können. Sämtlich Leitungsrohre für Wasser und Gas  $x$  verlaufen dabei in dickeren Bleirohren zusammengefasst unterirdisch. Im linken hinteren Eck finden wir zwei Standgasometer  $K$  zur Bevorratungen von Gasen wie beispielsweise Sauerstoff oder Wasserstoff. Die handbetriebene Dynamomaschine  $Q$  neben dem Podium  $P$ , auf welchem sich die Sitzbänke der

---

<sup>27</sup>Helga *Michl*, Geschichte des Studienfaches Chemie an der Universität Wien in den letzten hundert Jahren (ungedr. geisteswiss. Diss. Wien 1950) 310.



Studierenden befinden, ist ebenfalls über, unter der Oberfläche verlegten, Leitungsdrähten  $z$  mit den elektrischen Polklemmen am Experimentiertisch bzw. in der Abzugsesse verbunden. <sup>28</sup> Unter einer Linnemann'schen Zirkonlampe versteht man ein Gasglühlicht, resultierend aus einer Sauerstoff-Leuchtgasflamme, die auf eine Zirkonscheibe wirkt. Dabei wird die Zirkonscheibe ( $ZrSiO_4$ ) weißglühend und sendet laut Beschreibung Linnemanns Licht in der Stärke der Größenordnung von ca. 120 Kerzen aus.<sup>29</sup>

Der Blick auf den Grundriss lässt erahnen, mit welcher Sorgfalt und praktischer Liebe zum Detail dieser Entwurf entstand. Deutlich zu erkennen ist dabei die unterirdische Verbindung  $a$  des Experimentiertisches  $E$  mit der Abzugsesse  $N$  am unteren Rand des Grundrisses.

Wir wollen uns nun diesen von Arendt entworfenen Prototyp eines idealen Hörsaales etwas genauer ansehen und diesen mit dem Carl Auer v. Welsbach-Hörsaal vergleichen.



Abbildung 13: Carl Auer v. Welsbach Hörsaal

Wenngleich der Wiener Hörsaal in seiner Gesamtheit wesentlich größer dimensioniert ist als der bei Arendt beschriebene oder aber auch der in Gießen befindliche Hörsaal, so

<sup>28</sup>Rudolf *Arendt*, Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 3-13.

<sup>29</sup>Wilhelm *Gentsch*, Gasglühlicht, dessen Geschichte, Wesen und Wirkung. Vorläufer des heutigen Gasglühlichtes *In: Dingers Polytechnisches Journal*, Jahrg. 76, Bd. 295, Heft 9. Stuttgart, 1. März 1895.

stimmt er doch in wesentlichen Elementen mit diesem Entwurf überein. Der Carl Auer v. Welsbach Hörsaal, der in seiner heutigen Form nahezu dem Originalzustand bei der Eröffnung im Jahre 1921 entspricht, hat Kapazitäten für annähernd 360 Studierende, wobei das Auditorium auf zwei Ebenen aufgeteilt ist. Das zentrale Element ist auch hier der massive Experimentiertisch und dahinter der Abzug samt Tafeln und Projektionsleinwänden. Bei Fertigstellung desselbigen war dieser bereits an das vorhandene städtische Gleichstromnetz angeschlossen und auch der Abzug dürfte bereits mit elektrischem Licht versehen gewesen sein, was wahrscheinlich eine Erklärung dafür sein könnte, warum er baulich nicht von der Wand hervortritt. Auf Grund der Verfügbarkeit elektrischen Stromes ist auch anzunehmen, dass bereits der Abzug als solcher mit einer elektrischen Ventilation versehen war.

#### 4.1.2 Experimentiertisch

Der Experimentiertisch ist ganz aus Eichenholz gearbeitet und das Tischblatt eine dreifach gut verleimte Eichenholzplatte; die mittlere Platte mit längs, die obere und untere mit quer gerichteten Holzfasern. Sie kann sich infolgedessen weder nach oben, noch nach unten werfen. An der dem Experimentator zugewandten Seite hat das Tischblatt eine Ausziehplatte für die pneumatische Wanne und dicht daneben einen Ausschnitt für das Ventilationsrohr. Unter dem Tischblatt ist in seiner ganzen Länge und Breite ein freier, offener Raum gelassen, welcher an der Vorderseite durch ein herausnehmbares Brett verschlossen ist. In diesem Raum verzweigen sich die zu den Brennern führenden Gasrohre.<sup>30</sup>

Betrachtet man diesen Entwurf, so erkennt man sowohl Zuleitungen für Gas als auch für Wasser sowie eine Art Abzugsglocke für Gase. Weiters erkennbar sind eine offensichtlich versenkbare pneumatische Wanne, mit Aufnahme für ein Quecksilberbrett, sowie diverse Ablassöffnungen für Wasser.

Der Experimentiertisch der Universität Wien ist ebenso wie der Hörsaal um einiges größer dimensioniert; genauer gesagt handelt es sich hierbei um zwei baugleiche Experimentiertische, welche durch ein drehbares Rednerpult voneinander abgetrennt sind. Die Projektionsleinwand hinterhalb des Experimentiertisches bietet im Vergleich zum Arendt'schen Entwurf den Vorteil, dass der Experimentiertisch und auch der Redner während einer Projektion noch zu sehen sind. Die Tischplatten sind in diesem Fall allerdings nicht als durchgehende, hölzernen Platten gefertigt, sondern sind von gefliesten Bereichen unterbrochen. Der Vorteil der Fliesen dürfte einerseits die höhere Hitzebeständigkeit gegenüber den Holzplatten sein und andererseits die erhöhte Resistenz gegenüber Flüssigkeiten aller Art. Auf einem der beiden Experimentiertische ist zusätzlich noch eine Steinplatte eingelassen, die wohl auch größeren mechanischen Beanspruchungen eher standhält als die gefliesten Bereiche des Tisches.

---

<sup>30</sup>Rudolf *Arendt*, Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 14.

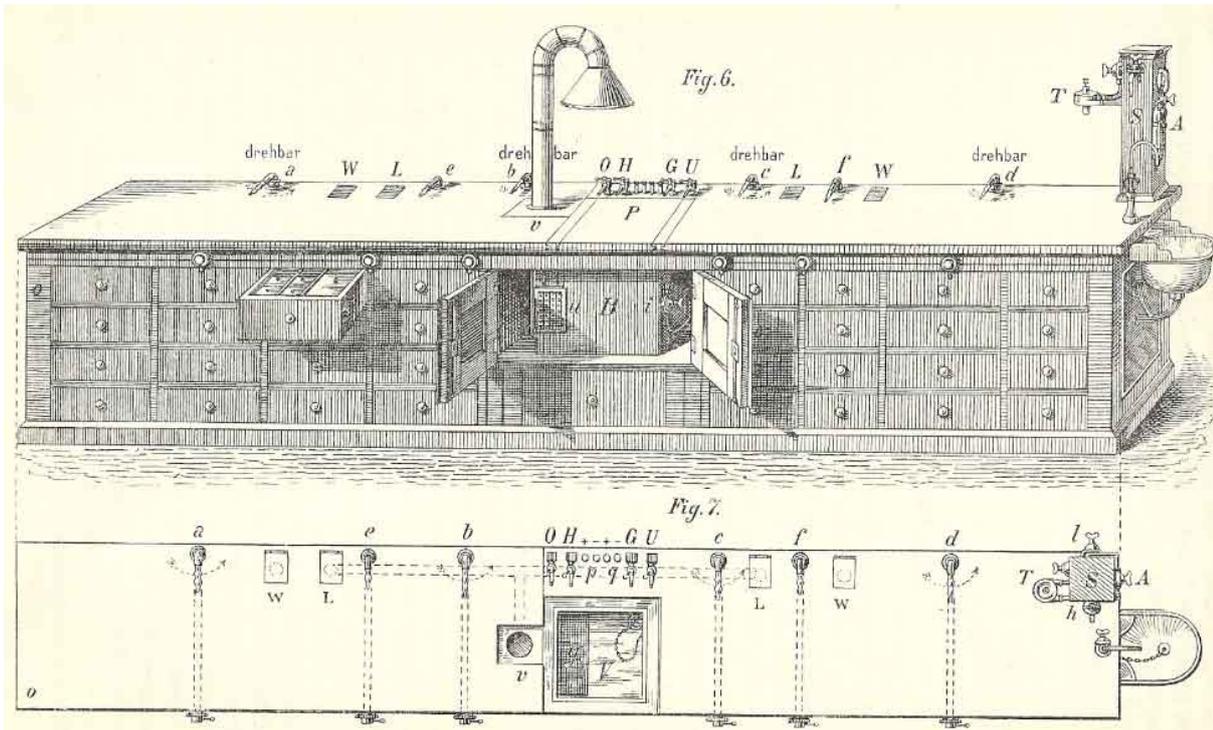


Abbildung 14: Experimentiertisch



Abbildung 15: Experimentiertisch

Anders als beim Arendt'schen Entwurf befinden sich die Gashähne nicht auf der Tischplatte selber, sondern unterhalb der abzugseitigen Stirnblende und die elektrischen Polklemmen an den jeweiligen Ecken der Experimentiertische.



Abbildung 16: Steinplatte mit Schutzschild



Abbildung 17: Polklemmen

An der dem Auditorium zugewandten Seite des Experimentiertisches lässt sich zum Schutz der Zuseher vor Glassplittern berstender Glasgefäße bzw. zum Schutz vor Flüssigkeits-spritzern diverser Reagenzien eine versenkbare Glasplatte ausfahren.

#### 4.1.2. I Gasleitungen

Da um die Jahrhundertwende zum 20. Jahrhundert bereits viele Gebäude vom örtlichen Gasnetz versorgt wurden, war es möglich, die Erd- bzw. Leuchtgaszufuhr direkt mit dem Experimentiertisch zu verbinden. Zur Gasentnahme sind laut Entwurf insgesamt sechs Gashähne *a-e* an der Tischplatte montiert, wobei vier davon frei schwenkbar sind und somit ein Arbeiten überall auf der Tischplatte ermöglichen, ohne dabei den Gasschlauch knicken zu müssen. Reguliert wird die Gaszufuhr über den Gashahn *u* unterhalb der pneumatischen Wanne.<sup>31</sup>

Aus welchem Grund die Gasauslasshähne in Wien nicht an der Tischplatte direkt, sondern unterhalb der Stirnblende montiert sind ist eher ungewiß, scheint doch die von Arendt vorgeschlagene Variante wesentlich zweckdienlicher.

#### 4.1.2. II Wasserleitungen

Die Zuleitungsröhren führen zur pneumatischen Wanne und zu der an der rechten hinteren Ecke des Tischblattes aufgerichteten vierkantigen Säule. Diese Säule trägt an ihrer vorderen Fläche oben einen gewöhnlichen Wasserhahn mit Schlauchstück, durch welchen man mittels Kautschukschlauch Wasser auf den Tisch leiten kann. An der zweiten rechten

<sup>31</sup>Rudolf *Arendt*, Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 12.

Fläche ist eine Anzerberger-Zulkowsky'sche Luftpumpe *A* angebracht, deren Saugrohr mit einem Hahn an der Tischplatte verbunden ist. An der linken Seitenfläche der Säule ist eine Rabe'sche Turbine *T* befestigt. Der Abfluss aller Apparate geht im Inneren der Säule zum Hauptabflussrohr. Ebenso gehen von diesem Hauptabflussrohr noch zwei senkrechte Kanäle nach oben, deren Öffnungen auf der Tischplatte dazu dienen Wasser oder andere Flüssigkeiten durch Schläuche direkt vom Tisch abzuleiten.<sup>32</sup>

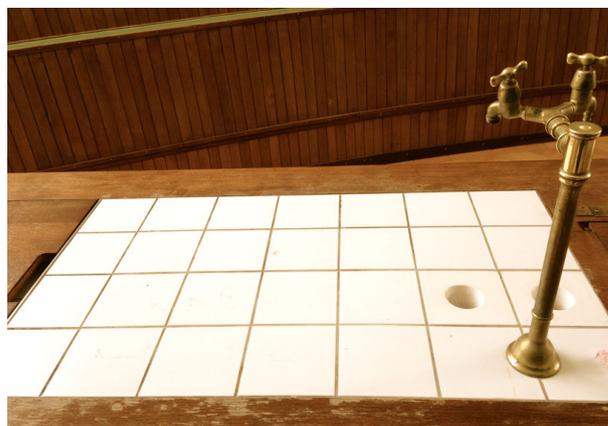


Abbildung 18: Wasserhahn mit Abfluss in Tischplatte

Bei einer Anzerberger-Zulkowsky'schen Luftpumpe handelt es sich um eine Wasserstrahlpumpe, die in Funktion, Form und Konstruktion heute gängigen Wasserstrahlpumpen entsprechen dürfte, allerdings mit dem Unterschied vollkommen aus Glas gefertigt worden zu sein.<sup>33</sup>

Unter einer Rabe'schen Turbine versteht man ein hydrodynamisches Rührwerk, welches durch die Kraft des Wassers angetrieben wird und dabei zum Verrühren von Lösungen oder durch eine geeignete Erweiterung auch zum Vermengen von Salzen verwendet werden kann. Der wesentliche Unterschied zu herkömmlichen Turbinen besteht darin, dass das Wasser an Stelle eines Schaufelrades durch ein Drahtnetz fließt.<sup>34</sup>

#### 4.1.2. III Ventilation

Das Ventilationsrohr des Tisches geht neben der pneumatischen Wanne senkrecht nach unten und ist unter dem Fußboden mit der Ventilationsesse des Hauptabzuges verbunden. Es dient zur Abführung schädlicher Gase, welche auf dem Experimentiertisch entwickelt werden, und enthält zu diesem Zweck als abnehmbaren Aufsatz einen Rauchfang von verbleitem Eisenblech. Sollte dieser ungenügend wirksam sein, so ist ein besonders kräftiger Luftstrom, also gute Erwärmung der Esse nötig, welche schon vor der Benutzung durch Anzünden der Lockflamme zu bewirken ist. Eine andere von Bunsen empfohlene Einrichtung des Rauchfanges gestattet Gefäße, aus denen sich schädliche Dämpfe entwickeln,

<sup>32</sup>Rudolf *Arendt*, Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 15.

<sup>33</sup>C. *Bulk*, Wasserluftpumpen In: Zeitschrift für Analytische Chemie, 1878, Jahrg. 17, Heft 1, 198.

<sup>34</sup>H. *Tryller*, Eine neue Laboratoriumsturbine In: Dr. G. *Krause*, Chemisches Repertorium. Übersicht über das Gesamtgebiet der reinen und angewandten Chemie, 1897, Jahrg. 21, Heft 25, 1.

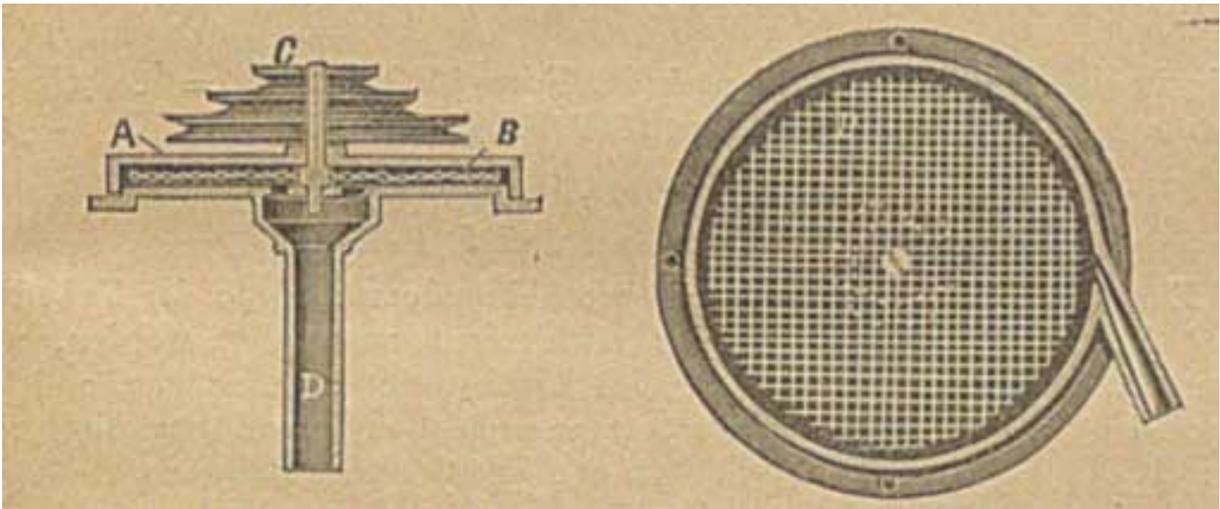


Abbildung 19: Rabe'sche Turbine mit Antriebssieb

unmittelbar anzuhängen und überdies durch eine Öffnung von oben her während der Operation feste oder flüssige Substanzen nachzuschütten oder Gase einzuleiten. Vom hinteren Rand der Tischplatte führen zwei engere Luftkanäle zum Ventilationsrohr unter dem Tisch. Sie dienen zum Hineinhängen von Gasschläuchen, aus denen schädliche oder übelriechende Gase entströmen und so rasch vom Tisch abgeführt werden können.<sup>35</sup>

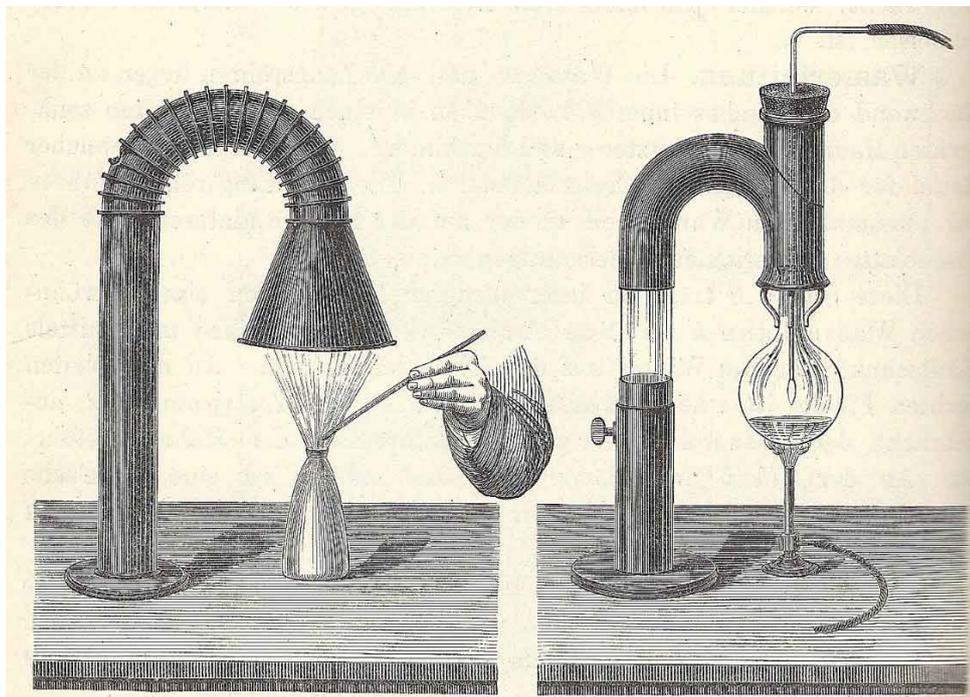


Abbildung 20: Tischabzug offen und geschlossen

Auch im wiener Hörsaal findet sich in der Tischplatte die Vorbereitung zur Montage eines Tischabzuges wieder. Praktischerweise ist das Abluftrohr bei Nichtgebrauch mit einem Holzdeckel verschließbar und weiters wäre ein Tischabzug, sofern dieser nicht in Gebrauch

<sup>35</sup>Rudolf *Arendt*, Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 16.

ist, dem Experimentator bei seiner Arbeit wohl eher im Weg als förderlich.



Abbildung 21: Vorbereitung Tischabzug

#### 4.1.2. IV Sauerstoff, Leuchtgas und Luft

In der Mitte des Tisches befinden sich neben den vormals schon erwähnten Gashähnen noch Hähne, welche mit den Standgasometern verbunden sind und der Zuführung von Sauerstoff, Wasserstoff oder Leuchtgas dienen. Ein weiterer Hahn ist mit einem Wassertrummelgebläse verbunden und bringt einen Luftstrom zum Betrieb der Gebläselampe und zu anderen Zwecken.<sup>36</sup>

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war es noch nicht üblich bzw. größtenteils auch noch gar nicht möglich, für Experimente benötigte Gase großzügig aus einer Gasflasche zu entnehmen. Benötigte man Gase, wie beispielsweise Sauerstoff oder aber Wasserstoff, so mussten diese im Vorfeld hergestellt und in Standgasometern bereitgehalten werden. Sauerstoff konnte dabei nach dem sogenannten *Fieltmann-Verfahren* gewonnen werden. Dazu wurde in einem Messing- oder Kupferkolben eine Mischung aus gleichen Teilen Braunstein und chlorsaurem Kali (*Kaliumchlorat*) auf eine Temperatur von ca. 65° - 85° erwärmt, wobei das chlorsaure Kali vollständig zu Chlorcalcium (*Calciumchlorid*) und Sauerstoff zerfällt.<sup>37</sup>

Vor allem das Befüllung der Standgasometer durfte dabei mit einigem Aufwand verbunden gewesen sein, und verlangte dem Experimentator wohl einiges an Erfahrung und Geschicklichkeit ab. Dass diese Variante der Sauerstoffdarstellung nicht ganz ungefährlich war, zeigt die Dokumentation von dabei geschehenen Explosionen, wie beispielsweise in einem Bericht der deutschen Chemischen Gesellschaft über einen Unfall in einem pariser pharmazeutischen Labor im Jahre 1870 dargestellt. Als Ursache wird dabei angenommen, dass der Experimentator eine unzureichende Menge Braunstein verwendet hatte und zusätzlich dazu ein Gasableitungsrohr verstopft war.<sup>38</sup>

<sup>36</sup>Rudolf *Arendt*, Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 17.

<sup>37</sup>Karl *Neumann*, Vorlesungen über anorganische Chemie. Zum Gebrauch an Universitäten und technischen Hochschulen, sowie zum Unterricht an höheren Lehranstalten (Vieweg-Verlag, Braunschweig 1876) 43.

<sup>38</sup>Explosion bei einer Sauerstoffdarstellung im Großen *In*: Dingers Polytechnisches Journal, Jahrg. 50, Bd. 196, Heft 6. (Stuttgart 1870) 171.

Die Abbildung zeigt die Versuchsanordnung zur Darstellung von Sauerstoff auf der linken

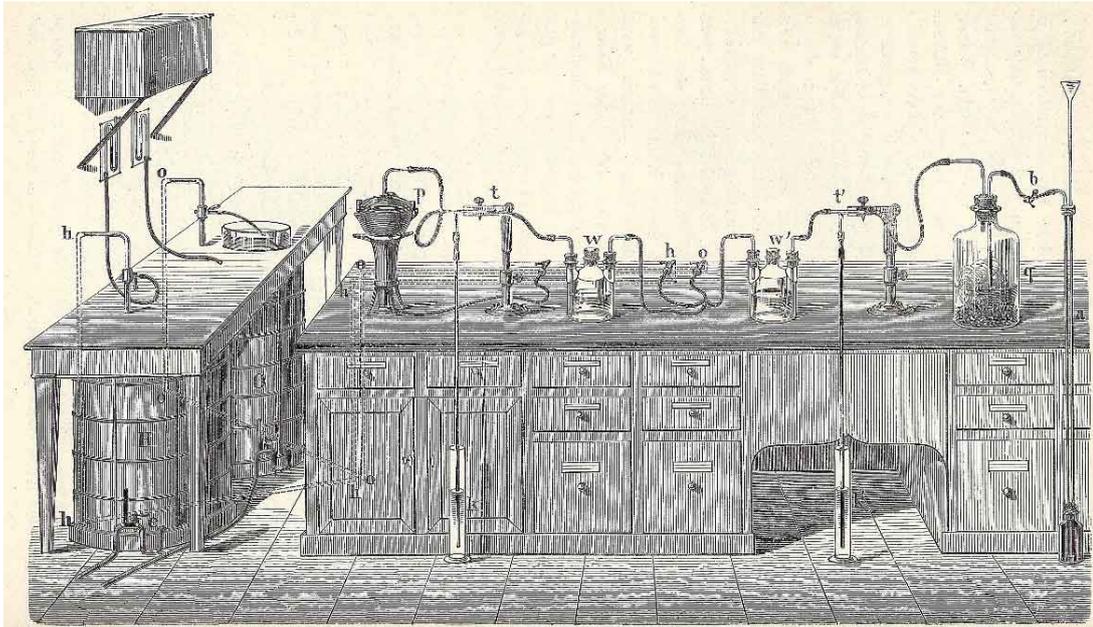


Abbildung 22: Darstellung von Sauerstoff und Wasserstoff

und Wasserstoff auf der rechten Seite sowie die direkte Befüllung des Standgasometer. Die Entwicklung des Wasserstoffs geschieht hierbei durch die Reaktionen von konzentrierter Salzsäure mit Zink. Die Woulff'schen Flaschen dienen zur Reinigung der Gase, da vor allem bei der Sauerstoffdarstellung auch immer etwas unerwünschtes Chlorgas entsteht. Deutlich erkennbar ist auch die Verbindung des Gasometers mit den Gashähnen an der Tischplatte des Experimentiertisches. Zur Sicherheit und zur Kontrolle der Geschwindigkeit der Gasentwicklung sind die beiden mit Wasser gefüllten Glaszylinder am Boden installiert.

### 4.1.3 Abzug

Seit Liebig ist der Abzug zu einem wesentlichen Bestandteil sowohl chemischer Laboratorien als auch chemischer Vortragssäle geworden.

Im Abzug für schädliche Gase, dem Digestorium oder der Nische, auch Abzugsschrank oder Abzugskapelle genannt werden alle diejenigen Reaktionen durchgeführt, bei denen sich größere Mengen übelriechender oder gesundheitsgefährdender Gase entwickeln. Er besteht aus einem allseitig verschließbaren Raum, durch dessen dachförmige

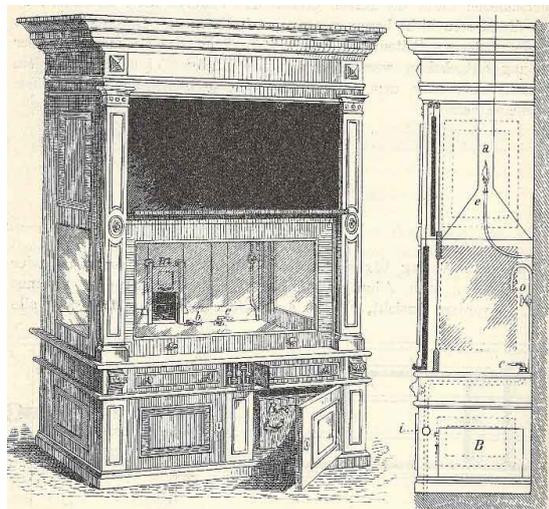


Abbildung 23: Abzugsesse

Decke ein Rohr in die Zugesse führt. Zur Erzeugung eines kräftigen Luftstroms muss im unteren Teil dieses Rohres eine nicht zu kleine Lockflamme brennen. Eine zweite Lockflamme brennt hinter einem kleinen Holzschieber, welcher luftdicht mit der Zugesse des Experimentiertisches verbunden ist. Die Gashähne im Arbeitsraum sind durch ein an der Vorderwand befindliches Türchen zugänglich. Beim Gebrauch des Abzuges ist es vorteilhaft, beide Lockflammen anzuzünden und das hintere Schiebefenster zu öffnen, wodurch zur gleichen Zeit ein Abzug der Gase durch beide Essen erreicht wird. Das vordere Fenster des Abzugsschranks ist ebenso wie die schwarze Tafel auf- und abschiebbar. Da der Abzugsschrank ganz vor die neben ihm aufgestellten Chemikalienschränke hervortritt, erhält sein Innenraum volles Tageslicht. An der Hinterwand, im Inneren des Arbeitsraumes ist noch ein Wasserleitungsrohr mit Hahn angebracht, welches man zur Speisung eines Wasserbades mit konstantem Niveau benutzen kann.<sup>39</sup> Die Funktionsweise der Lockflamme lässt sich nahezu an jedem Kaminofen nachvollziehen bzw. demonstrieren. Wenn man bei noch kaltem Kamin die Luftzufuhr des Ofens drosselt, so verbleiben die Rauchgase im Ofen und ziehen nicht mehr durch den Rauchfang ab, was in weiterer Folge ein Erlöschen der Flamme zur Folge hätte. Wird nun beispielsweise eine brennendes Stück Papier oder Holz, bei gleichzeitiger Öffnung der Luftzuehr, in den Ofenraum eingebracht, so beginnt dieser, begünstigt durch die Thermik der nun aufsteigenden warmen Luft, erneut zu ziehen.

Im Gegensatz zu Liebig's Abzug ermöglicht dieses Modell allerdings keine Experimentieren von der rückwärtigen Seite und somit mit zum Hörsal hin geschlossenen Scheiben. Da noch keine elektrische Beleuchtung vorhanden ist, ist hierbei jedoch ein ganz wichtiger Punkt die nach drei Seiten lichtoffene Bauweise. Im großen Hörsaal der Wiener chemischen Institute ist der Abzug allerdings nicht im Original erhalten geblieben. Neben anderen sicherheitstechnisch relevanten Umbauten, wie beispielsweise der Installation von Notschaltern bezüglich der Gas- und Stromzufuhr musste auch der in die Jahre gekommene alte Abzug mittlerweile einem modernsten Sicherheitsstandarts entsprechenden Abzug weichen.

---

<sup>39</sup>Rudolf *Arendt*, Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 27-30



Abbildung 24: Abzug im Carl Auer v. Welsbach Hörsaal



Abbildung 25: Abzüge aus der Entstehungszeit des Institutsgebäudes



Abbildung 26: Blick ins Auditorium

## 5. Mikrochemie - Chemie im kleinen Maßstab

Eine Universität ist nicht nur eine Stätte der Lehre, wo Wissen und Erfahrungen an die Lernenden weitergegeben werden, sondern auch eine Stätte der Forschung, wo dieses Wissen im Rahmen naturwissenschaftlichen Forschens geschaffen wird. Genau diese Symbiose zwischen Forschung und Lehre ist seit Liebig der Kern universitärer chemischer Ausbildung. Die chemischen Institute der Universität Wien und mit ihnen Fritz Feigl waren dabei lange Zeit federführend auf dem Gebiet der Mikroanalyse. An der Universität Graz perfektionierte Fritz Pregl die Techniken zur mikroanalytischen Analyse, für welche er 1923 mit dem Nobelpreis der Chemie geehrt wurde. Man könnte sogar so weit gehen zu sagen, dass die Chemie an der Jahrhundertwende zum 20. Jahrhundert geprägt war von mikrochemischen Arbeitstechniken. In diesem Sinne wird nun im Folgenden ein besonderes Augenmerk auf die Mikrochemie, im Speziellen auf die Mikroanalyse nach Pregl und die analytische Tüpfelreaktion nach Feigl gelegt.

Die Anfangsgründe der mikrochemischen Analyse reichen zurück bis in die beginnende zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts auf *Harting* und *Boricky*, welche 1877 in „*Elements einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse*“ den Nachweis der Elemente, Kalium, Lithium, Natrium, Calcium, Strontium, Barium, Magnesium, Eisen und Mangan mit Hilfe von Fluorosilikaten beschreibt. In Gießen, an der Universität Liebig's wird die mikrochemische Analyse von August Steng zur Untersuchung von Mineralien im Sinne einer Lötrohranalyse empfohlen. In erster Linie galt die Aufmerksamkeit der Mikroanalyse in ihren Kinderjahren der kristallographischen und optischen Beschreibung von Mineralien. Erst C. Klément, Alphonse Renard und Karl Haushofer waren in den 90er Jahren des 19. Jahrhunderts bestrebt, die mikrochemische Analyse weg von den Mineralien, hin auf einen Weg zur universellen Bestimmung bekannter Elemente zu bringen. Behrens stellte dabei den Anspruch an die mikrochemische Analyse, dass diese mit geringstem Substanz- und Zeiteinsatz eine höchstmögliche Sicherheit in der Bestimmung aufweisen solle. Zum Einsatz an geringst möglicher Substanz ist zu sagen, dass ein Großteil aller Reaktionen wohl schon bei weitaus kleineren Mengen ablaufen als sie dem Analytiker zur Verfügung stehen, es allerdings auf Grund von Verunreinigungen zu unerwünschten Nebenreaktionen kommen kann, welche die Nachweise verfälschen. N. Schorl definiert dazu das Grenzverhältnis, eine Größe, die angibt, neben wie vielen Teilen Ver-

unreinigung ein Teil der zu bestimmenden Substanz noch nachgewiesen werden kann. Zur Zeitökonomie regt Heinrich Behrens an, solche Reaktionen, welche in der Vorbereitung zu zeitaufwändig sind und solche Reaktionen, die sehr langsam ablaufen, zur Gänze zu vernachlässigen. Die Zuverlässigkeit einer mikrochemischen Analysemethode hängt in weiten Bereichen vom Geschick und der Erfahrung des Analytikers ab. In weiterer Folge stellt die mikrochemische Analyse den Anspruch, nicht nur Gruppentrennungen bekannter Elemente zu betreiben, sondern sämtliche Methoden der analytischen Chemie auf einen Mikromaßstab zu übertragen und sie auf mikroskopischer Ebene durchzuführen. Begrenzt ist man bei der Miniaturisierung der chemischen Analyse dabei durch die Schwierigkeit der Handhabung kleinster Mengen an Substanz.<sup>40</sup>

## 5.1 Methoden der Mikrochemie

Im Laufe der Jahre entwickelten sich eine Vielzahl von mikrochemischen und mikroanalytischen Techniken und Arbeitsmethoden.

### 5.1.1 Mikroschmelzpunktbestimmung

Unter dem Begriff der Mikroschmelzpunktbestimmung versteht man die Beobachtung des Schmelzens unter einem Mikroskop, wobei die Substanz zwischen Objektträger und Deckglas fixiert ist. Im Unterschied zu der Makromethode wird unter dem Mikroskop das Verhalten eines jeden einzelnen Kristalls beobachtet; daher genügen für die Analyse auch schon einige Mikrogramm der Probensubstanz. Die genaue Beobachtung durch das Mikroskop ermöglicht es außer dem Schmelzpunkt noch andere Eigenschaften der Substanz zu bestimmen. Bereits Hans Goldschmidt erkannte das große Potential dieser Methode im Hinblick auf die qualitative Unterscheidung von organischen Verbindungen und die dafür ausreichenden geringen Substanzmengen. In der praktischen Durchführung wird das Präparat auf dem Objektträger eines Mikroskops entweder von einer Spirituslampe, einer Gaslampe oder mit elektrischem Strom erhitzt, wobei die elektrische Heizung dafür am zweckdienlichsten ist. Mit Hilfe eines Thermometers oder eines elektrischen Thermoelements wird die Temperatur gemessen, wobei auch hier dem elektrischen Thermoelement auf Grund der Fähigkeit sich rascher auf die jeweilige Temperatur einzustellen, der Vorzug zu geben ist. Im Grunde genommen folgen alle am Markt erhältlichen Mikroskope zur Mikroschmelzpunktbestimmung einem ähnlichen Konzept und Bauplan. Eine elektrisch beheizbare Metallplatte wird auf dem Objektträger eines Polarisationsmikroskops montiert. Um den Lichtdurchtritt zu ermöglichen, befindet sich in dieser Platte ein etwa 1,5 mm großes Loch. Die Platte ruht auf insgesamt drei schlecht wärmeleitenden Füßen und wird mit zwei Klemmschrauben am Mikroskop fixiert. Zur Beobachtung des Schmelzvorganges eignen sich Objektive mit 60- bis 100-facher Vergrößerung. Wählt man einen Mikroschmelzpunktapparat mit thermoelektrischer Temperaturmessung, so sind ein

---

<sup>40</sup>Friedrich *Emich*, Lehrbuch der Mikrochemie (Wiesbaden 1911) 43-44

Kupfer-Konstantan-Element und ein Millivoltmeter von Nöten, welches in der Anschaffung allerdings nicht gerade kostengünstig ist. Bei der Temperaturmessung wird eine Lötstelle direkt auf der Metallplatte befestigt und der andere Lötspunkt in eine Thermosflasche gefüllt mit Wasser getaucht. Das Millivoltmeter enthält neben der Voltskala auch noch eine Temperaturskala und zeigt somit das Temperaturgefälle zwischen den beiden Lötstellen an. Wird der Nullpunkt der Temperaturskala zu Beginn der Messung auf die Temperatur der in Wasser getauchten Lötstelle eingestellt, so ist es möglich, mittels Voltmeter die tatsächliche Temperatur der Heizplatte abzulesen. Die Heizleistung der Metallplatte wird über einen Widerstand geregelt, wobei man deren Temperatur zu Beginn der Messung eher rasch ansteigen lässt, bis man etwa  $10^{\circ}\text{C}$  unterhalb des zu erwartenden Schmelzpunktes angelangt ist. Ab diesem Zeitpunkt wird die Temperatur langsam um etwa  $2^{\circ}\text{C}$  pro Minute erhöht.

Bei flüchtigen Präparaten empfiehlt es sich allerdings, die Temperatur etwas rascher zu erhöhen. Nach Zerkleinerung großer Kristalle werden die erhaltenen Partikel auf einen Objektträger aufgebracht und mit einem Deckglas bedeckt. Das Deckglas dient zum Schutz der Objektivs vor der Hitzestrahlung der Heizplatte. Dabei ist es nicht notwendig, das Präparat vor der Schmelzpunktbestimmung im Exsikkator zu trocknen, da etwaig vorhandene Feuchtigkeit beim Erwärmen leicht entweichen kann. Der Schmelzpunkt ist nun als jene Temperatur definiert, bei der die kleinen

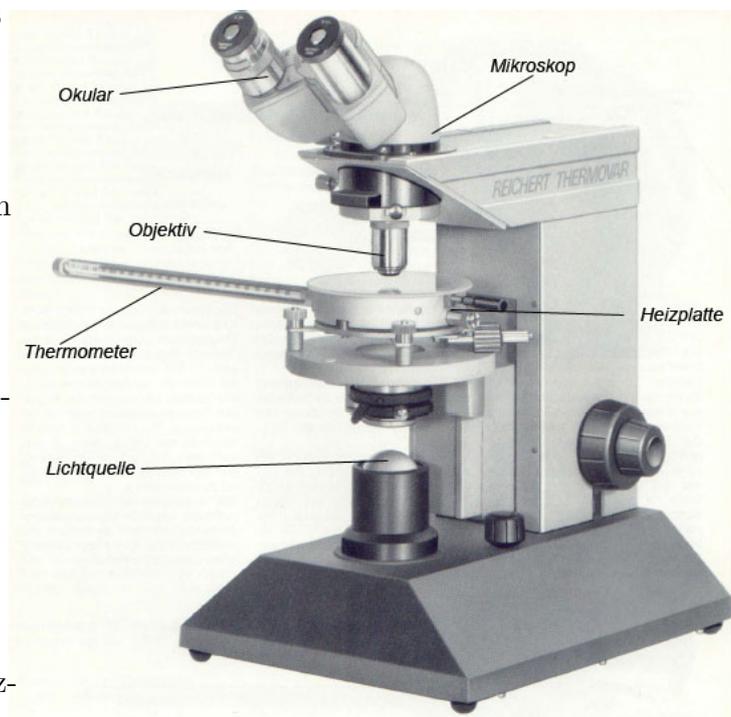


Abbildung 27: Mikroschmelzpunktapparat

Kristalle und Partikel bereits vollständig zerflossen sind und von den größeren Schmelztropfen nur noch angeschmolzene Reste zu beobachten sind. Jedoch lässt sich der Schmelzpunkt auch während des Abkühlprozesses bestimmen. Er ist dann als jene Temperatur definiert, bei der geschmolzene und feste Phase nebeneinander beständig sind. Bei einer Erhöhung der Temperatur in diesem Bereich muss die geschmolzene Phase zunehmen, bei einer Erniedrigung der Temperatur muss der Kristallisationsvorgang wieder einsetzen. Die Kristalle bleiben bis zum Eintreten des Schmelzvorganges aber keinesfalls unverändert; es lassen sich im Gegenteil vielfältige Veränderungen an ihnen ausmachen. Diese Veränderungen resultieren daraus, dass sich Substanzen umlagern und dass sich an der Unterseite des Deckglases ein Substanzsublimat bildet. Beobachtet werden kann diese Sublimation erst bei Temperaturen kurz vor dem eigentlichen Schmelzpunkt, wo-

bei es in Abhängigkeit der Substanz von einer teilweisen Sublimation bis hin zu einer vollständigen Sublimation kommen kann und diese Sublimate sowohl kristalliner als auch tropfenförmiger Natur sein können.

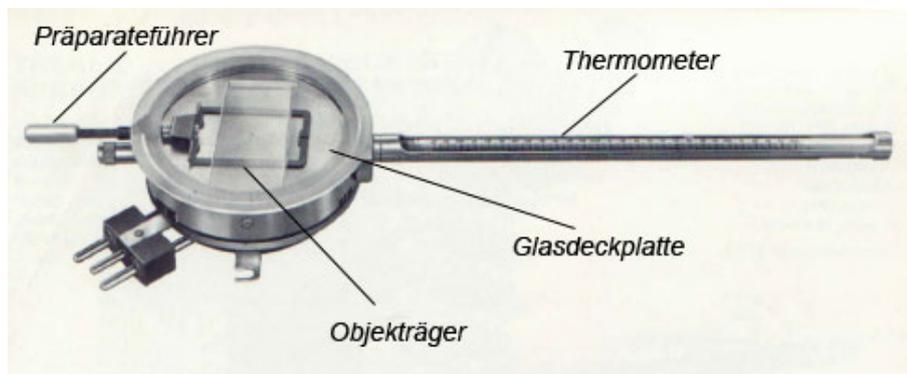


Abbildung 28: Heiztisch nach Kofler

Bei der Schmelzpunktbestimmung sehr leicht flüchtiger Präparate kann es vorkommen, dass sich die Substanz bei zu zögerlichem Temperaturanstieg bereits verflüchtigt bevor sie den Schmelzpunkt erreicht. Verhindert werden kann dieses Phänomen, indem man die Temperatur anfangs rasch erhöht und erst unmittelbar vor dem Erreichen des erwarteten Schmelzpunktes die Geschwindigkeit der Temperaturerhöhung drosselt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Präparat unter Luftausschluss zu erhitzen, indem man das Deckglas mit einem geeigneten Kit umrandet. Die Mikromethode ersetzt die Makromethode einerseits dann, wenn diese genauso auch im Mikromaßstab zum Erfolg führt und andererseits, wenn die Durchführung einer Makromethode nicht möglich ist. Weiters offenbart die Mikromethode weitaus mehr physikalische Eigenschaften einer Substanz als die Makromethode. Zwei große Bereiche, in denen die Mikroschmelzpunktbestimmung ihren Einsatz findet, sind die Identifizierung von Mikrosublimaten und die Identifizierung von Fällungen. Erstere Methode hat sich bewährt, da Kristalle, die durch Mikrosublimation erhalten werden, meist gut ausgebildet sind und entweder am Deckglas oder am Objektträger haften bleiben. Wenn man versucht, ein verunreinigtes Präparat makroskopisch zu analysieren führt die Verunreinigung häufig zu einer Herabsetzung der Schmelztemperatur und somit zu einer Verfälschung der Ergebnisse. Behandelt man das verunreinigte Präparat allerdings mikroskopisch, dann liegen die Kristalle des Präparates und die Verunreinigungen unter dem Mikroskop getrennt voneinander vor und zeigen so die entsprechend richtigen Schmelzpunkte.<sup>41</sup>

Die von Ludwig Kofler eigens dafür entwickelte Apparatur, auch *der Kofler* genannt ist noch heutzutage zur raschen Bestimmung des Schmelzpunktes sehr weit verbreitet in Verwendung.

<sup>41</sup>Ludwig Kofler, Mikroschmelzpunktbestimmung. In: Ludwig Kofler, Adelheid Kofler, Adolf Mayrhofer, Monographien aus dem Gesamtgebiete der Mikrochemie. Mikroskopische Methoden in der Mikrochemie (Wien und Leipzig 1936) 1-23

## 5.1.2 Mikrosublimation

Unter dem Begriff der Mikrosublimation versteht man den Vorgang des Auffangens eines Sublimates auf einem Objektträger oder einem Deckglas. Die mikrochemische Sublimation dient dabei nicht nur der Entfernung von Verunreinigungen, wie in der Makrochemie, sondern es ist Ziel, gut ausgebildete Kristalle zu erhalten, die in weiterer Folge auf Grund ihrer physikalischen und optischen Eigenschaften charakterisiert werden können. Versuche, die Sublimationstemperatur zu bestimmen, gab es bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, wo Präparate auf einem mit Quecksilber gefüllten Tiegel sublimiert wurden, indem ein Uhrglas mit dem Präparat auf die erwärmte Quecksilberoberfläche gelegt wurde. Die Temperatur wurde dabei mit einem einfachen Thermometer gemessen. Sämtliche Schwierigkeiten, welche bei der Sublimation im Makromaßstab auftreten können, wie beispielsweise die Verwechslung eines Kondensats mit einem Sublimat, entfallen bei der Mikrosublimation. Auf einfache Art und Weise lässt sich diese auf einem Apparat zur Mikroschmelzpunktbestimmung durchführen. Dabei wird das zu sublimierende Präparat als feines Pulver auf den Objektträger aufgebracht und hierbei etwa auf die ganze Fläche des Deckglases verteilt. Je größer die Oberfläche des Sublimationsgutes ist, desto rascher wird dieses auch verdunsten und damit auch sublimieren. Große Partikel würden außerdem auf der Unterseite stärker erhitzt, als auf der Deckglas zugewandten Seite, was problematisch bei der Trennung von Gemischen sein kann. Aufgefangen werden die Sublimate schließlich an den Deckgläsern oder auf den Objektträgern selber. Beschleunigt werden kann die Sublimation in einigen Fällen durch eine Kühlung des Deckglases, beispielsweise durch Auflegen befeuchteten Filterpapiers. Um die mikroskopische Betrachtung nicht zu behindern, sollte dieses dabei unbedingt in der Mitte durchlocht sein. Allerdings gilt zu beachten, dass zwar die quantitative Ausbeute bei einem gekühlten Deckglas steigt, die Kristalle jedoch bei einem Deckglas mit geringer Temperaturdifferenz zum Sublimatgut besser ausgebildet werden. Einige Verbindungen liefern beim Erhitzen sehr rasch kristalline Sublimate, während andere gar keine Sublimate bilden und somit als Tröpfchen vorliegen. Wieder andere sublimieren teilweise als Tröpfchen und teilweise als Kristalle, wobei das zuletzt genannte Phänomen am häufigsten zu beobachten ist. Dabei kann die Bildung von Kristallen und Tröpfchen durchaus gleichzeitig erfolgen und nur um die Kristalle herum lassen sich tropfenfreie Bereiche erkennen. Die wachsenden Kristalle können während dem Fortgang der Sublimation die Tröpfchen zur Gänze verschwinden lassen, wobei in einigen Fällen die Tröpfchen durchaus auch flüssig bleiben und nach dem Abkühlen zu einer amorphen, glasartigen Masse erstarren können. Diese Masse vermag spontan oder nach längerem Stehenlassen zu kristallisieren. Die aus den Tröpfchen gebildeten Kristalle bilden oftmals eine Kette bzw. Gruppe von gleichberechtigten und zusammenhängenden Kristallen, die zwar für die Identifizierung der Substanz herangezogen werden können, aber keinen Anspruch auf absolute Richtigkeit stellen können. Viel eher können die Sublimatkristalle durch die Bestimmung des Mikroschmelzpunktes, die kristalloptischen Eigenschaften und durch die Löslichkeit sowie durch mikrochemische

Reaktionen identifiziert werden.<sup>42</sup>

### 5.1.3 Fällungsanalyse

Mit der Hilfe der Mikroschmelzpunktbestimmung können, wie bereits erwähnt, Kristalle identifiziert werden, die im Rahmen von Fällungsreaktionen gebildet wurden. Dabei führt die Mikroschmelzpunktbestimmung auch dann sehr rasch zu einem guten Ergebnis, wenn die kristalloptische Identifizierung nicht eindeutig ist. Bei dieser Methode werden die Fällungsreaktionen gleich unmittelbar auf dem Objektträger durchgeführt, indem je ein Teil der zu untersuchenden Flüssigkeit mit einem Teil der Reagenzlösung vermischt wird. Tritt nicht unmittelbar eine Fällung ein, kann diese durch Reiben mit einem Glasstab initiiert werden. Nach Bildung des Niederschlages muss dieser an Ort und Stelle ausgewaschen werden. Das geschieht dadurch, dass man an einen Rand des Objektträgers einen Streifen Filterpapier legt und auf der anderen Seite einen Tropfen Wasser setzt. So ist es möglich, ein geeignetes Volumen Waschflüssigkeit durch das Präparat zu saugen. Im Anschluss an den Reinigungsvorgang muss das Präparat getrocknet werden, was auf Grund der kleinen Substanzmenge auch bei Zimmertemperatur funktioniert. Anderenfalls kann man das Präparat auch in einem Luftstrom oder mittels Exsikkator trocknen. Durch die Mikroschmelzpunktbestimmung einer Fällung kann der Einsatz von Fällungsreagenzien auf eine geringe Anzahl beschränkt werden. Da die optische Unterscheidbarkeit keine Rolle spielt, ist es also nicht notwendig, immer nach einem spezifischen Fällungsreagenz zu suchen. Allerdings stößt diese Methode an ihre Grenzen, wenn sich beispielsweise die Fällung zu gut in der Waschflüssigkeit löst oder das Präparat beim Erhitzen im Mikroskop verkohlt anstatt zu schmelzen.<sup>43</sup>

## 5.2 Mikroanalyse nach Fritz Pregl

*Die großen Erfolge der quantitativen organischen Mikroanalyse nach F. Pregl, welche in wenigen Jahren ihren Siegeszug durch die ganze wissenschaftliche Welt antraten, hatten zur Folge, dass auf anorganisch-analytischem Gebiete sich die Forschungstätigkeit mit der Ausarbeitung von Methoden beschäftigte, die es ermöglichten, Analysen mit kleinen Stoffmengen durchzuführen.*<sup>44</sup>

Die Mikroanalyse findet im Vergleich zur makroanalytischen Methode zwar mit deutlich geringeren Stoffmengen bei gleichzeitig geringerem Zeit- und Energieaufwand ihr Auslangen, steht der Makromethode allerdings in puncto Exaktheit der Methode um nichts nach.<sup>45</sup>

---

<sup>42</sup>Ludwig Kofler, Mikrosublimation. In: Ludwig Kofler, Adelheid Kofler, Adolf Mayrhofer, Monographien aus dem Gesamtgebiete der Mikrochemie. Mikroskopische Methoden in der Mikrochemie (Wien und Leipzig 1936) 29-51.

<sup>43</sup>Ludwig Kofler, Mikroschmelzpunktbestimmung. In: Ludwig Kofler, Adelheid Kofler, Adolf Mayrhofer, Monographien aus dem Gesamtgebiete der Mikrochemie. Mikroskopische Methoden in der Mikrochemie (Wien und Leipzig 1936) 23-26.

<sup>44</sup>Richard Strebing, Quantitative Mikroanalyse. In: Mikrochemie 7 (1929) 427.

<sup>45</sup>Richard Strebing, Quantitative Mikroanalyse. In: Mikrochemie 7 (1929) 429.

Die Tatsache, dass bei der mikroanalytischen Untersuchung nur kleinste Mengen von Nöten sind, hat durchaus einen praktischen Vorteil, da sehr oft nur sehr geringe Mengen der zu analysierenden Substanzen zur Verfügung stehen. Des Weiteren ist die ökonomische und ressourcenschonende Komponente der Mikroanalyse nicht zu vernachlässigen. Auf die Mikroebene gelangt man, wenn man sich spezieller chemischer Hilfsmittel bedient bzw. diese anpasst. Für eine qualitative Reaktion gilt indes, dass sie umso wertvoller ist, mit je kleineren Stoffportionen sie gelingt. Als passendes Hilfsmittel erscheint hierbei das Mikroskop, welches es ermöglicht, wesentliche kleinere Mengen des Reaktionsproduktes wahrzunehmen. In diesem Sinne erscheint es auch mehr als sinnvoll, das Mikrogramm als Masseneinheit zu wählen. Die Empfindlichkeit ein und derselben Reaktion hängt also zu einem wesentlichen Maß von der gewählten Arbeitsweise ab, wobei es hierbei die Begriffe der „theoretischen“ und „praktischen“ Empfindlichkeit zu unterscheiden gilt. Unter theoretischer Empfindlichkeit versteht man dabei die Substanzmenge bei der die Reaktion gerade noch abläuft, während man unter praktischer Empfindlichkeit die Substanzmenge meint, bei der sich die Reaktion als praktikabel in der Durchführung erweist. Um die Empfindlichkeit zu ermitteln, ist es sinnvoll bzw. sogar erforderlich, den entsprechenden Versuch in angemessener Anzahl zu wiederholen.<sup>46</sup>

### 5.2.1 Mikrochemische Analysewaagen

Der Stolz des Justus von Liebig Museum in Gießen ist wahrscheinlich nicht zu Unrecht die *Alte Analysenwaage*, denn ohne eine hinreichend genaue Analysewaage ist jeder Versuch der mikrochemischen Analyse zwecklos. Umso erstaunlicher ist es dabei, dass Liebig's Waage nicht von etwa einem Waagenbauer oder einem Chemiker konstruiert und gebaut wurde, sondern von einem örtlichen Tischler.

#### 5.2.1. I Reiterlose Mikrowaagen

Die meisten mikrochemischen Waagen, ganz egal welchen Fabrikats, sind der Bauart der mikrochemischen Waage von Paul Bunge nachempfunden. Jedoch waren auch andere Typen von mechanischen Mikrowaagen im Einsatz, wie beispielsweise luftgedämpfte, reiterlose Mikrowaagen der Firma Sartorius, welche zwar einfacher in der Handhabung waren, allerdings den Ruf hatten, nicht so genau zu sein wie mikrochemische Waagen mit Reiter.<sup>47</sup> In diesem Fall wird der Reiter durch eine mechanische Bruchgrammauflage ersetzt, wobei dieser Waagentyp für bis zu 20 g Höchstlast ausgelegt sein kann. Dabei umfasst die Gewichtsaufgabe einen Bereich von 1 bis 999 mg und besteht aus drei Gruppen zu je vier Ringreitern. Je ein Ringreiter für den Bereich von 1 bis 9 mg, 10 bis 90 mg und 100 bis 900 mg.

Eine solche Waage eignet sich in der Praxis durch die einfache Handhabung besonders gut

---

<sup>46</sup>Friedrich *Emich*, Lehrbuch der Mikrochemie (Wiesbaden 1911) 3.

<sup>47</sup>Fritz *Pregl*, Hubert *Roth* (Hrsg.), Quantitative organische Mikroanalyse (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958) 4.

zum Wägen kleinerer Gegenstände sowie für das Einwägen von Substanzen. Bedingt durch die kurze Dauer des Wiegevorganges ist es sogar möglich, hygroskopische Substanzen ohne besondere Vorkehrungen zu wägen.<sup>48</sup>



Abbildung 29: Reiterlose Mikrowaage mit Bruchgrammauflage

### 5.2.1. II Die Praxis des Wägens

Ausgangspunkt für die richtigen Anwendung einer analytischen Waage ist die unbedingte Vertrautheit mit dieser. In einem ersten Schritt gilt es, den Nullpunkt der Waage festzustellen. Dies geschieht bei bereits verschlossenem Schutzgehäuse nach Lösen der Arretierung, indem man eine ungerade Anzahl von Schwingungen abwartet und dann erst den Zeigerausschlag abliest. Da sich der Nullpunkt im Verlauf größerer Zeitabschnitte verändert, ist es wichtig, diesen vor jeder Wiegung aufs Neue zu bestimmen. Erst nach der erfolgten Bestimmung des Nullpunktes wird die zu wägende Substanz mittels eines Uhrglases, oder eines Wägeschiffchens bzw. Wägegläschens auf die linke Schale der nun arretierten Waage eingebracht. Um die Wärmestrahlung jener Hand, welche die Gewichte auf die andere Waagschale stellt, zu kompensieren, muss die andere Hand stets in der Nähe des Arretierungshebels gehalten werden. Um die Waage vor Atemluft und Luftfeuchtigkeit zu schützen, ist es notwendig, die vordere Scheibe des Waagengehäuses geschlossen zu halten. Des weiteren sollte die Waage auch keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden oder einseitig neben einem Heizkörper stehen. Mittels Pinzette wird nun ein Gewicht, von dem man annimmt, etwas schwerer als die Substanz samt Unterlage zu sein, auf die rechte Waagschale gestellt und vorsichtig der Arretierungshebel gelöst.

<sup>48</sup>O. Pfundt, Eine Mikrowaage ohne Balkenreiter. In: *Microchimica Acta* 17 (1954) 539-541.

Gewichte sind stets mit der Pinzette zu berühren und immer im vorgesehenen Gewichtszusatz aufzubewahren. War das Gewicht zu schwer, ist es durch ein leichteres Gewicht ersetzen; anderenfalls müssen Gewichte im Gramm, Dezi-, oder Zentigrammbereich nachgelegt werden. Nach Schließen beider seitlicher Türchen werden die erforderlichen Milligramme durch die entsprechende Vorrichtung auf den Reiter aufgelegt. Praktischerweise ermittelt man nun jenen ganzen Milligramm-Teilstrich, an dem der Reiter bewirkt, dass die Schale mit den Gewichten geringfügig schwerer bzw. leichter als die Waagschale mit der Probe ist. Durch Verschiebung des Reiters um einen ganzen Milligramm-Teilstrich auf die Seite der stärkeren Belastung kann die Empfindlichkeit der Waage ermittelt werden. Das zu ermittelnde Gewicht der Substanz ergibt sich nun aus der Summe der aufgelegten Gewichte und dem Quotienten aus der Abweichung und der Empfindlichkeit. Die Abweichung ergibt sich aus der Differenz des ursprünglich bestimmten Nullpunktes und des bei der Wägung bestimmten Nullpunktes. Zu beachten ist weiters, dass die zu wiegenden Gegenstände die vorherrschende Raumtemperatur angenommen haben, um thermische Luftströme oberhalb und um die Wägeschalen herum zu vermeiden.<sup>49</sup>



Abbildung 30: Mikrowaage mit Balkenreiter

Man sieht also, dass das Beherrschen der Mikrowaage für das Gelingen der Analyse von unschätzbarem Wert gewesen sein musste. Deshalb stand an vielen Universitäten auch immer ein Waagenpraktikum am Beginn jedes experimentell-chemischen Praktikums.

<sup>49</sup>Carl *Mahr*, Anorganisches Grundpraktikum für Chemiker und Studierende der Naturwissenschaften (Weinheim 1952) 9-11.

### 5.2.2 Gerätschaften

An dieser Stelle werden in erster Linie all jene Gerätschaften aufgelistet, die bei jedem Analysegang und überhaupt bei der Vorbereitung der Mikroanalyse erforderlich sind.

Zum Untersuchen der Apparaturteile und der Waage auf Verunreinigungen und zum genauen Ablesen von Mikrobüretten eignet sich eine Luppenbrille oder Lupe. Zur Reinigung empfehlen sich Tücher bzw. Lappen aus Rehlleder oder Flanell. Je nach gewählter Analysemethode verwendet man Platin-, oder Porzellanschiffchen, Platintiegel, Mikrobechergläschen oder Mikrowägegläser zum Einbringen der Substanz auf die Waagschale. Weitere Möglichkeiten zur Einwaage von Substanzen bestehen mit Hilfe von Wägeröhrchen nach Lieb und Krainick sowie unter Zuhilfenahme eines Mikro-Platintiegels. Ausgeglüht werden die Platingerätschaften in der Brennerflamme, gehalten von einem, in einen Glasstab eingeschmolzenen Platindraht. Um die Substanz in das Wägeröhrchen einbringen zu können, muss auch der Spatel von kleinem Maßstab und daher schmal sein. Weiters besteht die Möglichkeit, einen weiteren Spatel anzuschleifen und so ein Messer zu erhalten, mit welchem von pastenartigen Analyseproben kleinere Stücke abgeschnitten werden können. Auch Schnepfenfedern finden neben Marderhaarpinsel ihre Bestimmung in der Mikroanalyse, nämlich, wenn es um das Entfernen von anhaftenden Niederschlägen an den Wänden von Tiegeln oder Wägeröhrchen geht. Zur Entfernung von Verunreinigungen der Waage empfiehlt sich ein an beiden Enden aufgerauter Stahldraht. Als Brenner eignen sich all diejenigen Modelle, deren Flammenstärke und -höhe regulierbar ist.<sup>50</sup>

### 5.2.3 Bestimmung von Wasserstoff und Kohlenstoff nach Fritz Pregl

Die Bestimmung von Kohlenstoff und Wasserstoff gehört in den mikroanalytischen Laboratorien zu den am häufigsten angewandten Bestimmungsmethoden. In einer vereinfachten Form eignet sie sich auch für den Schulunterricht zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Kohlenstoff und Wasserstoff aus einem kurzkettigen Alkan und ermöglicht durch Berechnung des Verhältnisses der beiden Elemente zueinander auf das jeweilige Alkan schließen zu können. Allerdings muss dabei natürlich auf Chemikalien wie beispielsweise Asbest auf Grund seiner cancerogenen Wirkung verzichtet werden.

Dabei wird die zu untersuchende Substanz in einem Rohr unter Sauerstoffzufuhr erhitzt, vergast und anschließend verbrannt. Die Oxidation der Zersetzungsprodukte findet über glühendem Kupferoxid und Bleichromat statt. Zur Gewichtsbestimmung werden schließlich das entstandene Wasser und Kohlendioxid mitsamt dem Absorptionsröhrchen gewogen. Für organische Substanzen ohne Heteroatome genügt ein mit Kupferoxid bestücktes Verbrennungsrohr, wohingegen andere Elemente und Verbindungen durch weitere Zusätze im Verbrennungsrohr aboxidiert werden müssen. Die Oxidation der Halogene, mit Ausnah-

---

<sup>50</sup>Fritz Pregl, Hubert Roth (Hrsg.), Quantitative organische Mikroanalyse (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958) 14-17.

me von Fluor, erfolgt an metallischem Silber als Silberhalogenide. Schwefeloxide werden an Bleichromat als Bleisulfat oder an Silber als Sulfate oxidiert. Die aus stickstoffhaltigen Verbindungen entstehenden Stickoxide würden erst im Kohlendioxidabsorptionsröhrchen gebunden werden und deswegen durch erhitztes Bleioxid in ihre elementaren Bestandteile zerlegt. Die Bindung von Wasserstoff erfolgt entweder an Magnesiumperchlorat oder an Phosphorpentoxid; die des Kohlendioxids an Natronasbest, welcher aus gewerblich erhältlichem Goochtiegelasbest und Natronlauge hergestellt wird. Mit dieser Vorgehensweise sind nach Angaben von Pregl Bestimmungen von über 200 Substanzen möglich.<sup>51</sup>

### 5.2.3. I Versuchsaufbau zur Mikroanalyse

Die Apparatur, mit welcher Pregl die Bestimmung von Kohlenstoff und Wasserstoff vornahm, ist dreiteilig, bestehend aus einer Gasquelle, dem Verbrennungsrohr samt Beheizung sowie dem Absorptionsteil mit eventuell einer Druckausgleichsflasche. Als Gasquelle dienen Gasflaschen, aus denen über ein Reduzierventil Luft mit einem Druck von 16-18 atü in die Apparatur eingeleitet wird. Um eventuell in den Gasflaschen vorkommendes Kohlenstoffdioxid zu entfernen, wird dem Verbrennungsrohr ein U-Rohr mit Blasenähler vorgeschaltet. Der Druckregler gewährleistet eine minimale Berührungsdauer der zu verbrennenden Dämpfe mit den einzelnen Teilen der Rohrfüllung.<sup>52</sup>

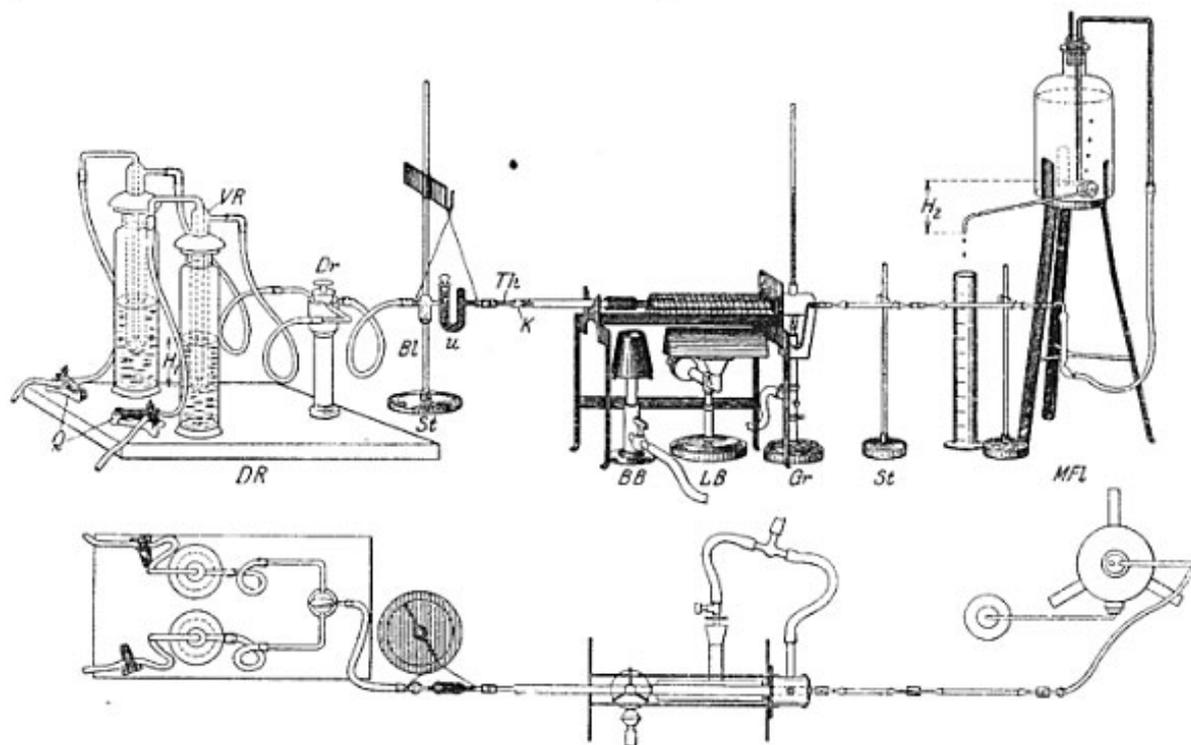


Abbildung 31: Apparatur zur quantitativen mikroanalytischen Untersuchung

<sup>51</sup>Fritz Pregl, Hubert Roth (Hrsg.), Quantitative organische Mikroanalyse (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958) 37.

<sup>52</sup>Fritz Pregl, Hubert Roth (Hrsg.), Quantitative organische Mikroanalyse (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958) 40.

Die Abbildung zeigt an der linken Seite die Gasquelle, mittig das Verbrennungsrohr mit Heizquelle und gleich im Anschluss daran rechter Hand den Absorptionsteil der Apparatur.

Das Verbrennungsrohr besteht idealer Weise aus Quarzglas und sollte einen Durchmesser zwischen 9,5 und 10,5 mm sowie eine Länge von 500 mm besitzen. Das Verbrennungsgas wird über einen seitlichen Anschluss eingeleitet und die Analysesubstanz über die Mündung auf einem Verbrennungsgefäß nach Wahl eingebracht. Ein Ende des Verbrennungsrohres ist mit einem Kork- oder Gummistopfen zu verschließen, während das Rohr am anderen Ende in eine Verjüngung und schließlich in einen Schnabel übergeht. Zum Beheizen des Verbrennungsrohres kommt einerseits ein elektrischer Lang- und Bleidioxidofen und andererseits eine Bleidioxid-Heizgranate in Frage. Wichtig ist dabei die Länge der Beheizung, da die Kupferoxid/Bleichromatfüllung zur Gänze am Glühen zu halten ist. Als Temperaturbereich hat sich der Bereich zwischen 180°C und 190°C als besonders brauchbar erwiesen. Bei der Bleidioxid-Heizgranate handelt es sich um eine Heizgranate welche mittels siedendem Cymol oder Dekalin betrieben wird. Hierbei sind Modelle aus Metall oder Glas verfügbar, wobei die Reinigung der Glasgranaten einfacher ist als die der metallischen Granaten.<sup>53</sup> Die Verbindung des Verbrennungsröhrchen mit dem Absorptionröhrchen hat über einen Gummischlauch, der weder porös noch hygroskopisch noch für Kohlenstoffdioxid durchlässig ist, zu erfolgen. Die Absorptionröhrchen stellen neben dem Verbrennungsrohr den wichtigsten Bestandteil der Apparatur dar. Die bei der Analyse zu wägenden Wasserstoff und Kohlenstoffdioxidmengen sind im Vergleich zu den Gewichten der Absorptionröhrchen relativ gering, weshalb das Wägen und Reinigen der Röhrchen stets unter den gleichen Bedingungen zu erfolgen hat. Dabei besteht das Wasserstoffabsorptionröhrchen aus einem dünnwandigen Glasröhrchen mit etwa 90 mm Länge und einem äußeren Durchmesser von 8 bis 9 mm. Eines der beiden Enden des Röhrchens ist verjüngt, wobei dieser Teil bei einer Länge von ca. 5mm eine kapillare Verengung von 0,20 bis 0,35 mm aufzeigen soll; am anderen Ende befindet sich ein Glasschliff. Wasserdampf und andere Gase treten nun durch die angeschmolzene Doppelkapillare in die Vorkammer des Apparates ein und gelangen über ein zentrales Loch von vorher beschriebenem Durchmesser in den Absorptionsteil des Röhrchens. Das Kohlendioxidabsorptionröhrchen gleicht in Form und Ausführung dem Wasserstoffabsorptionröhren mit dem Unterschied einen längeren Füllraum zu besitzen.<sup>54</sup>

Auf dem Stativ ganz rechts auf der Abbildung finden wir eine Mariottische Flasche, welche in diesem Fall zur Druckregelung innerhalb der Apparatur dient.

Schon beim Aufbau der Apparatur gilt es einige wichtige Grundsätze zu beachten, die wohl nur durch entsprechende Übung einfach von Hand gehen. Weiters sind sowohl die die Verbrennungs- und Absorptionsrohre selber zu befüllen und die für die Füllung der

---

<sup>53</sup>Fritz *Pregl*, Hubert *Roth* (Hrsg.), Quantitative organische Mikroanalyse (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958) 43.

<sup>54</sup>Fritz *Pregl*, Hubert *Roth* (Hrsg.), Quantitative organische Mikroanalyse (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958) 45-47.

Röhrchen notwendigen Chemikalen selber aufzubereiten.

Dabei ist es notwendig, alle Glasteile mit Chromschwefelsäure, Wasser und destilliertem Wasser zu reinigen und den Verbrennungsofen auf seine Temperaturkontinuität hin zu überprüfen. Gefüllt wird das gereinigte und getrocknete Verbrennungsrohr nun beginnend mit einem Bremspfropfen, bestehend aus Asbest. Dieser Asbestpausch hat die Aufgabe am Ende des Rohres die größte Gasreibung im ganzen System zu bewirken. Von seiner Gasdurchlässigkeit hängt die Einstellung der als Druckregler fungierender Mariottischen Flasche ab. Ein oder mehrere Asbestpäusche werden mittels eines Glasstabes bis zur Ansatzstelle des Schnabels an das eine Ende des Verbrennungsrohres geschoben. Im Anschluss an den Bremspfropfen wird das Verbrennungsrohr auf einer Länge von 20 bis 25 mm mit Bleidioxid gefüllt, welches durch sanftes Klopfen auf das Verbrennungsrohr verteilt wird. Anschließend folgt eine dünne Asbest-Zwischenlage. Je nach Abstand der beiden Heizöfen ist die Länge der Tressensilberlage zu wählen. Bei Tressensilber handelt es sich um eine im Wasserstoffstrom reduzierte und anschließend im Sauerstoffstrom geglühte Silberwolle. Die Tressensilberlage sollte dabei sowohl in den Bleidioxid- als auch in den Langöfen hineinragen. Bevor das Bleichromat-Kupferoxid-Gemisch eingefüllt werden kann, muss es vom vorher eingefüllten Bleidioxid durch eine etwa 2 mm dicke Trennschicht aus Asbest getrennt werden. Anschließend folgt eine 140 mm lange Schicht aus zuvor erwähntem Bleichromat-Kupferdioxid-Gemisch, abgeschlossen von einem Pfropf aus Tressensilber. Nach dem Reinigen des restlichen Teiles des Verbrennungsrohres mit Watte, wird dieses mit einem Korken verschlossen. Um mit der nun erhaltenen Rohrfüllung des Verbrennungsrohres mehrere Analysen durchführen zu können, wird dieses über einen Zeitraum von sechs Stunden ausgeglüht. Wenn als Absorptionsröhrchen fabrikneue Röhrchen verwendet werden sollen, müssen diese vor ihrer Befüllung entsprechend vorbereitet werden. Dazu werden sie für ein paar Stunden in erwärmte, verdünnte Salzsäure gelegt und anschließend mit Wasser, destilliertem Wasser und Ethanol gewaschen. Die Befüllung des Wasserstoffabsorptionsröhrchen beginnt mit der Installation eines Wattebausches an der Trennungswand der Vorkammer. Darauf folgt eine 10 bis 15 mm lange Schicht aus Magnesiumperchlorat, gefolgt von einem weiteren Wattebausch. Nun wird der Rest des Röhrchens mit weiterem Magnesiumperchlorat aufgefüllt, durch Klopfen, verdichtet um zu verhindern, dass sich Luftkanäle bilden, und schließlich mit einem weiteren Wattebausch abgeschlossen. Verschlossen wird das Röhrchen schließlich durch einen mit Krönigschen Glaskit fixierten Schliff. Krönigscher Glaskit wird durch Zusammenschmelzen von Kolophonium und farblosem Wachs erhalten. Ebenso wie beim Wasserstoffabsorptionsröhrchen beginnt auch die Füllung des Kohlendioxidröhrchens mit einem Wattebausch selber Größe, gefolgt von einer 30 mm langen Schicht aus Magnesiumperchlorat. Mittels eines weiteren Wattebausches wird das Magnesiumperchlorat vom nachfolgenden Natronasbest, welcher bis zum Schliff des Röhrchens reicht, abgegrenzt. Auch dieses Röhrchen wird mittels Wattebausch und durch einen mit Glaskit gesicherten Schliff verschlossen. Praktischerweise werden die mit Schlauchkappen versehenen Absorp-

tionsröhrchen auf einem entsprechenden Metallstativ neben der Waage gelagert. Um eine Gewichtskonstanz der Proberöhrchen gewährleisten zu können, ist es wichtig auch die Reinigung dieser Röhrchen entsprechend zu üben und sich eine entsprechende Technik anzueignen. Die Reinigung erfolgt mit angefeuchteten Flanelllappen, die bei Nichtgebrauch staubsicher aufbewahrt werden müssen. Angefeuchtet werden diese, in dem man sie in ein Becherglas mit destilliertem Wasser taucht, sie auswringt und anschließend das restliche Wasser durch Einrollen und Ausdrücken in einem saugfähigen Handtuch entfernt. Wichtig ist dabei, dass der Reinigungsprozess stets nach dem gleichen Schema abläuft, da nur so eine Reproduzierbarkeit der Wägung gewährleistet wird. Dies gilt im Übrigen für alle verwendeten Absorptionsröhrchen.<sup>55</sup> Für die praktische Durchführung der Analyse wäre es von großem Vorteil, wenn der Analytiker über das etwaige Vorkommen von anderen Elementen außer Kohlenstoff und Wasserstoff in der Substanzprobe Bescheid weiß. Das Einwiegen der Probe erfolgt, nachdem das dafür zu verwendende Platinschiffchen in verdünnter Salpetersäure ausgekocht, über der Brennerflamme ausgeglüht und auf dem Kupferblock des Handexsikkators Zimmertemperatur erreicht hat. Sodann legt man das Platinschiffchen auf die linke Waagschale und tariert die Waage, nimmt das Schiffchen wieder heraus und gibt 3-5 mg Probe bzw. bei wasserstoffarmen Substanzen 6-8 mg mittels Mikrospatel in das Platinschiffchen. Bevor das Schiffchen abermals in die Waage gestellt werden kann, muss es an der Außen- und Unterseite mit Hilfe eines Marderhaarpinsels von etwaigen Substanzresten befreit werden. Vor dem Beginn der eigentlichen Analyse muss die Waage durch Öffnen beider Türen auf Raumtemperatur gebracht werden. Anschließend wird der Bleidioxidofen bzw. die Granate vorgeheizt. Weiters wird mittels der Mariottschen Flasche die Strömungsgeschwindigkeit bestimmt bzw. eingestellt. Die Strömungsgeschwindigkeit wird anhand von Gasbläschen, welche im Blasenähler am vorderen Ende der Apparatur aufsteigen, bestimmt. Nach erfolgter Akklimatisierung und Wägung der Absorptionsröhrchen werden diese an das Verbrennungsrohr angeschlossen. Nach einer Überprüfung der Dichtheit der Apparatur wird das Platinschiffchen mit der enthaltenen Analysesubstanz 40 bis 50 mm vor die Silberschicht in das Verbrennungsrohr geschoben. Nun wird abermals mit Hilfe der Mariottschen Flasche die Strömungsgeschwindigkeit in der Apparatur eingestellt. Diese muss bis zum Ende des Analyseanges unverändert bleiben. Der Verbrennungsvorgang beginnt, indem man mit einem beweglichen Brenner das Rohr 30 - 40 mm vor dem Schiffchen zu erhitzen beginnt. Unter stetiger Beobachtung der Blasenfrequenz und der zu verbrennenden Substanz rückt man nun millimeterweise näher an das Platinschiffchen heran. Eine jede spontane Temperaturerhöhung führt dabei zu einem kurzen Abfallen der Blasenfrequenz. Nach kurzer Zeit hat sich allerdings die ursprüngliche Blasenfrequenz wieder eingestellt und eine genaue Beobachtung erlaubt es, die Druckverhältnisse in der Apparatur nahezu konstant zu halten. Wenn man mit dem beweglichen Brenner zu schnell vorrückt, bildet sich augenblicklich zu viel Verbrennungsgas, welches sich gegen die Strömungsrichtung richten würde. Ist man

---

<sup>55</sup>Fritz *Pregl*, Hubert *Roth* (Hrsg.), *Quantitative organische Mikroanalyse* (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958) 49-55.

mit dem beweglichen Brenner in unmittelbarer Nähe des Langbrenners angelangt, wird die Sauerstoffzufuhr geöffnet und unter den Hahn der Mariottischen Flasche ein Messzylinder gestellt. Das dabei abtropfende Volumen an Wasser entspricht dem durch die Apparatur geleiteten Volumen an Sauerstoff. Nachdem 100 ml abgetropft sind, entnimmt man die Absorptionsröhrchen aus der Apparatur, reinigt sie wieder nach dem gleiche Prozedere wie vor der letzten Wägung und bestimmt deren Massen mittels der analytischen Mikrogrammwaage. Aus den Massendifferenzen der Absorptionsröhrchen kann nach erfolgter Verbrennung mittels folgendem Zusammenhang die prozentuelle Zusammensetzung der Analysesubstanz berechnet werden.<sup>56</sup>

Im oben besprochenen Beispiel würde die Berechnung nach folgender Formel erfolgen:

$$\% H = \frac{mg H_2O \cdot 0,1119 \cdot 100}{mg Substanzeinwaage}$$

$$\% C = \frac{mg CO_2 \cdot 0,2729 \cdot 100}{mg Substanzeinwaage}$$

Dabei bezeichnen die beiden Werte 0,1119 beim Wasserstoff und 0,2729 beim Kohlenstoff den gravimetrischen bzw. analytischen Faktor F, welcher sich aus dem Quotienten der Masse des zu bestimmenden Elementes und der Masse der Verbindung ergibt.<sup>57</sup>

### 5.2.3. II Demonstrationsbeispiel zur Elementaranalyse

Die Elementaranalyse nach Fritz Pregl erfordert nicht nur ein Gros an speziellen Gerätschaften, sondern vor allem eine Menge Geschick des Experimentators im Umgang mit diesen Gerätschaften. Es ist wohl eine lange Erfahrung von Nöten um im Rahmen einer mikroanalytischen Untersuchung zu signifikanten Ergebnissen zu gelangen. Dennoch ist es möglich mit vergleichsweise einfachen Mitteln die Idee der Elementaranalyse nachzustellen.

Der vorgestellte Versuch geht auf Antoine de Lavoisier zurück, wurde vom bereits ausführlich thematisierten Justus von Liebig in Gießen verbessert und schließlich von Fritz Pregl an der Universität Graz perfektioniert.

Dabei ist folgender Versuchsaufbau möglich:

---

<sup>56</sup>Fritz *Pregl*, Hubert *Roth* (Hrsg.), *Quantitative organische Mikroanalyse* (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958) 49-55.

<sup>57</sup>Hans Peter *Latscha*, Gerald *Linti*, Helmut *Klein*, *Analytische Chemie. Chemie-Basiswissen III* (4. Auflage Springer, Heidelberg 2004) 183.

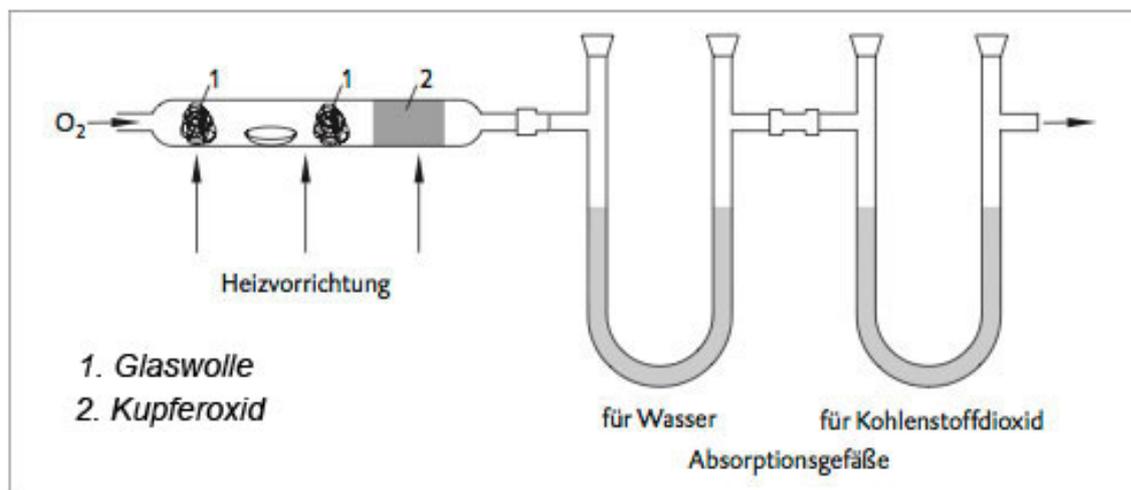


Abbildung 32: Einfache Versuchsanordnung zur Elementaranalyse

Die Versuchsanordnung ist, ebenso wie der Versuchsaufbau nach Pregl, dreiteilig, bestehend aus einer Gasquelle, einem Verbrennungsrohr und schließlich einem Absorptionsteil. Als Gasquelle dient in diesem Fall entweder Sauerstoff oder Pressluft aus der jeweiligen Gasflasche. Auch in diesem Fall muss das Verbrennungsrohr selber befüllt werden. Dazu wird es zunächst mittels Korke oder Gummistopfen am hinteren Ende verschlossen und in geeigneter Länge dicht mit Kupferoxid befüllt. Zur Abgrenzung folgt nun ein Pfropfen aus Glaswolle, welcher ähnlich wie der Asbest die Aufgabe einer Trennschicht übernimmt. Schließlich folgt die zu bestimmende, leicht flüchtige Kohlenwasserstoffprobe auf einem Porzellantiegelchen und schließlich zum Abschluss ebenfalls ein Pfropfen aus Glaswolle. Der Absorptionsteil besteht einfacherweise aus zwei aufeinanderfolgenden U-Rohren, wobei das erste mit einem Absorptionsmittel für Wasser und das zweite mit einem Absorptionsmittel für Kohlenstoffdioxid gefüllt werden muss. Beim Erhitzen des Kupferoxides wird das Kupferoxid unter Freisetzung von Sauerstoff zu elementarem Kupfer reduziert. Dieser Sauerstoff reagiert nun mit den Elementen Wassertoff und Kohlenstoff zu Wasser bzw. Kohlenstoffdioxid. Zur Absorption des Wassers eignet sich ein Trocknungsmittel, wie beispielsweise Calciumchlorid, welches aber nicht zu dicht gepackt sein darf, um den Gasstrom nicht zu unterbinden. Als Absorbens für Kohlenstoffdioxid eignet sich Natronkalk, welcher auch im medizinischen Bereich zur Absorption von Kohlenstoffdioxid eingesetzt wird.

Sämtliche Glasteile sollten mit möglichst kurzen, nicht porösen Gummischläuchen miteinander verbunden werden. Zum Beheizen des Verbrennungsrohres sind zwei Brenner notwendig; mit einem Brenner wird das Kupferoxid zum Glühen gebracht und mit dem anderen der Kohlenwasserstoff bis zum Verdampfen erhitzt.

Aus der jeweiligen Gewichtszunahme der beiden Absorptionsrohre kann nun das Verhältnis der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff zueinander berechnet und so die Summenformel des Kohlenwasserstoffes bestimmt werden.



Abbildung 33: Einfache Versuchsanordnung zur Elementaranalyse

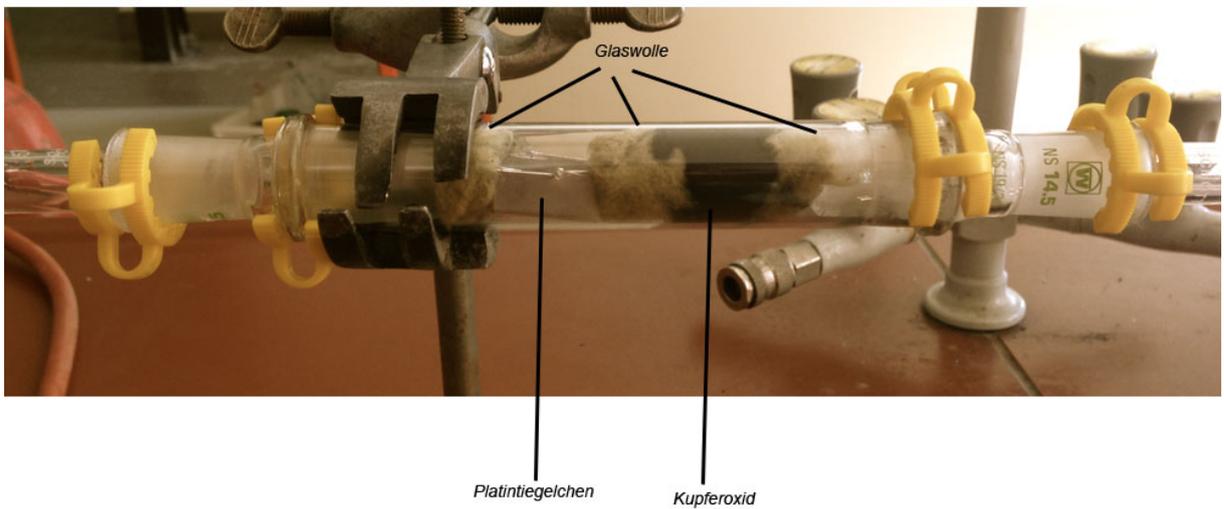


Abbildung 34: Verbrennungsrohr

## 5.3 Analytische Tüpfelreaktion nach Fritz Feigl

Tüpfelreaktionen werden im Allgemeinen mit nur ein bis zwei Tropfen Reagenzlösung entweder auf Tüpfelpapier oder aber auch auf speziellen glasierten Tüpfelplatten durchgeführt. Tüpfelpapier eignet sich für diese Nachweisreaktionen besonders, wenn es im Vorfeld der Analyse bereits mit dem entsprechenden Reagenz imprägniert wurde. Die Tüpfelreaktion ist dabei keineswegs eine neue Entwicklung, doch ergeben sich durch den Einsatz organischer Reagenzien neue Verwendungsmöglichkeiten. Theoretisch kann zwar jede Reagenzglasreaktion, welche ein gefärbtes Produkt bildet, auch im Sinne einer Tüpfelreaktion durchgeführt werden, doch empfiehlt es sich, nur erprobte und hinsichtlich der Empfindlichkeit überprüfte Tüpfelreaktionen anzuwenden. Weiters setzt die Tüpfelreaktion ein Wissen über die Gebrauchsmöglichkeit und hinsichtlich störender Einflüsse voraus und sollte nicht dazu verleiten, durch bloßes Probieren und planloses Tüpfeln einen systematischen Analysegang zu umgehen. Gerade im Hinblick auf die Analyse einzelner Bestandteile von Gruppenfällungen stellt die Tüpfelanalyse einen wichtigen Bestandteil des analytisch-chemischen Rüstzeugs eines Analytikers dar.<sup>58</sup>

*Die Tüpfelanalyse macht von der Auswertbarkeit chemischer Umsetzung zum Zwecke der Erreichung größtmöglicher Empfindlichkeit und Einsinnigkeit weitgehenden Gebrauch; sie verbindet damit vielfach eine wesentliche Ersparnis an Zeit und Material und darin liegt ihr Wert als analytische Arbeitsmethode.*<sup>59</sup>

Anders als bei der quantitativen chemischen Mikroanalyse ist bei der analytischen Tüpfelreaktion nicht die vollständige Umsetzung des zu bestimmenden Stoffes und somit seine Messbarkeit von zentraler Bedeutung, sondern es ist lediglich die sichere Wahrnehmung des Reaktionsproduktes von Bedeutung. Folglich ist hierbei auch keine komplette Umsetzung zum Reaktionsprodukt von Nöten, sondern der wesentliche Punkt ist, dass die Reaktion zu einer ausreichenden Menge wahrnehmbaren Reaktionsproduktes führt. Dabei ist es gleichgültig, ob das Reaktionsprodukt ein schwerlöslicher Niederschlag, ein Gas oder bloß eine spezifisch gefärbte Verbindung ist. Ebenso verhält es sich mit der stöchiometrischen Richtigkeit der Umsetzung, die der Reaktion Grunde zu Grunde liegt und der Kenntnis über die Zusammensetzung des Reaktionsproduktes, welche zwar wünschenswert aber nicht zwingend erforderlich ist. Ein wichtiger Punkt ist allerdings die Empfindlichkeit der Tüpfelreaktionen, was bedeutet, dass mit möglichst geringen Stoffmengen ein plausibler Nachweis erzielt werden soll. Neben der Steigerung der Empfindlichkeit einer Reaktion ist es wünschenswert, unerwünschte Nebenreaktionen oder Störfaktoren zu eliminieren. Als Ergänzung des Begriffes Empfindlichkeit definiert Feigl den Begriff der Erfassungsgrenze als Maßstab für die Qualität einer Nachweisreaktion. Darunter versteht man die kleinste Menge an Substanz, welche durch irgendeine Reaktion oder Methode, gleichgültig in welchem Volumen, eindeutig auffindbar ist. Doch nicht

---

<sup>58</sup>R. *Strebinger*, Praktikum der qualitativen chemischen Analyse. Einschließlich Mikro- und Tüpfelreaktionen (3., durchgesh. Aufl. Wien 1944) 4.

<sup>59</sup>Fritz *Feigl*, Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen. Theoretische Grundlagen, praktische Ausführung und Anwendung (3. Aufl. Leipzig 1938) 3.

alleine die Erfassungsgrenze ist ein entscheidendes Kriterium, sondern es muss immer auch Bedacht genommen werden, auf welches Lösungsvolumen sich diese Erfassungsgrenze bezieht. Dabei bietet die Tüpfelreaktion den Vorteil, dass Farb- oder Fällungsreaktionen das entstehende Reaktionsprodukt in kleinem Maßstab oftmals besser erkennen lassen, als in großen Volumina.<sup>60</sup>

Ein analytischer Nachweis mittels Tüpfelreaktion ist aus ökonomischen Gründen auch dann empfehlenswert, wenn ausreichenden Mengen an Substanz zu Verfügung stehen und der Nachweis auch im Reagenzglas erfolgen könnte. Auf jeden Fall notwendig ist eine Tüpfelanalyse, wenn nur geringe Substanzmengen zu Verfügung stehen oder der zu untersuchende Gegenstand nicht sichtbar beschädigt werden darf. Die Nachweisreaktion der Wahl ist dabei von der Anwesenheit vermuteter Begleitstoffe abhängig; auf jeden Fall gilt aber, dass man mit 0,5 cm<sup>3</sup> bzw. einigen mg das Auslangen für eine mehrmalige Aufstellung von Tüpfelproben findet. Des Weiteren ist zu bemerken, dass Verunreinigungen oder Begleitstoffe in der Probe die Eindeutigkeit von Nachweisen deutlich herabsetzen können. Die Nachweisreaktion muss bereits bei der Vereinigung von je einem Tropfen der Reagenzlösung und einem Tropfen der Probelösung funktionieren, wobei das jeweilige Reagenz oder auch die Probe selber in fester Form zugegeben werden können. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Filterpapier mit der Reagenzlösung zu imprägnieren, um dieses mit der Probelösung zu benetzen. Ist die Probe gasförmig, so ist es geschickt, diese in einem Tropfen Wasser zu lösen oder direkt mit einem Tropfen des Reagenz zur Reaktion zu bringen. Wenn nun Tüpfelreaktionen in sehr kleinem Maßstab durchgeführt werden, bedeutet das aber keinesfalls, dass die jeweiligen makroskopischen Nachweisreaktionen lediglich verkleinert werden, viel mehr geht es darum, besonders empfindliche und charakteristische Nachweise für die Tüpfelreaktionen zu finden und durchzuführen. Ist die Nachweisreaktion nämlich in einem entsprechenden Maße empfindlich und charakteristisch, so wird diese auch bei Anwesenheit von anderen Substanzen gelingen. In diesem Sinne ist es auch möglich, die Tüpfelanalyse zur Reinheitsprüfung einzusetzen. Aber auch Reaktionen, welche weniger selektiv sind, können das gewünschte Analysergebnis liefern, nämlich dann, wenn störende Substanzen im Vorfeld durch Fällung entfernt wurden. Reaktionen, welche im Makromaßstab oft nicht ausführbar sind, lassen sich oft als Tüpfelreaktion auf einem imprägnierten Filterpapier realisieren, da hier auftretende Kapillareffekte eindeutige Nachweise ermöglichen.<sup>61</sup>

Um mikrochemische Reaktionsprodukte aufbewahren zu können, empfiehlt Winckelmann diese Reaktionen in einer mit dem Reagenz getränkten Gelatinegallerte durchzuführen. Dabei überzieht man einen Objektträger mit einer Schicht Gelatine oder Glyzeringelatine und verwendet dann dieses Medium anstatt der Tüpfelplatte zur Tüpfelanalyse. Eine andere Möglichkeit der Durchführung besteht darin, das Reagenz in die Gelatine einzurühren und damit einen ähnlichen Effekt wie bei der Arbeit mit imprägniertem Filterpapier zu

---

<sup>60</sup>Fritz *Feigl*, Tüpfelreaktion. In: Mikrochemie 1/2 (1923) 4.

<sup>61</sup>Fritz *Feigl*, Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen. Theoretische Grundlagen, praktische Ausführung und Anwendung (3. Aufl. Leipzig 1938) 141-143.

erzielen, allerdings mit dem Unterschied, dass Reaktionen in Gelatine ein Vielfaches an Zeit beanspruchen.<sup>62</sup>

### 5.3.1 Praktische Anwendung

Auf einfachste Weise kann das Vereinen von Tropfen der Probe und der Reagenzlösung durch einfaches Abtropfen von einem Glasstab erfolgen. Die Menge der entnommenen Lösung und somit auch die Tropfengröße steht in einem direkten Verhältnis zur Dicke des Glasstabes. Ebenso zweckmäßig sind Glaspipetten oder an Glasstäben angeschmolzene Platindrahtösen. Je nach Einsatzgebiet und gewünschter Tropfengröße ist es ratsam eigene Glasgeräte aus bestehenden Glasgerätschaften zu formen. Die Tropfen der Reagenzlösung sowie der Probe können nun entweder auf Tüpfelplatten, in Mikroporzellantiegelchen oder auf Filterpapier miteinander vereint werden. Tüpfelplatten sind aus glasiertem Porzellan fabriziert und enthalten je nach Ausführung 6 bis 12 nebeneinanderliegende Vertiefungen, die Volumina von  $0,5 - 1 \text{ cm}^3$  aufnehmen können. Für Reaktionen, die zu farbigen Reaktionsprodukten führen, eignen sich weiße Tüpfelplatten, wohingegen hellfarbige Niederschläge oder Trübungen besser an schwarzen Tüpfelplatten ausgemacht werden können. Tüpfelreaktionen, die nur ganz schwer erkennbare Niederschläge liefern, lassen sich zweckdienlicher Weise auch in Mikroproberöhrchen durchführen. Geeignete Rührwerkzeuge können dabei aus Glasstäben durch Ausziehen dieser einigermaßen einfach hergestellt werden. Sollte zwecks eines schnelleren Reaktionsablaufes ein Erwärmen notwendig sein, so kann die gesamte Tüpfelplatte auf einer Asbestplatte erwärmt werden oder eine elektrisch beheizbare Tüpfelplatte angeschafft werden. Von Zeit zu Zeit empfiehlt sich die Reinigung der Tüpfelplatten mit Chromschwefelsäure, Alkohol und Ether. Liefert eine Nachweisreaktion nur sehr geringe Niederschlagsmengen, die noch dazu schwer zu erkennen sind, so wird die Suspension in einer Ether-Wasser-Mischung ausgeschüttelt, wobei sich der Niederschlag an der Grenzfläche zwischen wässriger und organischer Phase ansammelt und somit sichtbar wird. Ein wichtiger Vorteil von Gerätschaften aus Glas bzw. Porzellan ist deren Beständigkeit gegen saure und basische Lösungen. Zur Herstellung von imprägniertem Reagenzpapier eignen sich nahezu alle verfügbaren Filterpapiere. Diese werden in Streifen geschnitten, in das Reagenz getaucht und zum Trocknen in den Trockenschrank gehängt. Das Aufbringen der Tropfen auf das Reagenzpapier kann mit Hilfe einer Pipette oder durch Abtropfen von einem Glasstab erfolgen. Bei der Arbeit mit einem Reagenzpapier eignen sich auch Kapillaren, die sanft auf das Papier gedrückt werden. So breitet sich die Probenlösung ringförmig um die Einstichstelle aus und die Reagenzprodukte bleiben in unmittelbarer Nähe der Einstichstelle haften, was in weiterer Folge zu einer gesteigerten Empfindlichkeit der jeweiligen Nachweisreaktion führt. Ist nach erfolgter Reaktion eine Trennung der flüssigen Phase vom Niederschlag erforderlich, so kann das mittels einer Pipette erfolgen, an deren verjüngtem Ende ein Wattebausch

---

<sup>62</sup>Joachim *Winckelmann*, Über einige neue Methoden der präparativen Chemie. Vorläufige Mitteilung. In: Mikrochemie 10 (1932) 37-39

befestigt ist, welcher verhindert, dass neben der abzusaugenden flüssigen Phase auch ein Reaktionsprodukt in die Pipette gelangt. Will man den Bodenkörper weiterverarbeiten, so kann dieser in einer Handzentrifuge von der flüssigen Phase abgetrennt werden. Wenn die Reaktion gleich direkt in einem Glasfiltrerröhrchen durchgeführt wird, ist es möglich, den Niederschlag nach dem Fällen sogleich auszuwaschen. Ebenso gut können Reaktionsprodukte über eine Absaugeprouvette trockengesaugt werden. Ist eine Erwärmung erforderlich, besteht, wie schon vorher festgehalten, die Möglichkeit, die Tüpfelplatte zu erwärmen, aber auch Reagenzpapier kann erwärmt werden, indem es mit Hilfe einer Pinzette über ein Mikroflämmchen gehalten wird.<sup>63</sup>

### 5.3.2 Tüpfelanalyse am Beispi der Bestimmung von Silber

#### 5.3.2. I Nachweis mit Mangannitrit und Lauge

Nach folgender Reaktion  $\text{Mn}^{2+} + 2 \text{Ag}^+ + 4 \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 2 \text{Ag} + 2 \text{H}_2\text{O}$  entsteht Braunstein und elementares Silber als Niederschlag, wobei die Umsetzung schon bei relativ geringer Silberionenkonzentration stattfindet und auch Silberchlorid durchaus durch die Bildung der dunkelfarbigen Produkte nachgewiesen werden kann. Bei der Anwesenheit von Mercurosalzen wäre diese Reaktion nicht eindeutig, da diese mit der Base augenblicklich unter Bildung von schwarzem, fein verteiltem, elementarem Quecksilber ausfallen. Sollten trotzdem Mercurosalze in der Probe sein, ist die vorhergehende Abscheidung und Abtrennung von Silberchlorid erforderlich. Zur Durchführung dieser Nachweisreaktion wird mit Salzsäure ein Tüpfelfleck in der Mitte eines Stückes Filterpapier gemacht und im Anschluss ein Tropfen Probelösung, gefolgt von wiederum einem Tropfen Salzsäure zugetropft. Der Tüpfelfleck verfärbt sich schwarz, wenn noch je ein Tropfen 0,1 N Mangannitrat und ein Tropfen 0,1 N Natronlauge zugegeben werden. Die Erfassungsgrenze dieser Reaktion liegt bei 2  $\mu\text{g}$  Silber, bei einer Grenzkonzentration von 1:25000. Um die Empfindlichkeit auf 0,3  $\mu\text{g}$  zu erhöhen, wird zuerst ein Tropfen Salzsäure mittels Pipette aufgetragen und dann mit einer Kapillare eine Kleinmenge Probenlösung zugegeben. Erst nach einer mehrmaligen Wiederholung dieses Prozederes werden die restlichen Reaktionslösungen zugetropft und die schwarze Färbung beobachtet<sup>64</sup>

#### 5.3.2. II Nachweis durch physikalische Entwicklung

Auf einer Fotoplatte wird das Bild nach der Belichtung durch Behandlung mittels eines Entwicklers sichtbar gemacht. Dieser reduziert das belichtete Silberbromid zu elementarem Silber. Die Abscheidung des Silbers aus dem Silberbromid funktioniert besser, wenn ein sogenannter physikalischer Entwickler verwendet wird. Außer dem Reduktionsmittel

<sup>63</sup>Fritz *Feigl*, Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen. Theoretische Grundlagen, praktische Ausführung und Anwendung (3. Aufl. Leipzig 1938) 151.

<sup>64</sup>Fritz *Feigl*, Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen. Theoretische Grundlagen, praktische Ausführung und Anwendung (3. Aufl. Leipzig 1938) 157.

enthält dieser selbst einen Anteil Silbersalz. Mit solch einem physikalischen Entwickler können äußerst geringe Mengen Silber per Tüpfelanalyse nachgewiesen werden. Auf einem Filterpapier wird an einer Stelle mit Bleistift ein Kreis von ca. 15 mm Durchmesser gezeichnet, in eine Glasschale gelegt und in die Mitte dieses Kreises ein Tropfen der zu untersuchenden Substanzlösung getropft. Nachdem sich ein nasser Fleck gebildet hat, wird das Filterpapier für die Dauer von 30 Sekunden in einer 0,02 M Kaliumbromidlösung gebadet und anschließend gründlich mit Wasser gewaschen. Dabei ist es essentiell wichtig, alles Kaliumbromid aus dem Filterpapier zu entfernen. Hierbei bleiben Spuren vom gebildeten Silberbromid an den Fasern des Filterpapiers hängen, die dann mittels physikalischem Entwickler nachgewiesen werden können. Zur Herstellung des Entwicklers werden 10 g Metol (4-Methylaminophenolsulfat) und 50 g Zitronensäure in 500 mL Wasser gelöst. Erst kurz vor dem Einsatz des Entwicklers werden zu 50 mL genau 2 mL 0,1 N Silbernitratlösung zugegeben. Nachdem das Filterpapier gründlich gewaschen wurde, wird der physikalische Entwickler zugetropft und je nach Silbergehalt der Probe bildet sich, in bis zu einer halben Stunde, innerhalb des Bleistiftkreises ein grauer Fleck, der sich allmählich schwarz färbt. Der zu Beginn der Reaktion farblose und klare Entwickler verfärbt sich durch ausgeschiedenes Silber violett. Sollten auf dem Filterpapier Verunreinigungen oder Fremdkörper anwesend sein, so entstehen an diesen Stellen durch ausgeschiedenes Silber aus dem Entwickler ebenfalls schwarze Flecken. Diese beirren die Nachweisreaktion allerdings nicht, wenn sie außerhalb des Bleistiftkreises auftreten. Mit dieser Nachweisreaktion ist es möglich,  $0,005 \mu\text{g}$  Silber zu erfassen, wobei die Grenzkonzentration bei einem Verhältnis von  $1:10^7$  liegt.<sup>65</sup>

### 5.3.2. III Nachweis durch katalytische Reduktion von Mn(III)-Salzen

Unter Zusatz von Silbersalzen entfärben sich dunkelbraune, salzsaure Lösungen von  $\text{Mn}^{3+}$  relativ rasch auf Grund der katalytischen Wirkung des Silberchlorids unter Ausbildung eines  $\text{HAgCl}_2$ -Komplexes.

Bei dem als Tüpfelreaktion durchgeführten Nachweis werden in zwei benachbarte Vertiefungen der Tüpfelplatte je drei Tropfen der Reagenzlösung und zwei Tropfen verdünnter Salzsäure überführt. Zur Herstellung der Mn(III)-Lösung werden 0,6 g  $\text{MnSO}_4$  in 60 mL Wasser und 20 mL konzentrierter Salzsäure gelöst. Davon werden 10 mL einer 0,1 N  $\text{KMnO}_4$ -Lösung beigemischt und ausreichend homogenisiert. In eine der beiden Vertiefungen mit der Reagenzlösung gibt man nun einen Tropfen der Probelösung, in die andere Vertiefung zum Vergleich einen Tropfen Wasser. In Abhängigkeit der Silberkonzentration in der Probelösung entfärbt sich die Mn(III)-Lösung entsprechend rasch. Die Erfassungsgrenze liegt bei diesem Nachweis in der Größenordnung von  $0,4 \mu\text{g}$  Silber bei einer Grenzkonzentration von  $1:120000$ .<sup>66</sup>

<sup>65</sup>Fritz Feigl, Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen. Theoretische Grundlagen, praktische Ausführung und Anwendung (3. Aufl. Leipzig 1938) 160-161.

<sup>66</sup>Fritz Feigl, Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen. Theoretische Grundlagen, praktische Ausführung und Anwendung (3. Aufl. Leipzig 1938) 161-162.

### 5.3.3 Elektro-Tüpfelanalyse

Ein weitere interessante Methode im Rahmen des Nachweises von Silber stellt die Elektro-Tüpfelanalyse dar.

Die Elektro-Tüpfelmethode dient in erster Linie zur Edelmetallprüfung. Das zu untersuchende Metall wird dabei auf einem mit der Reagenzlösung getränkten und auf einem Aluminiumstreifen aufgelegten Papierstreifen bewegt. Wird das Metall auf dem Papierstreifen ohne Stromzufuhr bewegt, so bildet sich das Aluminiumblech als negativer Pol und das Metall als positiver Pol aus. Die Reagenzlösung bildet dabei den Elektrolyten, in den beide Pole eintauchen. Bei der Bewegung des Metalls auf dem Papierstreifen scheidet sich das Reaktionsprodukt strichförmig ab, weshalb diese Methode auch als Elektro-Strichmethode bezeichnet wird. Vorteilhaft an dieser Methode der Edelmetallprüfung ist die Tatsache, dass das Metall im Vorfeld nicht gelöst werden muss. Je stärker sich der Strich beim Ziehen auf dem Papierstreifen abbildet, desto höherprozentig ist dabei der Gehalt des nachzuweisenden Metalls in der Probe. Bei der Arbeit mit Hilfe einer Stromquelle muss der negative Pol dieser mit dem Aluminiumblech und der positive Pol mit dem zu untersuchenden Metall verbunden werden, wobei natürlich auf eine geeignete Isolierung zu achten ist. Die Abscheidung des Reagenzproduktes erfolgt dabei wesentlich rascher als bei der stromlosen Methode. Als Spannungsquelle kommen sowohl Gleich- als auch Wechselstromquellen in Betracht, wobei man bei der Arbeit mit Wechselstrom keinen durchgehenden Strich erhält, sondern auf Grund der periodischen Umpolung eine gestrichelte Linie. Die Arbeit mit Wechselstrom ermöglicht es in diesem Zusammenhang, zwei Metalle einer Legierung nachzuweisen, wobei die je nach Reagenzlösung gefärbten Striche auf den unterschiedlichen Streifen des Papiers auftreten. Hierbei ist allerdings darauf zu achten, dass das zu untersuchende Metall mit der Reagenzlösung eine unlösliche Verbindung eingeht, damit eine Wiederabscheidung bei Umpolung ausgeschlossen werden kann.<sup>67</sup>

---

<sup>67</sup>H. Fritz, Über einige neue Ausführungsformen der Elektro-Tüpfelanalyse. In: Mikrochemie 21 (1937) 47-56.

# Zusammenfassung

Betrachtet man die Entwicklung der Chemie von ihren Anfängen als Hilfswissenschaft der Medizin hin zu einer eigenen Naturwissenschaft, so erkennt man, dass vor allem ein wichtiger Punkt die Flucht aus diesem Schattendasein ermöglicht hat, nämlich die Theorie. Die Theorie und mit ihr die theoriegeleitete Forschung stellen somit den Wendepunkt von der Alchemie zur Naturwissenschaft dar. Die Aufgabe dieser Wissenschaft ist somit fortan einerseits die Forschung, aber auch die Vermittlung von Wissen und somit die Lehre. Dabei stellt die Chemie den Anspruch, Phänomene des täglichen Alltags zu beschreiben und noch mehr erklären und verstehen zu können.

Eine wesentliche Rolle spielte dabei die Einrichtung eigener Lehrstühle für Chemie an den Universitäten und die Errichtung eigener Institute und Laboratorien. Die Aufgabe dieser Einrichtungen ist nun einerseits die Forschung, aber andererseits auch die Weitergabe erlangten Wissens an die Studierenden. Auf Basis dieser Forschung gelingt es immer weiter in die Struktur der Materie einzudringen und Theorien über den Aufbau und die Zusammensetzung von Molekülen und Atomen zu entwickeln. Natürlich führen diese Theorien vice versa zu neuer Forschungsarbeit und so entsteht ein Prozess des Fortschrittes der bis heute anhält.

Die Entwicklung chemischer Institute, wie wir sie heute kennen, nahm ihren Lauf in der kleinen hessischen Universitätsstadt Gießen und machte auch vor der Universität Wien nicht halt, wo am Beginn des 20. Jahrhunderts das heutige Gebäude in der Währingerstraße seiner Bestimmung übergeben werden konnte. Auf die Beschreibung des Aufbaus und der Ausrüstung chemischer Hörsäle sowie Laboratorien wird dabei in dieser Arbeit ein besonderer Focus gelegt. Die Beschaffenheit und Ausstattung der wiener chemischen Institute gehörten zu den modernsten ihrer Zeit und somit liegt es auf der Hand, dass Mitarbeiter dieser Institute, wie beispielsweise Fritz Feigl mit seiner Tüpfelanalyse, der Universität Wien zu beachtlichem Ruhm verhalf. An der Universität Graz konnte indes Fritz Pregl die Elementaranalyse weiterentwickeln und im Rahmen der Mikroanalyse zur Perfektion bringen.

Sowohl die Mikro- als auch die Tüpfelanalyse stellen hohe Ansprüche sowohl an die Ausbildung als auch an die Geschicklichkeit des Experimentators und sind somit wiederum Zeugnis für die wichtige Aufgabe der Lehre und der Theorie in der Chemie und der gesamten Naturwissenschaft.

# Abstract

Looking at the development of chemistry from its initial stages as an ancillary science, we can discern that theory is the major factor that led chemical science step out of its shadowy existence.

Theory and theoretically based research represent a milestone in the development from alchemy up to modern science. Now the task of theory and theoretically based research lies on the one hand in the research work, and on the other hand the distribution of knowledge and competencies. So, the mission of chemical science is to describe and to understand everyday phenomena in a new way.

Establishing special chairs of chemistry at universities and special chemical laboratories and institutes are essential for research and education. On the basis of input from scientific research it is possible to get informations on the structure of the atom and molecules. This information in turn leads to further research activities and moreover to scientific progress and development.

The development of modern chemical institutes in Central Europe began with the building of Liebig's new chemical institute at the University of Gießen. This university has become a role model for a large number of universities in the German-speaking regions, thereby including the University of Vienna. So, the focus of this report is centered on the description of the technical equipment of chemical lecture halls and laboratories. With their educational and technical equipment in the spirit of the times, it is not surprising that there are some employees of the University of Vienna, who achieved worldwide fame; e.g. Fritz Feigl with his spot test analysis. Furthermore at the University of Graz, Fritz Pregl developed a new quality of elemental analysis, the so-called microanalysis.

Both techniques place high demands on scientific skills and professionalism in working by the experimenter. These requirements demonstrate the importance of education theoretically based research in natural sciences, especially chemistry.

# Literaturverzeichnis

- Rudolf *Arendt*, Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900)
- Svante *Arrhenius*, Theorien der Chemie. Nach Vorlesungen gehalten an der Universität von Kalifornien zu Berkeley (Leipzig 1909)
- Reinhart *Blochmann*, Luft, Wasser, Licht und Wärme. In: Aus Natur und Geisteswelt. Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens (Leipzig 1903)
- William H. *Brock*, Viewegs Geschichte der Chemie (Braunschweig/Wiesbaden 1997)
- C. *Bulk*, Wasserluftpumpen In: Zeitschrift für Analytische Chemie, 1878, Jahrg. 17, Heft 1, 198
- Friedrich *Emich*, Lehrbuch der Mikrochemie (Wiesbaden 1911)
- Otto L. *Erdmann*, Über das Studium der Chemie (Leipzig 1861)
- Fritz *Feigl*, Qualitative Analyse mit Hilfe von Tüpfelreaktionen. Theoretische Grundlagen, praktische Ausführung und Anwendung (3. Aufl. Leipzig 1938)
- Fritz *Feigl*, Tüpfelreaktion. In: Mikrochemie 1/2 (1923)
- H. *Fritz*, Über einige neue Ausführungsformen der Elektro-Tüpfelanalyse. In: Mikrochemie 21 (1937)
- Wilhelm *Gentsch*, Gasglühlicht, dessen Geschichte, Wesen und Wirkung. Vorläufer des heutigen Gasglühlichtes In: Dingers Polytechnisches Journal, Jahrg. 76, Bd. 295, Heft 9. Stuttgart, 1. März 1895
- Johann W. *Goethe*, Faust I. Der Tragödie erster Teil (Hollfeld 1996)
- Siegfried *Heilenz*, Das Liebig-Museum in Gießen (4. Aufl Verlag der Ferber'schen Universitäts Buchhandlung Gießen 1996)
- Arnold F. *Hollemann*, Wilhelm *Manhot* (Hrsg.), Lehrbuch der Anorganischen Chemie für Studierende an Universitäten und technischen Hochschulen (Leipzig 1903)

- Ludwig *Kofler*, Mikroschmelzpunktbestimmung. *In: Ludwig Kofler, Adelheid Kofler Adolf Mayrhofer*, Monographien aus dem Gesamtgebiete der Mikrochemie. Mikroskopische Methoden in der Mikrochemie (Wien und Leipzig 1936)
- Hans Peter *Latscha*, Gerald *Linti*, Helmut *Klein*, Analytische Chemie. Chemie-Basiswissen III (4. Auflage Springer, Heidelberg 2004)
- Justus *Liebig*, Anleitung zur Analyse organischer Körper (2., umgearb. und verm. Aufl. Braunschweig 1853)
- Gunnar *Lindström*, Rudolf *Langkau*, Wolfgang *Scobel*, Physik kompakt 3. Quantenphysik und Statistische Physik (Berlin/Heidelberg 2002)
- Carl *Mahr*, Anorganisches Grundpraktikum für Chemiker und Studierende der Naturwissenschaften (Weinheim 1952)
- Helga *Michl*, Geschichte des Studienfaches Chemie an der Universität Wien in den letzten hundert Jahren (ungedr. geisteswiss. Diss. Wien 1950)
- Karl *Neumann*, Vorlesungen über anorganische Chemie. Zum Gebrauch an Universitäten und technischen Hochschulen, sowie zum Unterricht an höheren Lehranstalten (Vieweg-Verlag, Braunschweig 1876)
- N.N. Explosion bei einer Sauerstoffdarstellung im Großen *In: Dinglers Polytechnisches Journal*, Jahrg. 50, Bd. 196, Heft 6. (Stuttgart 1870)
- O. *Pfundt*, Eine Mikrowaage ohne Balkenreiter. *In: Microchimica Acta* 17 (1954)
- Fritz *Pregl*, Hubert *Roth* (Hrsg.), Quantitative organische Mikroanalyse (3., vollk. neu bearb. und erw. Aufl. Wien 1958)
- Hans *Reihlen*, Remsen's Einleitung in das Studium der Chemie (10., völlig Neubearb. Aufl. Dresden/Leipzig 1939)
- R. *Strebinger*, Praktikum der qualitativen chemischen Analyse. Einschließlich Mikro- und Tüpfelreaktionen (3., durchgeseh. Aufl. Wien 1944)
- Richard *Strebinger*, Quantitative Mikroanalyse. *In: Mikrochemie* 7 (1929)
- Wilhelm *Strube*, Der historische Weg der Chemie. Von der Uhrezeit bis zur industriellen Revolution (1. Aufl. Leipzig 1981)
- H. *Tryller*, Eine neue Laboratoriumsturbine *In: Dr. G. Krause*, Chemisches Repertorium. Übersicht über das Gesamtgebiet der reinen und angewandten Chemie, 1897, Jahrg. 21, Heft 25, 1
- Joachim *Winckelmann*, Über einige neue Methoden der präparativen Chemie. Vorläufige Mitteilung.

- Friedrich *Wöhler*, Justus *Liebig* (Hrsg.) In: *Annalen der Chemie und der Pharmazie*.  
Band 33, 113-115 (Heidelberg 1840) *In*: *Mikrochemie* 10 (1932)

# Abbildungsverzeichnis

1	Studienplan des Studenten Horsford, Quelle: eigenes Foto . . . . .	14
2	Liebig's altes Labor, Quelle: eigenes Foto . . . . .	16
3	Liebig's Analysewaage, Quelle: eigenes Foto . . . . .	17
4	Elementaranalyse inkl. Fünfkugelapparat, Quelle: eigenes Foto . . . . .	18
5	Liebig's Hörsaal, Quelle: eigenes Foto . . . . .	18
6	Analyselabor, Quelle: eigenes Foto . . . . .	19
7	Grundriss des chemischen Instituts Gießen, Quelle: Siegfried <i>Heilenz</i> , Das Liebig-Museum in Gießen (4. Aufl. Verlag der Ferber'schen Universitäts Buchhandlung Gießen 1996) 58. . . . .	19
8	Fünfkugelapparat, Quelle: <a href="http://www.chem.yale.edu/chem125/125/history-99/4RadicalsTypes/Analysis/Kali/kaliapparat.htm">http://www.chem.yale.edu/chem125/125/history-99/4RadicalsTypes/Analysis/Kali/kaliapparat.htm</a> am 08.06.2013 . . . . .	20
9	Atommodell nach Thomson, Quelle: <a href="http://www.ndla.no/nb/node/57927">www.ndla.no/nb/node/57927</a> am 21.03.2013	25
10	Labor zur Jahrhundertwende, Quelle: Wilhelm <i>Strube</i> , Der historische Weg der Chemie. Von der Industriellen Revolution bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts (1. Aufl. Leipzig 1981) S. 123. . . . .	29
11	Hörsaalgrundriss nach Arendt, Quelle: Rudolf <i>Arendt</i> , Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg, Leipzig, 1900) 4. . . . .	31
12	Hörsaallängsschnitt nach Arendt, Quelle: Rudolf <i>Arendt</i> , Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg, Leipzig, 1900) 4. . . . .	31
13	Carl Auer v. Welsbach Hörsaal, Quelle: eigenes Foto . . . . .	32
14	Experimentiertisch, Quelle: Rudolf <i>Arendt</i> , Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg, Leipzig, 1900) 14. . . . .	34
15	Experimentiertisch, Quelle: eigenes Foto . . . . .	34
16	Steinplatte, Quelle: eigenes Foto . . . . .	35
17	Polklemmen, Quelle: eigenes Foto . . . . .	35
18	Wasserhahn mit Abfluss in Tischplatte, Quelle: eigenes Foto . . . . .	36

19	Rabe'sche Turbine mit Antriebssieb, Quelle: H. <i>Tryller</i> , Eine neue Laboratoriumsturbine <i>In: Dr. G. Krause</i> , Chemisches Repertorium. Übersicht über das Gesamtgebiet der reinen und angewandten Chemie, 1897, Jahrg. 21, Heft 25, 1. . . . .	37
20	Tischabzug offen und geschlossen, Quelle: Rudolf <i>Arendt</i> , Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 16. . . . .	37
21	Vorbereitung Tischabzug, Quelle: eigenes Foto . . . . .	38
22	Darstellung von Sauerstoff und Wasserstoff, Quelle: Rudolf <i>Arendt</i> , Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 36. . . . .	39
23	Abzugsesse, Quelle: Rudolf <i>Arendt</i> , Technik der Experimentalchemie. Anleitung zur Ausführung chemischer Experimente. Für Lehrer und Studierende, sowie zum Selbstunterricht (Hamburg/Leipzig 1900) 28. . . . .	39
24	Abzug im Carl Auer v. Welsbach Hörsaal, Quelle. eigenes Foto . . . . .	41
25	Abzüge aus der Entstehungszeit des Institutsgebäudes, Quelle. eigenes Foto	41
26	Blick ins Auditorium, Quelle. eigenes Foto . . . . .	42
27	Mikroschmelzpunktapparat, Quelle: <i>Reichert</i> (1975): Thermogeräte (Wien) 3. . . . .	45
28	Heiztisch nach Kofler, Quelle: <i>Reichert</i> (1975): Thermogeräte (Wien) 5. . .	46
29	Reiterlose Mikrowaage mit Bruchgrammauflage, Quelle: www.ebay.de am 08.06.2013 . . . . .	50
30	Mikrowaage mit Balkenreiter, Quelle: <a href="http://www.galerie-im-web.de/antiquitaeten/technik.htm">http://www.galerie-im-web.de/antiquitaeten/technik.htm</a> . . . . .	51
31	Apparatur zur quantitativen mikroanalytischen Untersuchung, Quelle: Fritz <i>Pregl</i> , Die quantitative organische Mikroanalyse (Springer 1923) 23. . . . .	53
32	Einfache Versuchsanordnung zur Elementaranalyse, Quelle: Karl <i>Kanz</i> , Chemie: Grundlagen, Arbeitstechniken und Methoden (Freising 2004) 216. . .	58
33	Einfache Versuchsanordnung zur Elementaranalyse, Quelle: eigenes Foto . .	59
34	Verbrennungsrohr, Quelle: eigenes Foto . . . . .	59

## Lebenslauf des Autors

Nach dem Besuch der Evangelischen Volksschule am Karlsplatz in Wien, maturierte der Autor dieser Arbeit, Philipp Werderitsch, im Juni 2002 am Evangelischen Oberstufenrealgymnasium in Oberschützen.

Nach Ableistung des Präsenzdienstes begann dieser im September 2003 das Studium der Unterrichtsfächer Chemie und Physik und im März 2009 das Studium der Unterrichtsfächer Chemie, Geschichte und Politische Bildung.

Neben einer Anstellung am Institut für Organische Chemie der Universität Wien in den Jahren 2009 bis 2012 unterrichtet der Autor seit dem Wintersemester 2012 am BG/BRG Keimgasse in Mödling die Unterrichtsfächer Chemie und Chemie-Labor.

Diese Arbeit stellt dabei die Abschlussarbeit des Studiums der Unterrichtsfächer Chemie, Geschichte und Politische Bildung dar.