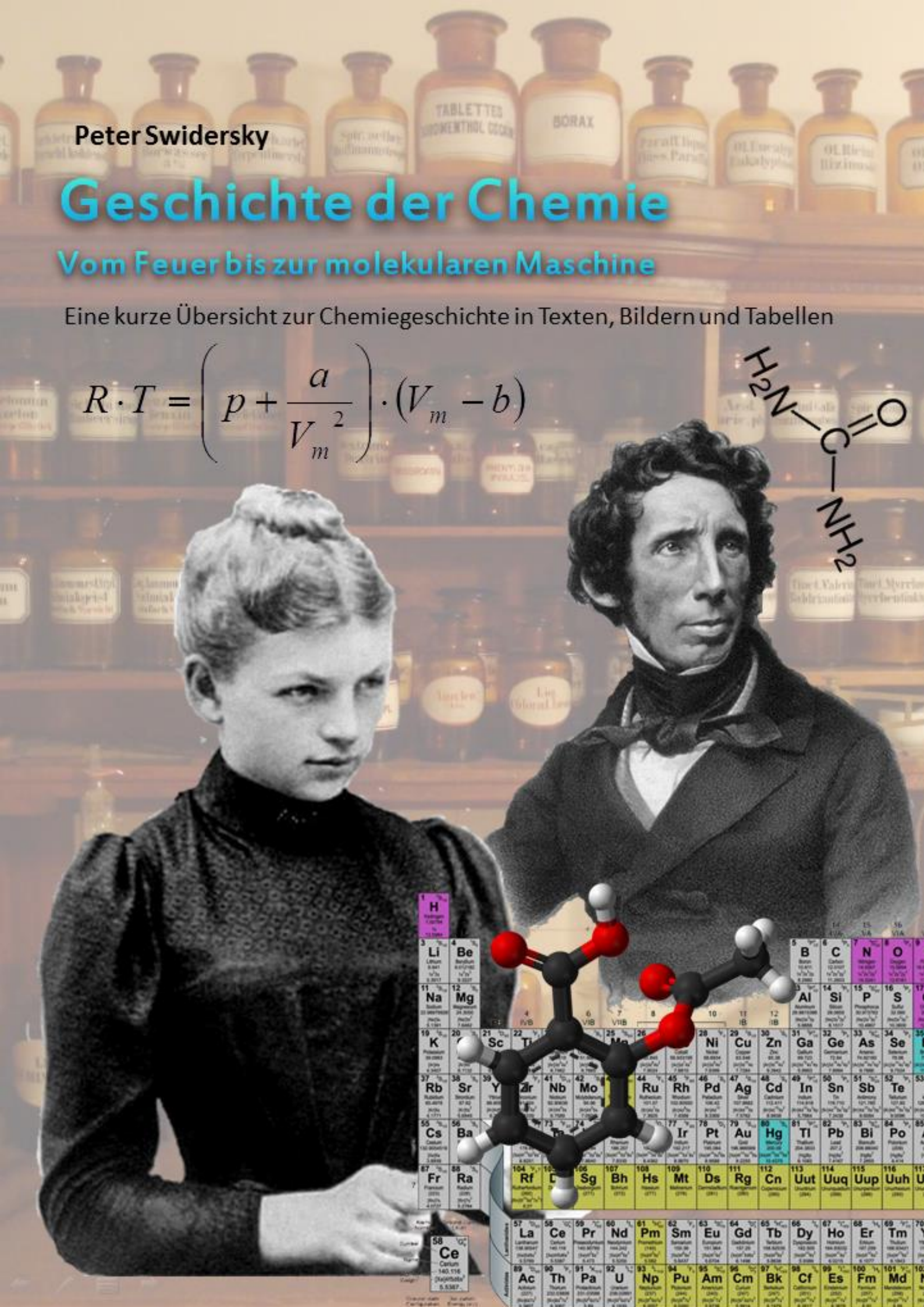
Peter Swidersky

Geschichte der Chemie

Vom Feuer bis zur molekularen Maschine

Eine kurze Übersicht zur Chemiegeschichte in Texten, Bildern und Tabellen

$$R \cdot T = \left(p + \frac{a}{V_m^{\,2}} \right) \cdot (V_m - b)$$



Inhaltsverzeichnis (Textstellen sind teilweise mit Tabellenabschnitten in den Tafeln verlinkt)

GESCHICHTE DER CHEMIE, VOM FEUER BIS ZUR MOLEKULAREN MASCHINE		SEITE 001
CHEMIEGESCHICHTE AUS VIELEN BLICKWINKELN		SEITE 002
DIE ZEITLICHEN EPOCHEN		SEITE 002
UR- UND FRÜHGESCHICHTE		SEITE 002
ANTIKE		SEITE 003
MITTELALTER (600 -1400)		SEITE 004
RENAISSANCE (1400 – 1650)		SEITE 007
VON DER ALCHEMIE ZUR MODERNEN CHEMIE (1650-1850)		SEITE 008
CHEMIE BIS ZUR MODERNE		SEITE 031
ELEMENTARE GESCHICHTEN		SEITE 039
AUF ATOMARER EBENE		SEITE 045
CHEMISCHE PRODUKTE		SEITE 050
DER SCHREI NACH SODA		SEITE 050
DAS BLUT DER CHEMIE		SEITE 053
BROT UND KRIEG AUS DER LUFT		SEITE 055
GELBGRÜNES GIFT		SEITE 058
DURCH ZUFALL STOLPERT DAS NEUE IN DIE WELT		Seite 063
FARBCHEMIE AM GARTENZAUN		SEITE 063
VON EXPLODIERENDEN SCHÜRZEN UND BILLARDKUGELN		SEITE 063
DIE DURCHSICHTIGE HAND		SEITE 064
SEGENREICHER SCHIMMEL		SEITE 066
BICYCLE DAY		SEITE 067
LITERATUR		SEITE 068
ZEITTAFELN		SEITE 070
UR- UND FRÜHGESCHICHTE / AM ANFANG WAR DAS FEUER	T01	SEITE 070
ANTIKE (800 V. CHR. – 600 N.CHR.)	T01	SEITE 070
Mittelalter (600 – 1400)	T01/T02	Seite 071
RENAISSANCE (1400-1650)	T02	SEITE 072
VON DER ALCHEMIE ZUR MODERNEN CHEMIE (1650-1850 / AUFKLÄRUNG)	T02-T05	SEITE 073
1850 - > MODERNE CHEMIE	T05-T14	SEITE 079
ÜBERSICHT 1: VON DER ANTIKE BIS ZUR NEUZEIT		SEITE 098
ÜBERSICHT 2: DER WEG IN DIE MODERNE CHEMIE		SEITE 099
ERKLÄRUNGEN ZU DEN SYMBOLEN UND FARBEN IN DEN ZEITTAFELN		SEITE 100

GESCHICHTE DER CHEMIE, VOM FEUER BIS ZUR MOLEKULAREN MASCHINE

Der kurze Überblick zur Geschichte der Chemie wurde im Hinblick auf unterschiedliche Aspekte zusammengestellt. Studierende der Chemie lernen im Laufe des Studiums etliche Namensreaktionen und Gleichungen kennen, die Namen von Wissenschaftlern tragen. Die ***Gibbs-Helmholtz-Gleichung*** ist eine Pflichtkür der Physikalischen Chemie, in der Biochemie werden die Studierenden mit der ***Michaelis-Menten-Kinetik*** konfrontiert und ohne die ***Diels-Alder-Reaktionen*** kennen gelernt zu haben, kommt niemand durch die Organischen Chemie. Die drei Themenfelder als Beispiel beinhalten bereits die Namen von 6 Wissenschaftlern. Viele Berühmtheiten, die mit ihren Namen für Reaktionen und Gleichungen stehen, sind in den Tabellen chronologisch gelistet, jedoch längst nicht alle. Es wurde jedoch Wert darauf gelegt, dass alle Bereiche der Chemie mit wichtigen Entdeckungen vertreten sind.

In die Tabellen wurden nicht nur Chemiker aufgenommen, sondern auch Mathematiker, Physiker und Entdeckungen von Personen, die den Lauf der Chemiegeschichte maßgeblich beeinflussten. Die Erfindung der Buchdruckkunst von ***Gutenberg*** revolutionierte die Wissensverbreitung auch in der Chemie, das von dem Mathematiker ***Euler*** entwickelte ***Eulerverfahren*** wird heute unter anderem für die numerische Simulation in der Reaktionstechnik eingesetzt, und die lineare Regression nach dem Verfahren von ***Gauß*** wird zum Beispiel für die Auswertung von Kalibrierungen in der Analytischen Chemie verwendet. Für die Datenaufnahme und Messgerätesteuerung werden heute Computer eingesetzt, die unter anderen auf Erfindungen von ***Zuse*** zurückgehen.

Das Kapitel der Entdeckung von Elementen und die Entwicklung des Periodensystems der Elemente ist ein Thema, das in den Überblick mit aufgenommen wurde. Wasserstoff ist das leichteste und häufigste Element im Universum. Die Reaktion mit Luftsauerstoff macht dem Namen Knallgasreaktion alle Ehre, und die Entdeckung des Wasserstoffs stellt gewissermaßen selbst auch den Urknall für die moderne Chemie dar. Natürlich taucht also Wasserstoff in den Zeittafeln auf. Es wurden aber auch exotischere Elemente ausgesucht, schon alleine, weil zum Beispiel die Geschichten zur Namengebung sehr kurios sind. Alle Elemente sind jedoch nicht vertreten.

Die modernen Atommodelle und Theorien zur chemischen Bindung entstammen im Wesentlichen aus den Entwicklungen von theoretischen Physikern. Auch dieser Aspekt ist in den Zeittafeln vertreten, denn ohne diese wertvollen Arbeiten wäre die moderne Chemie mit dem Verständnis der chemischen Bindung und die Ordnung des heutigen Periodensystems mit den Einordnungen der Elektronenkonfigurationen und Quantenzahlen nicht zustande gekommen.

Nicht alle Erfindungen sind geplant gewesen und so manche Entdeckung verdanken wir dem Zufall. Auch diesem Aspekt wurde mit einigen Beispielen Rechnung getragen.

Soda, Schwefelsäure, Ammoniak, und Chlor stellen vier wichtige Säulen der chemischen Industrie dar. Entwicklungen, die diese Stoffe betreffen, sind deshalb in den Tabellen mit den ganzen Feldern farbig hervorgehoben.

Die Entwicklungen in den Zeittafeln sind chronologisch dargestellt. Die Epochen **Ur- und Frühgeschichte**, **Antike**, **Mittelalter**, **Renaissance**, **“Geburtsstunde der Chemie“** und **Chemie bis zur Moderne** sind in den Tabellen mit einem Balken jeweils farbig gekennzeichnet.

Chemiegeschichte aus vielen Blickwinkeln

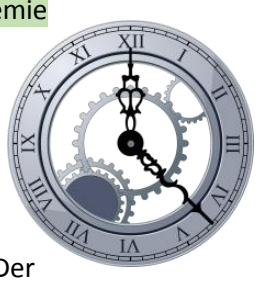
"Die Weltgeschichte sammelt auf unsere Kosten sehr große Schätze", sagte einmal ***Johann Wolfgang von Goethe.***

Die Chemie lieferte im Laufe der Zeit sehr viele "Schätze". Das Abenteuer Forschung hinterließ zu allen Zeiten faszinierende Geschichten von Pionieren und Entdeckern. Entwickelte Verfahren führten immer wieder zu neuen Stoffen, ohne die unsere heutige Welt mit den modernen Technologien nicht existieren würde. Ein Blick in die Geschichte der Chemie lohnt sich. Der Facettenreichtum ist enorm und alle wichtigen Ereignisse in einer zeitlichen Abfolge darzustellen, würde wohl viele Buchbände füllen. Die "***Zeittafeln zur Chemiegeschichte"*** sollen aber nur einen zusammenfassenden Überblick schaffen, wobei lediglich die wichtigsten Fundamente, tragenden Säulen und Stützen bis zum Dach des geschichtlichen Chemiegebäudes zusammenfassend dargestellt werden.

Eine Liste aller Chemienobelpreisträger würde die Zeittafeln bereits füllen. Die wenigsten Erfindungen, Entdeckungen und Entwicklungen wurden aber mit einem Nobelpreis belohnt. Seit dem ersten Nobelpreis für Chemie, der an ***van't Hoff*** im Jahr 1901 ging, wurden bis Anfang 2017 insgesamt 108 Chemienobelpreise an 174 Personen vergeben, davon nur **vier Chemienobelpreise an Frauen**. In Anbetracht der Möglichkeiten, die Frauen in den Naturwissenschaften zugestanden bekamen, sind deren Leistungen besonders bemerkenswert.

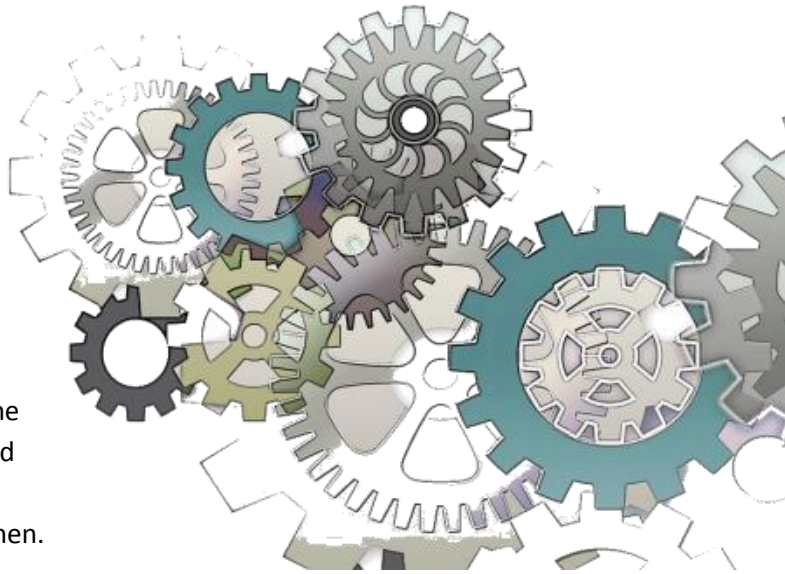
Die zeitlichen Epochen

Viele Grundsteine der Chemie wurden aber gelegt, bevor überhaupt Nobelpreise verliehen wurden. Bereits in den **zeitlichen Epochen** der **Ur- und Frühgeschichte**, der **Antike**, des **Mittelalters**, der **Renaissance** und der **Aufklärung** wurden die Grundsteine zur modernen Chemie gelegt, wobei gerade die Zeit zwischen **1650 und 1850** die aufregende Epoche der Umgestaltung **von der Alchemie zur modernen Chemie** darstellt, vor allem in Frankreich, England und Deutschland. Viele der für diesen Zeitraum geschriebenen Geschichten entstammen dem Buch **Sternstunden der frühen Chemie [2]**. Die Epochen der Chemiegeschichte sind den bekannten geschichtlichen Epochen ähnlich, aber etwas erweitert oder verschoben. Der Ablauf zwischen den Epochen ist natürlich fließend und die Einteilung mag umstritten sein, da die Entwicklungsstufen in den verschiedenen Ländern und Erdteilen niemals identisch waren. Daher folgen Überschneidungen der Epochen.



Ur- und Frühgeschichte

Am Anfang war das Feuer



Mit dem Gebrauch von Feuer setzten die ersten Menschen eine Reihe von komplexen chemischen Reaktionen in Gang, die bis heute überall auf der Welt durchgeführt werden. Der Grund hierfür ist einfach, denn gebraten schmeckt Fleisch einfach besser und "Pommes" stehen höher im Kurs als rohe Kartoffeln. Hinzu kommt, dass nach dem Braten und Kochen durch die Stoffumwandlungen bestimmte Nahrungsmittel besser aufgenommen werden können.

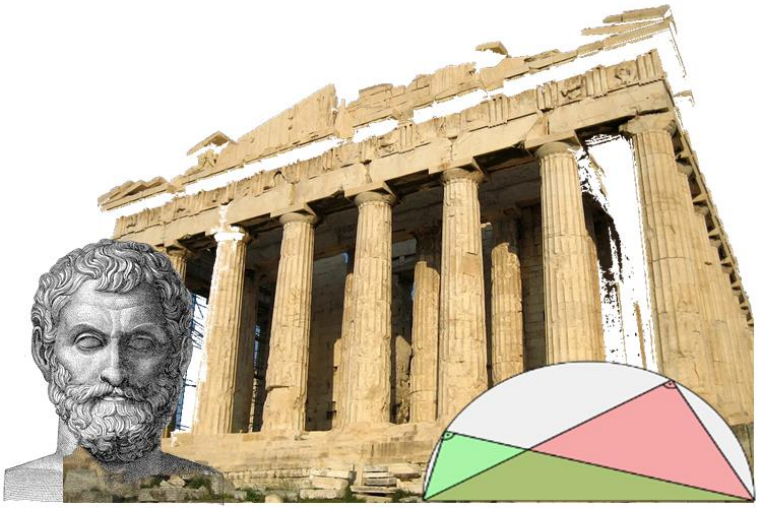
Es dauerte aber sehr lange bis ein Verständnis von chemischen Abläufen zustande kam.Wer hätte gedacht, dass über eine Million Jahre später die Reaktionen nach dem französischen Chemiker Louis ***Camille Maillard*** ***(1878-1936)*** benannt wurden, der ab 1912 eine Studie zur Reaktion von Aminosäuren und Zuckern durchführte?

Ende der **Jungsteinzeit** (ca. 20.000 Jahre v. Chr.) wurden bereits Öllampen betrieben und die Metalle Kupfer, Silber und Gold waren bekannt. Die Entdecker dieser Elemente sind natürlich nicht mehr überliefert. Auch Eisen war bekannt, jedoch nur von Meteoriten. Während der **Bronzezeit** (ca. 1.900 v. Chr. - 650 v.Chr.) konnten die Menschen neben Bronze (einer Legierung aus Kupfer und Zinn) bereits Glas herstellen. In der **Eisenzeit** (ca. 1000 v. Chr. – 330 v. Chr.) war es möglich elementares Eisen aus Erzen herzustellen. Bei diesen Prozessen handelt es sich um chemische Prozesse, die zum Einsatz kamen, ohne dass Chemie als Wissenschaft existierte.

Der eigentliche spannende Teil der Chemiegeschichte ist im Vergleich zur Existenz der Menschheit ausgesprochen kurz, und die Chemie als Wissenschaft ist erst in den letzten 400 Jahren entstanden, verglichen mit 24 Stunden eines Tages entwickelte sich die Chemie als Wissenschaft seit Nutzung des Feuers erst in den letzten 30 Sekunden.

Antike (800 v. Chr. - 600 n.Chr.)

Im sechsten Jahrhundert vor Christus wurde die wissenschaftliche Welt besonders durch griechische Philosophen, Astronomen und Mathematiker, wie ***Thales*** oder ***Pythagoras,*** geprägt. Der Philosoph Anaximander (610 v. Chr. – 547 v. Chr.) suchte nach dem Urgrund der Dinge und hatte die These, dass dieser in der Luft liegt, für Thales war es das Wasser. In Zahlen und mathematischen Verhältnissen wurde von vielen der Schlüssel zur Weltbeschreibung gesehen. Tatsächlich kann man die Mathematik als eine Sprache der Naturwissenschaften ansehen, und die heutige moderne Chemie wäre ohne Mathematik nicht denkbar, hier seien nur die Berechnungen von Phasengleichgewichten in der Physikalischen Chemie oder Simulationsrechnen zum Konzentrationsverlauf oder Temperaturverlauf in einem Reaktor in der chemischen Reaktionstechnik erwähnt. Etwa 400 vor Christus vertrat der Philosoph ***Demokrit*** bereits eine atomistische Theorie, nach der Wasser, Feuer oder Luft aus kleinsten Teilchen aufgebaut sind, die in ihrer Form unterschiedlich sind. Etwa 350 vor Christus gab ***Aristoteles*** den vier Elementen Feuer, Luft, Erde und Wasser die Eigenschaften warm/kalt, trocken/feucht und fügte ein fünftes Element, den Äther hinzu. Die Lehre des Aristoteles zu den Elementen sollte später noch eine große Rolle in den Betrachtungen der Alchemie spielen. Die Philosophien des antiken Griechenlands stellen eine Urplattform für die modernen Naturwissenschaften dar.



Thales von Milet
(624 v.Chr.-547 v. Chr.)

Der Satz des Thales:

"Jeder Winkel über dem Durchmesser eines Halbkreises ist ein rechter Winkel"

Mittelalter (600 – 1400)

Im Mittelalter wurde Alchemie betrieben. Die Alchemie ist ein alter Zweig der Naturphilosophie, geprägt von den Versuchen Transmutationen von Stoffen durch zuführen, insbesondere um Gold herstellen zu können. Die Herkunft des Namens ist vielschichtig. Chya bedeutet im griechischen schmelzen und al-kimiya im arabischen Lehre des Metallgießens. In Ägypten bedeutete aber Chemaia die fruchtbare schwarze Erde des Nildeltas (Kemet) [4]. Vor allem wollte man den Stein der Weisen finden, mit dem man nicht nur die Transmutationen von Stoffen zu Gold durchführen wollte, sondern auch an Heilkräfte und Verjüngungsmöglichkeiten glaubte. Besonders ausgeprägt hat sich die Alchemie im Mittelalter und der Renaissance, sie gilt als Vorläufer zur Chemie und wurde vom 17. Jahrhundert bis in das 18 Jahrhundert von der Chemie abgetrennt und im 19. und 20. Jahrhundert fast völlig verdrängt. Die ältesten bekannten Aufzeichnungen zur Alchemie stammen aber bereits aus der Antike. ***Maria die Jüdin*** lebte zwischen dem ersten und dritten Jahrhundert nach Christus in Alexandria und gilt als Begründerin der Alchemie.

Die Alchemie entstand weitgehend aus der Metallverarbeitung. Das Wissen hierzu hatten schon in der Bronzezeit nur wenige privilegierte Menschen. Die Alchemie wuchs aus einer metallurgischen Liturgie, die sich seit der Eisenzeit meist in Geheimbünden von Schmieden bildete. Wenn man sich das komplexe Phasendiagramm von Eisen/Kohlenstoff ansieht, kann man leicht erahnen, dass die Herstellung von hochwertigem Stahl sehr umfangreiche Kenntnisse erfordert. Neben der Zusammensetzung spielen hier auch Temperaturen, Verarbeitungszeiten und Geschwindigkeiten von Temperaturänderungen eine große Rolle. Ein Schwert sollte hart, scharf und flexibel sein und es durfte nicht brechen.

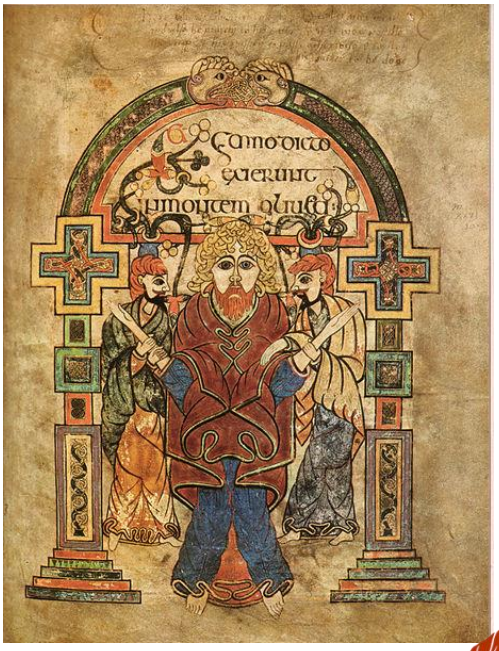
Besonders berühmte und gute Schwerter hatten Namen und wurden in der Mythologie von Wesen mit Zauberkräften oder geheimnisvollen Zwergen geschmiedet. So wurde das Schwert von König Arthus ***Excalibur*** genannt, Dietrich von Bern erwarb das Schwert ***Eckesachs***, welches von Alberich dem Zwerg geschmiedet wurde und im Nibelungenlied hieß das Schwert von Siegfried ***Balmung***.

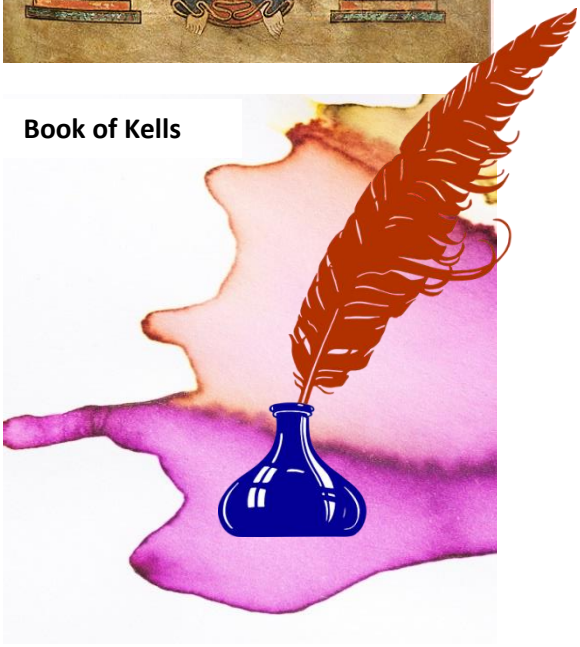
Die Alchemie verbreitete sich auch in Indien, China und Arabien. 900 nach Christus wurden verschiedene Formen des Schwarzpulvers (chinesisches Feuer) in China entwickelt. Die Araber brachten den Salpeter aus China nach Europa und nannten diesen ***"Schnee aus China"***. Von der iberischen Halbinsel verbreitete sich die Alchemie schließlich im Mittelalter in Europa.

Viele Mönche waren Alchemisten. In den Klöstern sammelte sich das Wissen und wurde dort auch niedergeschrieben.

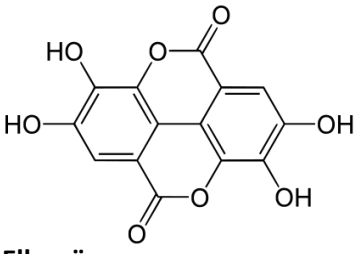
In dem Buch **Faszination Chemie, 7000 Jahre Kulturgeschichte und Prozesse [1]** ist in verschiedenen Kapiteln die Bedeutung der Alchemie in Klöstern oder auf Jahrmärkten im Mittelalter dargestellt, wobei auch auf verschiedene Betrüger eingegangen wird.

Das ***Book of Kells*** wurde etwa 800 nach Christus in Schottland gefertigt und gelangte von dort aus nach Irland. Es befindet sich heute im Trinity College in Dublin. Das Book of Kells enthält die vier Evangelien zusammen mit ganzseitigen Abbildungen von Christus, Maria mit Kind und den Evangelisten. Das Schriftbild ist aufwändig gestaltet und verziert. Insbesondere die Initialen wurden teilweise mit sehr feinen Mustern in leuchtenden Farben ausgeführt. An Stelle von Gold wurde Orpiment (Auripigment As_2S_3) verwendet. Zur Herstellung der blauen Farbe wurde der Schmuckstein Lapislazuli eingesetzt, der in dieser Zeit nur in Afghanistan gefunden wurde. Das Buch zeugt davon, dass man zu dieser Zeit bereits ausgeprägt Kenntnisse zur Herstellung von Farben und Tinten besaß. ***Gallustinten*** gewann man aus getrockneten, zerstampften Galläpfeln, die man kochte und dann Eisensalze zusetzte. Die Polyphenole und die Gallussäure bilden dabei mit dem Eisen(III)-Ionen dunkelblaue Komplexe. Das pflanzliche Verdickungsmittel Gummi arabicum wurde zugesetzt um ein Ausflocken zu verhindern und um die Tinten besser auftragen zu können.

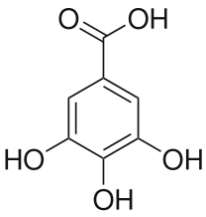




Book of Kells



Ellagsäure



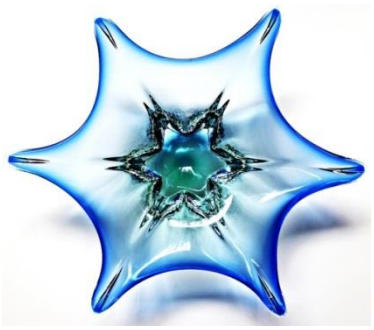
Gallussäure

Basilisk: ein Fabelwesen dessen Blick versteinert und das einen tödlich giftigen Atem hat.

In dem Buch "***Schedula diversarum artium"*** *des Benediktinermönchs* **Theophilus Presbyter** (etwa im Jahr 1150 angefertigt) finden sich viele Kunst- und Handwerktechniken sowie alchimistische Rezepturen. Neben ausführlichen Beschreibungen zu Maltechniken, der Herstellung von Farben und Tinten für die Wand- und Buchmalerei, der Herstellung von farbigem Glas, Goldschmiedekunst, Anleitungen zum Bau von Glocken und Orgeln, findet man auch ein alchemistisches Märchen über die Herstellung von spanischem Gold aus Basiliskenasche, Essig, Galmei und Menschenblut. Auch die Anleitung zur Herstellung der Basiliskenasche fehlt nicht, nach der man zwei Hähne finden muss, die sich gegenseitig begatten müssen und dann ein Ei legen sollen, welches von einer Kröte ausgebrütet werden muss. Die Asche erhält man nun, indem man den geschlüpften Basilisken sofort verbrennt [1].

Es ist zunächst erstaunlich, dass sich in der Ansammlung an Rezepturen und Herstellungsverfahren des Theophilus ein solches Märchen befindet. Warum sollte man aber wichtige Rezepturen in einfacher Weise weitergeben, so dass Jedermann “Spanisches Gold“ produzieren konnte? Theophilus hatte sicher keine Basilisken verbrannt.
Man kann vermuten, dass es sich bei dem “spanischen Gold“ um eine Messingschicht auf Kupfermünzen gehandelt hat und es sich bei der Basiliskenasche um Galmei (Zinkcarbonat) handelte, der in der Hitze zu Zinkoxid reagiert, welches mit der Essigsäure Zinkacetat bildet. Aus Menschblut entsteht bei hohen Temperaturen Kohlenstoff, aus Zinkcarbonat Zinkoxid und durch Reduktion mit Kohlenstoff Zink. In der heißen Lösung bildet sich bei einer hohen Zinkionenkonzentration auf Kupfer zunächst ϒ-Messing mit einem Zink-Gehalt von größer 45%. Nimmt man die Münze aus der Lösung und erhitzt in der offenen Flamme diffundieren die Zinkatome in das Kupfergitter, der Zinkgehalt sinkt und es bildet sich das goldene α-Messing mit einem Zinkgehalt von kleiner 35%.

So streng wie heute Industriegeheimnisse gehütet werden, so wurden auch im Mittelalter Rezepturen und Herstellungsprozesse unerbittlich geheim gehalten. Im Jahr 1295 wurden alle Glasöfen aus Venedig auf die Insel Murano gebracht, einerseits aus Brandschutzgründen, andererseits um das Geheimnis der Glasherstellung zu sichern. Den Glasbläsern war unter Androhung der Todesstrafe verboten Rezepturen und Herstellungsprozesse bekannt zu geben.
Die Porzellanherstellung war seit dem siebten Jahrhundert in China bekannt. Die Herstellung des in Europa so sehr begehrten Porzellans wurde von den Chinesen streng geheim gehalten. Erst 1709 fand ***Johann Friedrich Böttger*** ein Verfahren zur Herstellung von europäischem Porzellan und 1710 entstand die erste Porzellanmanufaktur in Meißen.



Murano- Glaskunst

Murano

In der abendländischen Alchemie spielte die Lehre der Elemente in Anlehnung an die Vorstellungen zu den Elementen nach Aristoteles eine zentrale Rolle. Hierbei galten die Elemente Feuer, Erde, Wasser und Luft als Grundelemente, die in allen Stoffen enthalten sind, und über die bestimmte Transmutationen stattfinden, wobei auch die Konstellation der Gestirne eine Rolle spielte. Bestimmten Stoffen wurden Planeten zugeordnet wie zum Beispiel dem Quecksilber der Merkur. Das bewegliche, bei Raumtemperatur flüssige Metall wurde dem beweglichen sehr mobilen Gott Merkur zugeordnet und Quecksilber wird in der englischen Sprache eben auch Mercury genannt. Nach der Schwefel-Quecksilber-Theorie liefen alle Transmutationen über Schwefel und Quecksilber, wobei der Schwefel für das Feuer (brennbar) und das Quecksilber für das Wasser (bewegliches, flüssiges Metall) stand. Als Wegbereiter für den christlichen Aristotelismus gilt der Mönch und Alchemist ***Albertus Magnus***, der von 1200 bis 1280 lebte.

Bereits im Mittelalter wurde die Alchemie verboten. 1380 verhängte Karl der V. von Frankreich ein Verbot der Alchemie. Papst Johannes der XXII (1245-1334) erließ eine Bulle gegen die Alchemie (obwohl er selbst Alchemist war und seinem Leibarzt größere Summen zur Anschaffung alchemistischer Geräte übergab). Der Grund ist wahrscheinlich auch im Wunsch nach einem Monopol zur Goldherstellung zu suchen. In der Renaissance setzten sich diese Verbote fort. So wurden Verbote der Alchemie 1404 von Heinrich dem IV. von England, 1488 vom Rat der Stadt Venedig und 1493 vom Rat der Stadt Nürnberg ausgesprochen.

Renaissance (1400-1650)

Die Renaissance beschreibt im Wesentlichen die europäische Kulturepoche des 15. und 16. Jahrhunderts und ist geprägt durch Künstler und Gelehrte, welche die kulturellen Leistungen der griechischen und römischen Antike wieder neu zu beleben suchten. Der Ursprung findet sich in den Städten Norditaliens vor allem in Florenz und Venedig und prägte später Malerei, Architektur, Literatur, Philosophie und Wissenschaft auch in den nördlich gelegenen europäischen Ländern. Das Universalgenie ***Leonardo da Vinci*** ***(1452-1519)*** steht als Ikone für die Renaissance. Der geniale italienische Maler beschäftigte sich mit Philosophie, Anatomie, Architektur und Naturwissenschaften. Leonardos Erfindungen sind Vorreiter der modernen Naturwissenschaften insbesondere in den Bereichen der Medizin und Physik. Fast zur gleichen Zeit entwickelte ***Johannes Gensfleisch (Gutenberg, 1400-1468)*** in Deutschland die Buchdruckkunst. Es ist nicht ganz gesichert, dass Gutenberg sich mit Alchemie beschäftigte. Kern seiner Erfindung war ein Handinstrument zum Gießen beweglicher Lettern [1].

Leider verraten die Quellen nicht die Zusammensetzung des Materials. Bald nach seiner Erfindung wurde eine bei etwa 300°C schmelzende Legierung aus Blei, Antimon, Wismut und Zinn eingesetzt. Antimon härtet und verhindert dabei das Schwinden der Lettern in der Form. Reines Blei passgenau zu gießen ist nicht möglich [1].

Jedenfalls revolutionierte die Buchdruckkunst die Verbreitung von Wissen gewaltig, und damit öffnete sich auch eine neue Dimension für die Entwicklung der Naturwissenschaften im Allgemeinen und natürlich auch für die Entwicklung der Chemie.

Während der Renaissance entstand auch ein Nährboden für Betrüger und Hochstapler. Zu groß war die Versuchung mit dem Versprechen Gold herstellen zu können, schnell reich zu werden.

Der Trick war immer ähnlich. Zunächst wurde ein Kunststück vorgeführt, um zu überzeugen, dass man Gold machen kann.

Anschließend verlangte man Geld für Materialien und Geräte, um mehr Gold herstellen zu können. Immer wieder wurden nur kleine Mengen Gold erzeugt, mit dem Versprechen bald mehr davon herstellen zu können, wenn nur noch weiter in entsprechende Experimente für die “Forschung in das Upscaling“ investiert würde. Nachdem die gutgläubigen Geldgeber genügend ausgepresst wurden, verließen die Hochstapler eilig die Stadt, bevor der Boden zu heiß wurde. Sie versuchten Ihr Glück dann in einer anderen Region.

Marco Bragadino ***(1545-1591)*** war der Inbegriff eines Hochstaplers auf dem Gebiet der Alchemie.

1574-1579 weilte er in Florenz und versprach die toskanische Großherzogin Bianca Capello mit Hilfe des Steins der Weisen von ihrer Unfruchtbarkeit zu heilen. Er erleichterte die Großherzogin um mindestens 40.000 Scudi [1].

1589 musste er dann auf der Flucht vor Gläubigern in Rom als Mönch in einem Kapuziner-Kloster untertauchen. 1588 flüchtete er weiter aus dem Kloster und verbrachte Aufenthalte in Genf, England und Frankreich. 1589 betrat Marco Bragadino als gefeierter Alchemist die Stadt Venedig. Da die Goldproduktion auf sich warten ließ, verließ er 1590 fluchtartig die Stadt und reiste weiter nach Padua, wo ihn der Ruf des Herzogs Wilhelm V. von Bayern erreichte [1].

Auf der Burg Trausnitz bei Landshut versprach Bragadino die Kopfschmerzen des Herzogs zu heilen und große Goldmengen herzustellen, um die Schulden des Herzogs zu begleichen. Als die versprochenen Goldmengen ausblieben, wurden die Kritiker immer lauter, und 1591 wurde Bragadino mit seiner Gefolgschaft von den Landständen festgesetzt. Unter Androhung der Folter gestand er den Betrug und wurde zum Tod am Galgen verurteilt [1].

Das Urteil zum unehrenhaften Tod durch den Strang wurde nach Führsprache von Jesuiten in ein Urteil zum Tod durch das Schwert umgewandelt. Die Enthauptung vor einer großen Menschenmenge auf dem Münchner Wochenmarkt gelang dem Scharfrichter aber erst nach dem dritten Schlag. Die Spießgesellen von Bragadino wurden an einem mit Flittergold ausgekleideten Galgen gehängt und die verdächtig schwarzen Hunde wurden erschossen [1].

Florenz

Nach der damaligen Rechtstradition sollte die Strafe die zu sühnende Tat spiegeln. So ließ Herzog Friedrich von Württemberg 1597 seinen Alchemisten ***Georg Honauer (1572-1597***) in einem Gewandt aus Goldschaum an einem Gerüst aus 25 Zentner Eisen hängen. Honauer versprach 25 Zentner Eisen in Gold umzuwandeln [1].

Von der Alchemie zur modernen Chemie (1650-1850), “Geburtsstunde der Chemie“

Der Zeitraum für alchemistische Hochstapelei war lang und der Spielraum für alchemistische Betrüger groß. Fast 90 Jahre später erging es 1686 dem Alchemisten ***Christian Freiherr von Krohnemann*** ***(1636-1686)*** nicht besser als Honauer.

Krohnemann versprach Quecksilber in Gold zu fixieren und hielt über zehn Jahre den markgräflichen Hof in Bayreuth und prominente Bürger hin. Krohnemann wurde 1686 in Kulmbach hingerichtet.

Die Inschrift auf dem Galgen lautete mit Anspielung auf Quecksilber (Mercury):

“ Ich war zwar wie Mercur fix gemacht, bedacht. Doch hat sich‘s umgekehrt und ich bin fix gemacht“ (wörtlich zitiert aus [1]).

Domenico Manuel Caetano (1670-1709), ein selbst ernannter ***Graf von Ruggiero*** betrog 1705 den König von Preußen und die Berliner Bevölkerung. Er sonnte sich im Ruhm der Nachfolger des 1701 von Berlin nach Sachsen geflüchteten Böttgers zu sein. Ruggiero gelang es im Beisein des hoch verschuldeten Königs von Preußen und des Kronprinzen, die Umwandlung von Kupfer in Gold vorzutäuschen. Er arbeitete häufig mit Gold gefüllten Rührlöffeln, die mit Wachs versiegelt waren. Der König blieb misstrauisch und bestand immer eindringlicher auf der Forderung der Goldherstellung in größeren Mengen. Ruggiero wollte nach Spanien flüchten, wurde aber in Frankfurt am Main von Friedrichs Gefolgsleuten gefangen genommen.

Ruggiero, wurde 1709 öffentlich in Küstrin an einem mit Flittergold beklebten Galgen mit einem Kleid aus “guldnen Zindel“ aufgehängt. Der König ließ bald danach (wohl zur Warnung an Nacheiferer) Flugblätter in allen Ländern des Reiches verteilen, auf denen zu lesen war:

“Arbeit, Armut und Gestank, Rauch und Kälte und zuletzt der Strick, zahlet in der Alchemie der Betrüger List und Tück“ (wörtlich zitiert aus [1])***.***

Friedrich Böttger (1682-1719) wäre es vielleicht ebenso ergangen, denn die Goldherstellung ließ auf sich warten. In der Gefangenschaft bei August dem Starken, dem Kurfürst von Sachsen, gelang es ihm aber mit ***Ehrenfried Walther von Tschirnhaus (1651-1708)*** in der Jungfernbastei der Festung Dresden, das erste europäische Hartporzellan zu erzeugen. 1709 vermeldete Böttger die Erfindung des europäischen Porzellans.

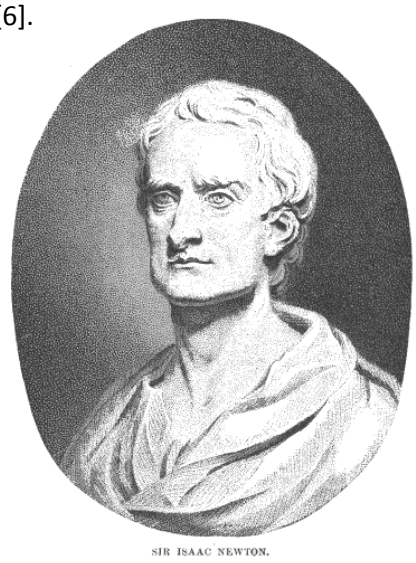
Böttger wurde nur 37 Jahre alt. 15 Jahre verbrachte er mehr oder weniger in Gefangenschaft mit einem großen Konsum an Branntwein. Erst die letzten fünf Jahre seines Lebens konnte er wieder in Freiheit verbringen. Böttger aber wurde berühmt und ging als Erfinder des europäischen Porzellans in die Geschichte ein.

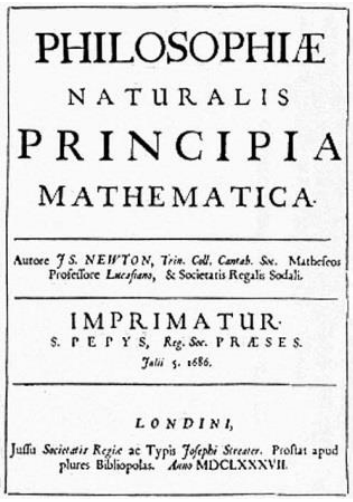
Auch der wegen zahlreichen Liebschaften weltberühmte ***Giacomo Casanova (1725-1798)*** beschäftigte sich mit Alchemie, zumindest gab er das vor und konnte auch auf diesem Gebiet überall mitreden.

Das unermüdliche Suchen nach dem Stein der Weisen in dieser Zeit brachte nicht nur Betrüger hervor, sondern schuf auch mit dem ernsthaften Forschen an Transmutationen ein Fundament für das Experimentieren mit Stoffen, von fantastisch mystischen Ausführungsformen bis hin zu einem eher realistisch pragmatisch geprägten Bild der Stoffumwandlungen. Die Zeit zum Sprung in die Chemie als Wissenschaft stand nach dem Ende der Spätrenaissance kurz bevor.

Auch nach dem Ende der Spätrenaissance waren die Wissensgebiete Physik und Chemie noch nicht getrennt. Es begann aber die spannende Zeit der Entwicklung der Chemie als Wissenschaft.

Der berühmte Physiker ***Isaac Newton*** ***(1643-1727)***, der in dem Buch ***"Philosophiae naturalis principia mathematica"*** die Gravitationsgesetzte veröffentlichte und mit mathematischen Beschreibungen die exakte Naturwissenschaft im Bereich der Mechanik schuf, beschäftigte sich auch mit Alchemie [6] und suchte nach entsprechenden Gesetzmäßigkeiten bei Stoffumwandlungen. Der geniale Mathematiker und Physiker legte den Grundstein für die klassische Mechanik, die chemischen Gesetzmäßigkeiten blieben Newton aber gerade noch verschlossen [6].


SIR ISAAC NEWTON.


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA

Autore J S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Justu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Sir Isaac Newton (1643-1727)

In den darauffolgenden Jahren kam Licht in die Dunkelheit der Stoffumwandlungen und eine Reihe von Pionieren und Entdeckern, vor allem in Frankreich, England, Deutschland, Dänemark und Schweden, entwickelten die Wissenschaft Chemie.

Die erste chemische Produktionsstätte, wurde 1655 von ***Johann Rudolph Glauber*** ***(1604-1670)*** in Amsterdam errichtet. Bis dahin war es für Glauber ein weiter Weg. 1625 erkrankte er an der ungarischen Krankheit (Fleckfieber). Nachdem er von einer Quelle in der Nähe von Wiener Neustadt getrunken hatte, wurde er wieder gesund. Glauber nahm das Quellwasser, destillierte das Wasser ab und untersuchte den Rückstand, der im Wesentlichen aus Natriumsulfat bestand. Es gelang ihm, Natriumsulfat aus Kochsalz und Schwefelsäure künstlich herzustellen. Das Salz wurde Glaubers Verkaufsschlager auf Märkten, und er pries das **Salis *mirabilis Glauberi*** (**Glaubersches Wundersalz**) gegen Darmträgheit an. Nach Wanderjahren wurde er in Gießen als Hofapotheker sesshaft, verließ aber die Stadt wieder, als die Wirren des Dreißigjährigen Krieges nach Hessen zurückkamen. Er begab sich nach Holland und ließ sich in Amsterdam nieder [2]. Amsterdam war zu dieser Zeit neben Venedig ein Zentrum des Chemikalienhandels. In Amsterdam standen die ersten Zuckerfabriken, aus exotischem Holz wurde Campher extrahiert und es gab Stätten zur Seifenfabrikation [2].

Im Labor von Glauber wurde destilliert, er führte das erste mechanische Rührwerk in der Labortechnik ein und stellte, da er das Glasbläserhandwerk beherrschte, viele neue Glasgeräte (Glastrichter, Tiegel, Flaschen mit Glasstöpsel) selbst her [2].

Glauber ließ auch ein Versuchsfeld anlegen, um die Wirkung des von ihm künstlich hergestellten Salpeters auf das Pflanzenwachstum zu erforschen. Nach Ende des 30 jährigen Krieges lag Europa wirtschaftlich am Boden und auch das Labor von Glauber konnte sich nicht mehr halten. Er zog nach Wertheim am Main, dann nach Kitzingen und schließlich ließ er sich mit der 15-köpfigen Familie wieder in Amsterdam nieder um dort 1755 einen großzügigen Laboratoriumskomplex zu errichten. Der Komplex (mit mehreren Abteilungen, die speziell auf bestimmte Produktions-verfahren ausgerichtet waren) bildete im Prinzip die erste Chemiefabrik in Europa. Es gab eine Abteilung für Beizen und Farbstoffe zum Tuchfärben und eine Abteilung für die Verarbeitung von Gerste zu Malzextrakt (ein Stärkungsmittel für werdende und stillende Mütter). Eine weitere Abteilung diente der Herstellung von buntem Glas für Kirchenfenster und in einem anderen Labor wurde Traubenzucker aus eingedicktem Trauben und Rosinenmost gewonnen. Durch das unstete Leben, das Einatmen von giftigen Dämpfen (Chlorwasserstoff Arsenik (Arsen(III)-oxid), Quecksilber) wurde Glauber ab 1660 krank, ab 1666 war er teilweise gelähmt. Im Jahr 1670 starb Glauber, der Gründer der ersten Chemiefabrik und Vordenker der Chemie. In seinem Nachlass findet sich auf einem Papier ein Satz, vielleicht sein Leitmotiv:

Tu nicht alles was du kannst, sag nicht alles was du weißt, glaub nicht alles was du hörst. [2]

Wenn auch viele seiner Entdeckungen und Erfindungen nicht mehr mit Glauber in Zusammenhang gebracht werden, so wird aber Natriumsalz heute noch als ***Glaubersalz*** bezeichnet.

Erst 55 Jahre nach Gründung von Glaubers erster Chemiefabrik entstand nach den Forschungsarbeiten des Alchemisten Böttger und des Mineralogen und Technikers Tschirnhaus in Meissen, die erste Porzellanmanufaktur.

Glauber und Böttger mussten ein sehr ausgeprägtes Gefühl im Umgang mit Stoffen und Stoffumwandlungen gehabt haben. Nun wusste man, wie man bestimmte Stoffe synthetisch gewinnen konnte, und man hatte eine gute Vorstellung von reinen Substanzen und Substanzgemischen, von der Stofftrennung und auch von den Nachweisen beziehungsweise dem Erkennen bestimmter Stoffe. Die Geheimnisse des eigentlichen Prinzips der Reaktionen und deren Gesetzmäßigkeiten, wurden bis zu dieser Zeit aber immer noch nicht gelüftet.

Die ersten großen Offenbarungen kamen durch die Arbeiten von zwei Aristokraten. Es waren zwei adelige, vermögende Hobby-Naturforscher, die Licht in die Dunkelheit bringen sollten und die Chemie als Wissenschaft zum ersten Mal richtig zum Leuchten brachten. Es handelte sich um den englischen Naturforscher ***Henry Cavendish*** *(1731-1810*) und um den französischen Privatgelehrten ***Antoine Laurent de Lavoisier*** *(1743-1794)*.

Henry Cavendish entdeckte die brennbare Luft (Wasserstoff) und fand heraus, dass der Wasserstoff mit Luft zu Wasser reagiert. Cavendish wurde auch klar, dass Luft kein Element sein konnte. Er stellte fest, dass Wasserstoff leichter als Luft ist. Er produzierte Kohlendioxid und stellte fest, dass dieses Gas das Verbrennen einer Kerze hindert und das Kohlendioxid schwerer als Luft ist. Cavendish war ein leidenschaftlicher Forscher und notierte alle seine Entdeckungen akribisch. Seine Arbeiten befassten sich nicht nur mit chemischen Reaktionen [2].

Er entwickelte eine Messmethode mit einer Torsionswaage und berechnet aus den Ergebnissen die Dichte der Erde. Allerdings wurden nur die wenigsten Werke von Cavendish schon zur damaligen Zeit veröffentlicht.

Aufzeichnungen und wertvolle Ergebnisse zu den Untersuchungen auf dem Gebiet der Elektrizität oder den Messungen zu spezifischen Wärmen, Schmelz- und Verdampfungsenthalpien wurden erst viel später von ***James Clerk Maxwell*** *(1831-1879)* in Cavendishs Aufzeichnungen gefunden.

Besonders bemerkenswert ist, dass zur damaligen Zeit spezifische Wärmen als physikalische Größe gar nicht bekannt waren und Cavendish so manche Messinstrumente nicht zur Verfügung standen. Da es keine Amperemeter gab, schätze Henry Cavendish die Stromstärke daran ab, wie weit der elektrische Schlag von den Fingerspitzen bis in den Arm ging [2].

Cavendish war ein menschenscheuer und spleeniger Mensch. Vielleicht führte seine erfolglose Reise um eine Braut zu suchen dazu, dass er dann jeglichen Kontakt mit Frauen vermied. Die Bediensteten, insbesondere Frauen, wollte er nicht zu Gesicht bekommen. Seine Anweisungen kamen immer nur schriftlich. Er trug fast immer den gleichen violetten Anzug, gönnte sich keine Auszeit, keinen Spaziergang und zog sich meist in sein Labor zurück. Nur ganz selten lud er seine Kollegen aus der Royal Society in sein Haus ein. Das Sprechen bereitete ihm Unbehagen, was wahrscheinlich an seiner Fistelstimme lag. Henry Cavendishs Großväter gehörten als Herzog von Kent und Herzog von Devonshire der englischen Hocharistokratie an, sein Vater Lord Charles Cavendish galt als einer der reichsten Männer von England. An Geld mangelte es Henry Cavendish nicht, aber er hatte überhaupt kein Interesse daran [2]. Offenbar hatte er nicht einmal Interesse daran, durch seine Entdeckungen über Publikationen berühmt zu werden.

Seinem einzigen Erben hinterließ er eine Million Pfund Sterling, machte ihn zum größten Aktienbesitzer an der Bank von England und hinterließ seinen größten Schatz, unzählige Berechnungen, genau dargestellte Laborberichte und unveröffentlichte Berichte. Dieser Schatz sollte aber noch 60 Jahre lang ruhen, bis sein Großneffe, der 7. Herzog von Devonshire 6.000 Pfund Sterling zum Bau eines Physikalischen Laboratoriums an der Cambridge University stiftete. Der erste Direktor dieses weltberühmten Institutes mit dem Namen ***Cavendish Physical Laboratory*** war ***James Clerk Maxwell***, der mit seinen Arbeiten und dem später wirkenden ***Ludwig Boltzmann*** *(1844-1906)* die ***Maxwell-Boltzmann-Energieverteilung*** von Gasmolekülen begründete [2].

Maxwell fand zu seiner Überraschung in einem Berg verstaubter Papiere hervorragende, bis dahin völlig unbekannte Arbeiten. Viele Arbeiten hatten fast 100 Jahre unbeachtet in Cavendishs Regalen gelegen und von fast allen bis dahin bekannten Stoffen hatte Cavendish die spezifische Wärme bestimmt, zu einer Zeit, als dieser Begriff in Fachkreisen noch gar nicht bekannt war [2].

Cavendish setzte mit seinen Untersuchungen, vor allem mit der Entdeckung des Wasserstoffs, ein Getriebe für die Entwicklung der Chemie als Wissenschaft in Gang. Den eigentlichen Motor, mit dem entsprechenden Schmieröl, bildete aber fast zeitgleich ein weiterer Aristokrat, der französische Privatgelehrte ***Antoine Laurent de Lavoisier.*** Lavoisier postulierte das erste Grundgesetz der Chemie, ***"Bei chemischen Reaktionen bleibt die Masse konstant".***

Durch genaue Messungen der Masse von Ausgangstoffen und Reaktionsprodukten erkannte Lavoisier, dass Feuer bei Verbrennungsreaktionen nicht als eine Substanz (Phlogiston) entweicht, da die Oxide von Phosphor und Schwefel nach der Reaktion mit Luftsauerstoff eine höhere Masse aufwiesen als Phosphor und Schwefel vor der Reaktion. Er stellte auch fest, dass aus den Oxiden mit Wasser Säuren entstanden. Lavoisier erkannte, dass Sauerstoff für die Atmung und Verbrennung notwendig ist und er schuf die erste Nomenklatur für die Chemie. Jede Substanz wurde nach den Elementen bezeichnet, aus denen sie zusammengesetzt ist. Lebensluft wurde in Sauerstoff umbenannt, weil er Stoffe in Säuren verwandelt. Die brennbare Luft wurde als Wasserstoff bezeichnet, denn aus ihr lässt sich mit Sauerstoff Wasser herstellen. Die Stickluft wurde Stickstoff genannt, weil sie das Leben der Tiere nicht unterhält. Aus Vitriolsäure wurde Schwefelsäure, aus Luftsäure die Kohlensäure und aus den Kalken machte Lavoisier die Oxide. Es wurde erstmals zwischen chemischen Verbindungen und chemischen Elementen unterschieden und es wurden Definitionen für Säuren, Basen und Salze festgelegt.

Lavoisier ließ sich bei den besten Mechanikern von Paris spezielle Feinwaagen anfertigen. Alles was gemessen und gewogen werden konnte, das wurde von seiner Frau Marie Anne sorgfältig notiert und registriert. Durch seine genauen Messungen führte er die Chemie in die exakte Naturwissenschaft. Großes Aufsehen erregte die öffentliche Verbrennung eines Diamanten mit Sonnenlicht. Dazu wurden zwei riesige mit Terpentin gefüllte Sammellinsen verwendet. Lavoisier bewies damit, dass der Diamant aus reinem Kohlenstoff besteht und kein Mineral darstellt, wie bisher angenommen. Die Presse feierte ihn als ***Diamant der Wissenschaft*** [2].

Antoine Laurent de Lavoisier 1743-1794

Lavoisier war aber nicht Wissenschaftler von Beruf. Er war ein hochvermögender Adeliger, der in Paris vielen Aufgaben nachging. Heute würde man sagen, er war ein Manager in vielen Berufen. Er überwachte die Pächter eines ca. 200 ha großen Landgutes. Lavoisier war ehrenamtliches Mitglied in zahlreichen Kommissionen der Akademie der Wissenschaften. Er arbeitete als Gutachter über die Qualitätskontrolle von Lebensmitteln und über die Wasserversorgung und arbeitete Vorschläge für die Hygienekommission aus. Die hygienischen Verhältnisse in Paris waren aus heutiger Sicht katastrophal. Es gab keine Kanalisation, die Fäkalien wurden in Jauchegruben gesammelt, wobei es beim Leeren der Gruben tödliche Unfälle gab. Als Mitglied der ***Ferme General*** war Lavoisier auch Steuerpächter und schließlich war er auch noch Direktor der staatlichen Salpeterproduktion. Die Salpeterproduktion war ein staatliches Monopol für die Gewinnung von Schießpulver und der Direktorenposten war hochbezahlt. Die Salpetergewinnung selbst war allerdings weniger appetitlich. Die weißlichen Ausblühungen an den Wänden der Ställe und Aborthäuschen enthielten Mauersalpeter [2].

Der Mauersalpeter wurde von Arbeitern abgekratzt und eingesammelt. Auf eine andere Art wurde Salpeter in sogenannten Salpeterplantagen gewonnen. Hierfür wurden in Gruben Abfälle aus Schlachttieren, Horn, Klauen, und Blut geworfen und mit Friedhofserde vermischt. Die Mischung wurde, mit Fäkalien übergossen und zwei Jahre lang gelagert. Danach wurde die Erde mit Wasser ausgelaugt und beim Salpetersieden eingedampft [2].

Bei all seinen Berufen ist es geradezu erstaunlich, dass Lavoisier wissenschaftliche Forschungen auf dem Gebiet der Chemie betreiben konnte. Chemie war sein Hobby, seine Freizeitbeschäftigung. Auf jeden Fall hatte er genug Geld, um sich entsprechende Geräte bauen zu lassen und Messinstrumente herstellen zu lassen.

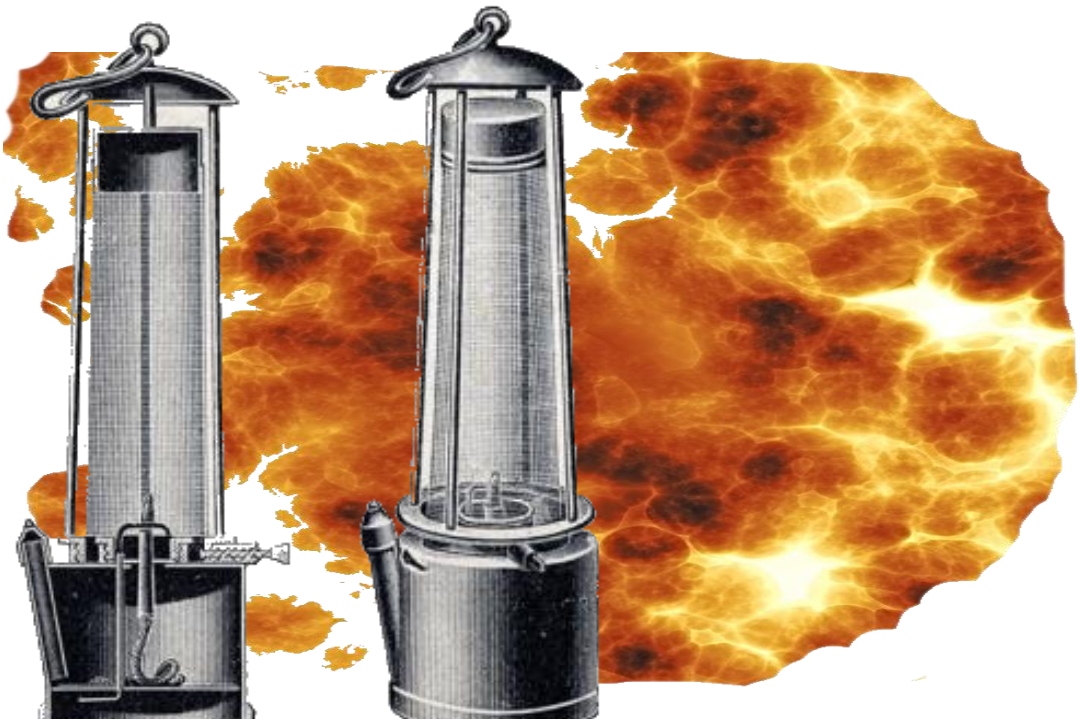
Man kann nur vermuten, dass Lavoisier noch sehr viel mehr entdeckt hätte, wenn er nicht Opfer der französischen Revolution geworden wäre. Seine Rolle als Steuereintreiber wurde ihm zum Verhängnis, und er wurde von seinen Gegnern bei den Jakobinern angeschwärzt. 1794 wurde Lavoisier vor das Revolutionstribunal geführt und zum Tode durch die Guillotine verurteilt. Nachdem der Kopf fiel, sagte der berühmte Mathematiker ***Joseph-Louis de Lagrange (1736-1813)***: ***"Eine Sekunde nur brauchten sie, um ihm seinen Kopf zu nehmen. Hundert Jahre werden nötig sein, bis ein ähnlicher wieder nachwächst"*** *(wörtlich zitiert aus* [2]).

Die geheime Wissenschaft Alchemie wurde aber verdrängt. Es brach ein neues Zeitalter an, und Lavoisier wurde zu einem Begründer der neuen Chemie. Nach Lavoisiers Zeit gab es geradezu ein regelrechtes Wettrennen der Beobachtungen und neuen Entdeckungen in den Naturwissenschaften. Die moderne Chemie entwickelte sich vor allem in Frankreich, England, Dänemark, Schweden und Deutschland. Die große amerikanische Forschungsreise des Naturforschers ***Alexander von Humboldt*** von 1799-1804 und die Gründung der ***Royal Institution of Great Britain*** 1799 spiegeln den damaligen Zeitgeist wieder. Der Wissensdurst war riesig und Wissenschaft war hip.

Alexander von Humboldt 1769-1859

Der englische Professor und Privatgelehrte ***Sir Humphry Davy*** erlangte mit seinen Vorlesungen an der Royal Institution of Great Britain in London Weltruhm [2]. Die Royal Institution ist bis heute eine Einrichtung, die sich wissenschaftlicher Ausbildung und Forschung widmet. Zur Zeit Davys konnten sich die Menschen für Chemie geradezu begeistern. Jeden Freitagabend drängten sich die Menschen zu hunderten in den Hörsaal, und versuchten die vorderen Plätze zu bekommen. Jedes Experiment wurde mit Beifall begleitet und am nächsten Tag erschienen Berichte über die Veranstaltungen der Royal Institution in den Zeitungen [2].

Davy entdeckte 1807, dass man mit der von dem Italiener ***Alessandro Volta*** entwickelten ***Volta-Säule*** chemische Reaktionen beeinflussen konnte. Er führte Elektrolysen von geschmolzenem Ätzkali (KOH) durch und entdeckte dadurch das Element Kalium. Das Metall, welches mit Wasser reagiert und spontan zu brennen vermag war eine Sensation. Zur Zeit Davys war England, das seine Wälder für den Schiffsbau abgeholzt hatte, auf die großen Steinkohlevorkommen als Energieträger angewiesen. Immer weiter trieb England die Stollen tief in die Erde, um Kohle zu gewinnen. Manche Arbeiten konnten im Bergbau zur damaligen Zeit wegen der Körpergröße besonders gut von Kindern ausgeführt werden. Häufig ereigneten sich unter Tage Explosionen bei denen viele Bergleute und Kinder den Tod fanden. Die Lüftung in den großen Tiefen war ein kaum lösbares Problem und immer wieder entzündete sich beim Abbau der Steinkohle entweichendes Methan an den Grubenlampen. Die Explosionen des zündfähigen Methangas-Luftgemisches wurden Schlagwetter genannt. 1812 ereignete sich durch ein solches Schlagwetter in England ein besonders schweres Unglück durch das 92 Männer und Kinder den Tod fanden. Davy wurde beauftragt, eine gegen Schlagwetter sichere Grubenlampe zu entwickeln. 1815 begann er zusammen mit seinem Assistenten Michael Faraday die Entwicklung einer schlagwetterfesten Grubenlampe. Nach einem halben Jahr fanden die beiden Forscher die Lösung in einer Ummantelung der Flamme mit einer Metallgaze aus Kupferdraht. Das feine Metallnetz kühlte dabei die Flammengase so weit ab, dass die Zündtemperatur für die Zündung eines Methan-Luftgemisches nicht mehr ausreichend war [2].



Grubenlampe mit Metallgaze gegen Schlagwetter

Davys Assistent, der englische Naturforscher ***Michael Faraday***, ist heute vor allem durch das nach ihm benannte ***Faradaysche Gesetz***, der ***Faraday-Konstanten***, der Einheit für die Kapazität und dem ***Faradayschen Käfig*** bekannt. Vielleicht wird Faraday deshalb heute fast ausschließlich mit Elektrochemie und Elektrizitätslehre in Verbindung gebracht. Zu einer Zeit, als Chemie und Physik noch nicht getrennt waren, arbeiteten Naturforscher wie Faraday häufig auf beiden Wissensgebieten. Der Physiker Faraday war auch ein Chemiker. Faraday gelang die Verflüssigung von Chlor, er entwickelte einen neuen Glasschmelzofen und untersuchte zahlreiche Glasmischungen.

Michael Faraday 1791 - 1867

Faraday wuchs in ärmlichen Verhältnissen auf. Die Familie war so arm, dass sie hungern musste. Einmal musste ein Brot eine Woche für die gesamte Familie mit vier Kindern reichen. Faraday lernte auf der Elementarschule nur etwas lesen und schreiben und einige Grundlagen zum Rechnen. Mit Mathematik tat sich der Naturforscher Zeit seines Lebens schwer, und es war ihm kaum möglich, die mathematische Fassung physikalischer Begriffe nachzuvollziehen. Faraday verdiente sich Geld als Zeitungsjunge und sammelte an den Ufern der Themse herrenlose Gegenstände ein, die die Familie brauchen konnte. 1805 konnte er in der Blandford Street in London eine siebenjährige Buchbinderlehre beginnen. Faraday las fast alles Gedruckte, was ihm zum Binden gebracht wurde, und er entwickelte ein Interesse für Naturwissenschaften. Er besuchte populärwissenschaftliche Vorträge und nahm an Rhetorikkursen teil, um sich seinen Vorstadtdialekt abzugewöhnen. Faraday lieh sich Eintrittsgelder von seinem Bruder und hörte Vorträge über das Froschschenkelexperiment von ***Luigi Galvani***, die elektrische Säule des Grafen ***Alessandro Volta***, über Blitzableiter, Magnete, Mineralien und Metalle. Er hielt alle Vorträge in Tabellen, Texten und Zeichnungen in einem Buch fest. Im Hörsaal der Royal Institution hörte er die drei letzten öffentlichen Vorträge von ***Sir Humphry Davy***, die sein Leben verändern sollten [2].

Faraday bewarb sich an der der Royal Institution und erhielt eine Stelle als Assistent bei Davy.

Beim Versuch Chlorstickstoff herzustellen ereigneten sich im Kellerlabor der Royal Institution mehrfach Explosionen, bei der Davy und Faraday Schnittverletzungen davontrugen, Faraday arbeitete mit blutigen Händen unerbittlich weiter und gewann Davys Wohlwollen. Er durfte das Ehepaar Davy auf einer anderthalbjährigen Forschungsreise durch Europa begleiten und lernte dabei die Koryphäen ***Ampère***, ***Gay-Lussac***, ***Napoleon*** und ***Alexander von Humboldt*** kennen [2].

Faraday begann zunächst mit kleinen Vorträgen vor einem kleinen Auditorium und entwickelte sich dann zu einem brillanten Redner und Experimentator. Sein Aufstieg vom Zeitungsjungen zu einem der größten Gelehrten seiner Zeit ist unglaublich. Er hielt eine Weihnachtsvorlesung an der Royal Institution, bei dem auch ***Prinz Albert*** im Auditorium anwesend war und erhielt 1838 die ***Copley-Medaille***, die dem heutigen Nobelpreis der Chemie gleichkommt. Dabei blieb Faraday stets bescheiden und den ihm angebotenen Titel eines Lords lehnte er ab. Im Alter von 65 Jahren ließen Faradays Kräfte nach. Vermutlich litt er an einer Quecksilbervergiftung, durch die zahlreichen Experimente in den Laboren der Royal Institution. Dennoch ging er soweit wie möglich seinen Lehrverpflichtungen nach. Berühmt wurden seine wissenschaftlichen Kurse für Kinder, die ***Christmas Juvenil Lectures***. Weihnachtsvorlesungen in der Chemie haben also eine lange Tradition. Faradays Aufzeichnungen umfassten mehr als 16.000 Eintragungen, die sorgfältig nummeriert und sauber gebunden wurden. Die Begriffe Elektrolyse (griechisch = durch Elektrizität befreit), Elektrolyt und Elektroden (griechisch = die Straße der Elektronen), Anode (griechisch = obere Straße) und Kathode (griechisch = untere Straße) gehen auf Faraday zurück, denn er verglich den Stromfluss mit einem Wasserfluss von oben nach unten, wobei er glaubte, dass der Strom von der Anode zur Kathode fließt [2].

Der Buchbinderlehrling aus ärmlichsten Verhältnissen wurde zu einem ganz großen Wissenschaftler seiner Zeit und wurde zu einem der großen Wegbereiter der Chemie, vor allem der Elektrochemie.

Während in England die Royal Institution einen Erfolg nach dem anderen feierte, machte sich in Frankreich ein Landsmann von Lavoisier daran, in die Fußstapfen des Vaters der französischen Chemie, zu treten. Es handelte sich um den französischen Physiko-Chemiker ***Joseph Louis Gay-Lussac*** und England bekam im Anspruch auf Führung in den Naturwissenschaften eine erhebliche Konkurrenz. Gay-Lussac ist der Erfinder von Pipette und Bürette und nach ihm wurden Gasgesetze benannt. Anders als Faraday, der Sohn eines Hufschmieds war, und in ärmlichen Verhältnissen aufwuchs, war Gay-Lussac der Sohn eines Richters. Ob England oder Frankreich, ob arm oder reich, gemeinsam war den Forschern die bedingungslose Aufopferung für die Wissenschaft unter Inkaufnahme unkalkulierbarer Risiken. Zusammen mit dem französischen Physiker ***Jean Baptiste Biot*** stieg Gay-Lussac 1804 in einem mit Wasserstoff gefüllten Freiballon auf. Er wollte untersuchen, ob sich die Zusammensetzung der Luft in verschiedenen Höhen unterscheidet. Dafür nahmen die beiden Wissenschaftler evakuierte Gasflaschen für die Probennamen mit. Ein Kanarienvogel im Käfig sollte anzeigen, ob die Luft zum Atmen ausreicht. Der Aufstieg bis auf 4.000 m Höhe zeigte nach Analyse der Proben keinen Unterschied der Zusammensetzung der Luftschichten. In einem zweiten Versuch wollte man in noch höhere Luftschichten aufsteigen und Biot blieb am Boden, um den Ballon mit seiner Fracht leichter zu machen. Im gleichen Jahr stieg Gay-Lussac dann bis auf 7.016 m auf. Um den Ballon noch leichter zu machen, warf er alle überflüssigen Gegenstände über Bord und stellte den Höhenrekord von 7.367 m auf. Ein Stuhl landete in einem Gebüsch direkt neben einem Mädchen, das Schafe hütete. Die Dorfbewohner und der Pfarrer deuteten diesen Stuhl zunächst irrtümlich als Geschenk aus dem Paradies.

Gay-Lussac erbrachte den Nachweis, dass die Zusammensetzung der Luft sich auch in großen Höhen nicht ändert und wiederlegte damit die Hypothese von John Dalton, eines englischen Wissenschaftlers. Kaiser Napoleon der I. empfand eine große Genugtuung, denn nicht alle Weisheit kam aus England. Da der englische Naturforscher Davy durch die Elektrolyse von geschmolzenen Alkalihydroxiden die Elemente Kalium und Natrium entdeckte, verzeichnete die Englische Wissenschaft einen neuen Triumph [2].

Napoleon der I. stattete ein Forschungsvorhaben zur Entdeckung eines weiteren Elementes mit erheblichen Geldmitteln aus und wies Gay-Lussac und seinen Freund den Chemiker Thénard an, eine noch gewaltigere Batterie für die Elektrolyse zu bauen als Davy, der etwa 2000 Volte-Säulen zusammengeschaltet hatte.

Die beiden Forscher machten sich gleich ans Werk und warteten die Fertigstellung der Batterie nicht ab. Mit dem von Davy entdeckten Element Kalium gelang es ihnen durch Reduktion von Borsäureanhydrid das Element Bor zu gewinnen. Sie veröffentlichten ihre Entdeckung am 21. Juni 1808 und kamen damit Davy, der das Element fast zeitgleich entdeckte und dies erst am 30. Juni 1808 bekannt gab, um neun Tage zuvor. Napoleon der I. war entzückt und ernannte Gay-Lussac zum Professor für Chemie an der Universität Sorbonne. Gay-Lussac musste diese Ehrung im Krankenhaus entgegennehmen, denn bei den Experimenten mit Kalium gab es eine gewaltige Explosion und Gay-Lussac verlor dabei fast sein Augenlicht [2].

Gay-Lussac und Biot mit dem Ballon in der Luft

Frankreich und England wetteiferten in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts um die Vorherrschaft in den Naturwissenschaften. Doch was geschah nach der Entdeckung des europäischen Porzellans 1709 durch Böttger in der Zeit in Deutschland?

Viele große und kleine Entdeckungen sind dem deutsch-schwedischen Apotheker ***Carl Wilhelm Scheele*** zu verdanken, der in Stralsund 1742 zur Welt kam.

Im Dreißigjährigen Krieg widerstand Stralsund mit Unterstützung von Schweden und Dänemark der Belagerung durch die Truppen von Wallenstein. Fast 200 Jahre gehörte Stralsund zum Königreich Schweden als Teil von Schwedisch-Pommern. Erst 1815 kam Stralsund zu Preußen. Man kann also streiten, ob es sich bei Scheele um einen schwedischen oder deutschen Pionier der Chemie handelte.

Auf jeden Fall verfiel der Apotheker in einen Rausch der Begeisterung für die Chemie und er untersuchte, mischte, kochte und destillierte fast alles, was ihm an Stoffen und Stoffgemischen zur Verfügung stand [2].

Zwischen 1769 und 1780 gelang es Scheele verschiedene Säuren zu gewinnen. Aus Weinstein isolierte er die Weinsäure. Er gewann aus Fruchtsäften Äpfelsäure, Zitronensäure und Gallussäure. Oxalsäure isolierte er aus Sauerklee. 1780 gewann er schließlich die Milchsäure. Er konnte zeigen, dass sich das Kohlendioxid (damals ***Fixe Luft*** genannt) in Wasser löst und sich dann wie eine Säure verhält. Er gewann auch aus Knochen eine saure Flüssigkeit, die Phosphorsäure. Scheele war es auch erstmals gelungen zwei anorganische flüchtige Verbindungen darzustellen, den Ammoniak und den Chlorwasserstoff. 1774 entdeckte er Arsenwasserstoff und erkannte Chlor als Element. 1783 gewann er aus Olivenöl Glycerin und aus dem Farbstoff Berliner Blau die Blausäure [2]. Beim Erhitzen von Braunstein (MnO_2) und Vitriol (Schwefelsäure) entdeckte Scheele, dass aus der Masse Gasblasen entwichen. Er fing das Gas in einem Glaszylinder auf und zündete darin eine Kerze an, die hell aufflammte. Scheele hatte den Sauerstoff entdeckt und nannte das Gas Feuerluft. Er leitete das Gas in eine luftleere Ochsenblase und mischte 3 Teile verdorbene Luft (Stickstoff) hinzu und erkannte, dass das künstliche Luftgemisch der natürlichen Luft glich.

Carl Wilhelm Scheele 1742-1786

Die Entdeckungen Scheeles stellen Meisterleistungen eines unermüdlichen Arbeiters dar. Seine Entdeckungen entstanden in einem Geräteschuppen im Hof seiner Apotheke. In dem im Winter unbeheizten Raum experimentierte er von früh bis spät in die Nacht, während die Kunden der Apotheke einem Lehrling überlassen wurden. In dem Schuppen gab es keinen Abzug, keine Atemschutzmaske und keine Handschuhe [2]. Scheele war unentwegt giftigen Dämpfen und Chemikalien ausgesetzt, er wurde nur 44 Jahre alt. In die Geschichte ging der Apotheker Scheele als Entdecker des Sauerstoffs ein.

Es waren weitere Apotheker, welche die Chemie ein gutes Stück weiterbrachten. Apotheken waren zur damaligen Zeit eine geeignete und beliebte Berufsschule für angehende Chemiker. ***Justus von Liebig***, ***Emil Erlenmeyer***, ***Friedlieb Ferdinand Runge, Wolfgang Döbereiner*** und ***Heinrich Klaproth*** hatten sich in Apotheken die Basis für den späteren Beruf als Chemiker geholt [2].

Der in Wernigerode 1743 geborene Apotheker ***Martin Heinrich Klaproth*** entdeckte 1789 die Elemente Uran und Zirkonium, 1792 das Element Titan im Mineral Rutil (TiO_2) und 1797 entdeckte er das Chrom [2].

Martin Heinrich Klaproth 1743 - 1817

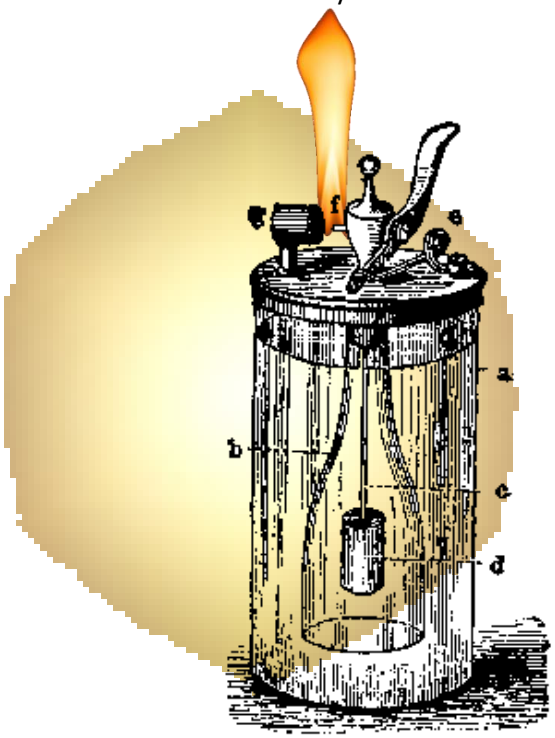
1780 wurde in Hof an der Saale der Chemiker und Apotheker ***Johann Wolfgang Döbereiner*** geboren und wuchs als Junge auf dem Rittergut Bug am Fichtelgebirge auf. Sein Vater war dort zunächst als Knecht und dann als hochherrschaftlicher Verwalter angestellt. Auf dem Gut verbrachte Döbereiner eine unbeschwerte Jugendzeit. In einer einklassigen Schule lernte er Lesen und Schreiben. Der Besuch einer höheren Schule war aus finanziellen Gründen nicht möglich. Döbereiners größter Besitz war ein altes Botaniklehrbuch, das er fast auswendig lernte. Viele Anregungen holte sich Döbereiner in der gutseigenen Brauerei und Schnapsfabrik und verbrachte dort viel Zeit zwischen Braukesseln und Schnapsdestillen. Er sollte sein Leben lang von diesen Erfahrungen in der chemischen Technik zehren [2]. Als Döbereiner 14 Jahre alt war wurde er zu einer dreijährigen Lehre in eine Apotheke nach Münchberg geschickt. Nach abgeschlossener Lehre ging er mit seinem Zeugnis in der Tasche als Apothekergehilfe auf Wanderschaft nach Dillenburg, Karlsruhe und Straßburg, wo er die französische Sprache erlernte. Zudem besuchte er Vorträge in Mineralogie, Botanik und Chemie. Nach fünf Jahren in der Fremde kam Döbereiner in die Heimat zurück, heiratete und machte sich mit einer kleinen Fabrik für pharmazeutisch chemische Produkte selbstständig. Durch Neider wurde ihm die Betriebserlaubnis entzogen, er arbeitete dann in einer Textilfabrik und verbesserte dort die Bleichprozesse. 1806 verhängten die Franzosen ein totales Handelsverbot gegen England und besetzten mit ihren Truppen Oberfranken, die Baumwolleinfuhren kamen zum Erliegen und der Betreib wurde geschlossen. Danach fand er Arbeit auf dem Hofgut St. Johannis bei Bayreuth und modernisierte die Brauerei und Schnapsbrennerei, aber dann wurde das Gut verkauft, und der neue Besitzer legten den Braubetrieb still [2].

Der dreißigjährige Familienvater war verzweifelt und konnte keine Arbeit finden, da kam ihm Glück und Zufall zu Hilfe, denn er erhielt unerwartet einen Ruf als außerordentlicher Professor für Chemie und Technologie nach Jena.

Auf Anraten von ***Johann Wolfgang von Goethe*** richtete der wissenschaftsfreudige ***Großherzog Carl August von Sachsen-Weimar*** 1789 eine Professur für Chemie ein, die von Carl August finanziert wurde. Goethe, der damals an seiner Farbenlehre schrieb, wollte keinen hochgestochenen Theoretiker auf diesen Lehrstuhl sehen und bat seinen Freund **Adolph Ferdinand Gehlen** in München um Vorschläge für die zu besetzende Professur. Chemiker mit praktischen Erfahrungen in der chemischen Technik waren damals selten und Gehlen wusste auch keinen Rat. Schließlich nannte er Goethe den Namen Döbereiner, der ihm durch seine praxisorientierten Veröffentlichungen in dem von Gehlen herausgegebenen Journal für Chemie bekannt war. So kam es, dass Döbereiner ohne ein Studium und ohne Doktorgrad zum Professor für Chemie und Technologie berufen wurde, wobei noch einige Hürden der Bürokratie überwunden werden mussten. Die Einrichtung einer chemischen Anstalt in Jena ist dem eindringlichen Wirken von Döbereiner und Goethe zu verdanken. Goethe kaufte der Witwe des Lehramtsvorgängers für 160 Taler gebrauchte Apparaturen ab und erwarb 1.200 Fachbücher. Das oberste Stockwerk des Jenaer Schlosses wurde für die chemische Anstalt umgebaut und dank der guten Worte von Goethe stiftete die russische ***Großfürstin Maria Paulowna*** 1.000 Taler zur Anschaffung von Laborgeräten, Mineralien und Präparaten sowie Glasschränken. Döbereiner konnte seinem Lehrauftrag nachgehen und sich intensiv der praxisnahen Forschung widmen. Später bemühten sich fünf angesehene Universitäten um Döbereiner, aber Döbereiner hat sein Versprechen Goethe gegenüber nie gebrochen, das Versprechen Zeit seines Lebens dem ihm gegebenen Amt nach allen Kräften nachzukommen [2].

1819 isolierte Döbereiner Koffein aus Kaffeebohnen. Döbereiners wohl berühmteste Erfindung ist aber sein Feuerzeug, das er 1823 konstruierte. Es stellt auch gleichzeitig das erste Beispiel einer angewandten technischen Katalyse dar. Wasserstoff wird in dem Feuerzeug aus Zink und Salzsäure produziert und entzündet sich automatisch an Platinmohr.

Bekannt wurde Döberreiner auch durch die sogenannte Triadenregel, die er 1829 aufstellte und damit einen Grundstein für das Periodensystem der Elemente legte.

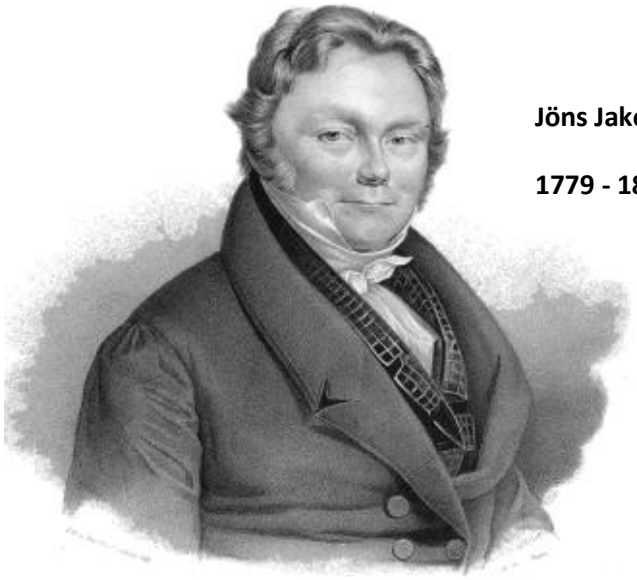


Feuerzeug nach Döbereiner

Die Weisheit fällt wohl nicht vom Himmel. Der berühmte schwedische Mediziner und Chemiker ***Jöns Jakob Berzelius*** musste das Gymnasium mit 17 Jahren verlassen und im Abschlusszeugnis wurde ihm bescheinigt, dass er ***"ein junger Mann von guten Naturanlagen aber zweifelhaften Hoffnungen"*** sei. Er begann ein Medizinstudium an der ältesten schwedischen Universität in Uppsala. Im ersten medizinischen Examen wäre Berzelius beinahe durch eine mangelhafte Leistung in Chemie durchgefallen. Berzelius beschloss daraufhin, sich mehr der Chemie zu widmen und daraus wurde eine echte Liebe zum Fach Chemie. Mit 28 Jahren tritt Berzelius die Nachfolge des Lehrstuhlinhabers für Chemie an, die später als ***Karolinisches medicochirurgisches Institut*** der Universität angegliedert wird. Als Universitätsprofessor wurde Berzelius zu einem der berühmtesten Chemiker seiner Zeit. Wer glaubt ein Chemieprofessor sollte zur damaligen Zeit immer ein gut ausgestattetes Laboratorium zur Verfügung gehabt haben, der irrt gewaltig. Auch wenn Berzelius eine der Größen in der damaligen Chemie war, hatte er nur ein sehr bescheidenes Privatlabor, mit dem er aber eine Vielzahl von neuen Erkenntnissen und Entdeckungen hervorbrachte. An dieser Stelle sei die Beschreibung seines Lieblingsschülers **Friedrich Wöhler** wörtlich aus [2] zitiert:

"Das Labor bestand aus zwei gewöhnlichen Zimmern mit höchst einfacher Einrichtung; man sah darin weder Öfen noch Dampfabzüge, weder Wasser-, noch Gasleitung. In dem einen standen zwei gewöhnliche lange Arbeitstische von Tannenholz; an einem hatte Berzelius seinen Platz, an dem anderen ich den meinigen…. Im zweiten Zimmer befanden sich die Waagen und einige Schränke mit Gerätschaften. In der nahen Küche, in der die gestrenge Köchin Anna das Essen bereitete, stand der selten gebrauchte Glühofen und ein ständig beheiztes Sandbad. Die gestrenge Köchin Anna war Berzelius' Haushälterin Anna Christina Persdotter Sundström, der gute Geist in der Küche, eine Respektsperson und echte Stütze im Laborbetrieb. Sie wusch lieber Laborgläser als die Weingläser der Montagabendgesellschaft."

Die Beschreibung Wöhlers verdeutlicht, dass Laboratorien im 18. Jahrhundert weitab von den heutigen Sicherheitsvorschriften betrieben wurden.



Jöns Jakob Berzelius

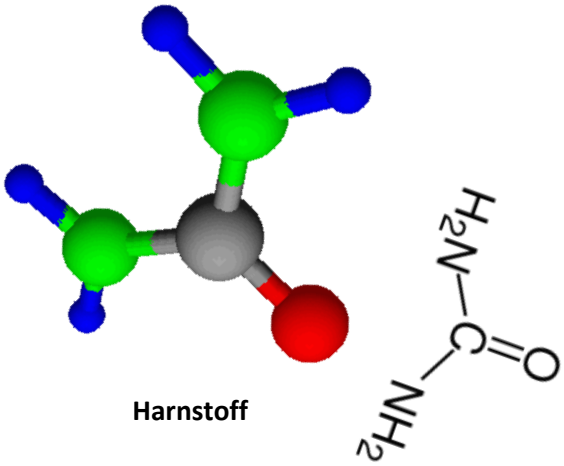
1779 - 1848

Berzelius Arbeiten sind beträchtlich, besonders auch im Hinblick auf die damals vorhandenen Möglichkeiten. Berzelius führte die weltweite chemische Symbolsprache ein, er erfand viele Laborgeräte wie Spritzflasche, Becherglas, Filterpapier, Scheidetrichter, Platintiegel und Reagenzglas.

Berzelius erarbeitete die Grundlagen der analytischen Chemie und prägte die Begriffe Isomerie und Katalyse. Die Elemente Cer, Selen und Thorium wurden von Berzelius entdeckt.

Der wohl berühmteste Schüler von Berzelius war ***Friedrich Wöhler*.** 1820 studierte Wöhler Medizin in Marburg und Heidelberg und auch Chemie bei ***Leopold Gmelin***. 1823 schloss er sein Medizinstudium mit einer Promotion ab und konzentrierte sich dann nur noch auf die Chemie. Von seinen Experimentierkünsten sehr angetan vermittelte Gmelin Wöhler für ein Praktikum bei Berzelius in Stockholm. Danach arbeitete Wöhler als Lehrer an der Berliner Gewerbeschule. Als Wöhler 1828 die Harnstoffsynthese gelang, wurde ihm der Titel eines Professors verliehen und 1836 erhielt er einen Ruf an die Georg-August-Universität in Göttingen. Neben der Harnstoffsynthese erbrachte Wöhler viele weitere wissenschaftliche Leistungen, zum Beispiel die Darstellung von Aluminium, die Isolierung von Beryllium, Yttrium und Nickel, die Synthese von Calciumcarbid und die Entwicklung der Radikaltheorie gemeinsam mit Liebig. Es ist aber die Harnstoffsynthese durch die er weltberühmt wurde und mit der der Name Wöhler immer verknüpft sein wird. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass Wöhler durch die Harnstoffsynthese zum Begründer der Organischen Chemie wurde und die ***vis vitalis-Theorie*** widerlegte. Zur damaligen Zeit war man der Überzeugung, dass organische Stoffe, die von Organismen stammten, nur durch eine von Gott eingehauchte innere Lebenskraft, die vis vitalis, geschaffen werden können. Diese vis vitalis wohnt nach der damaligen Vorstellung in den lebenden Organismen. Als Wöhler den Stoff Harnstoff, den man nur aus Urin kannte, aus den anorganischen Salzen Kaliumcyanat und Ammoniumsulfat synthetisierte, war dies das Ende der vis vitalis – Anschauung in der Chemie [2].

Friedrich Wöhler 1800 - 1882



Harnstoff

Der Mediziner und Chemiker ***Friedlieb Ferdinand Runge*** hatte mit 16 Jahren eine Lehrstelle in der ***Ratsapotheke zu Lübeck***. Danach studierte Runge zwei Jahre Medizin an der Universität Berlin und wechselte dann an die Universität Jena, um sich mit der Chemie der Pflanzen zu beschäftigen. In der Lehre machte Runge bereits Bekanntschaft mit Pflanzengiften. Als ihm beim Einkochen eines Bilsenkrautsaftes ein Tropfen in das rechte Auge spritzte, begann ein Jucken und ein Flimmern. Runge stellte fest, dass die Pupille des Auges sich erheblich vergrößert hatte und die Sehkraft ging für mehrere Tage verloren. Bei der Untersuchung des Bilsenkrautes fand Runge das Alkaloid Atropin.

Friedlieb Ferdinand Runge
1794 – 1867

Farbänderungen durch pH-Verschiebungen aufgrund einer Kontaktkorrosion, Magnesium, Eisen, Stahl (Indikator Rotkohlsaft), Farbverlauf auf Küchenpapier

Löwenapotheke zu Lübeck (Lübecker Ratsapotheke)

Schon wenige Tage später nutzte Runge die Wirkung des Bilsenkrautsaftes, um einen Freund vom Militärdienst zu befreien, denn die napoleonischen Truppen suchten 1812 nach Rekruten für den Russlandfeldzug. Der kurzzeitlich extrem kurzsichtige Freund wurde vom Militärdienst freigestellt [2].

Runge schuf aber auch den Anfang eines "farbigen Zeitalters" der Chemiegeschichte, der Entwicklung der synthetischen Teerfarben, und er ist auch bekannt für seine Untersuchungen von Farbreaktionen auf Löschpapier zum Nachweis von Substanzen. Runge glaubte, den ***"Bildungstrieb der Stoffe"*** erkannt zu haben und nannte die chemischen Farbkreise auf dem Löschpapier ***"Professorenklekse"***. Im Prinzip schuf Runge den Vorläufer der heutigen Papierchromatographie.

Runge promovierte bei Professor Döbereiner in Jena zum Thema Pflanzengifte in der Tollkirsche, Stechpalme und im Bilsenkraut und bekam fortan den Spitznamen ***"Dr. Gift"*** [2].

Dr. Gift nutzte zum Nachweis der Wirkung von Pflanzengiften eine Katze, als "***lebendes Reagenz"***. Sein Doktorvater Döbereiner, war von dieser Methode so fasziniert, dass er seinem Freund Goethe in Weimar davon berichtete, und Goethe ließ den promovierten Mediziner zu sich rufen.

1819 besuchte Runge Goethe und brachte seine Katze mit. Goethe war beeindruckt über die unterschiedlichen Pupillen der Katze und sie sprachen beide lange über die Arbeiten von Runge.

Goethe schenkte Runge eine Schachtel Kaffeebohnen, die er von einem Griechen erhalten hatte. Goethe hatte die Idee, die Kaffeebohnen auf Inhaltsstoffe ebenfalls genauer zu untersuchen und bald darauf entdeckte Runge das Coffein in Kaffeebohnen. Im Umgang mit Naturstoffen war Runge geübt und konnte später den fiebersenkenden Wirkstoff Chinin aus Chinarinde isolieren.

Runge wollte in die Universitätslaufbahn in Berlin eintreten und promovierte ein zweites Mal, um die philosophische Doktorwürde zu erhalten. Das Thema war der blaue Farbstoff Indigo. An der Universität sollte der frischgebackene Privatdozent einen Lehrstuhl für technische Chemie übernehmen, doch es zog Runge in die Fremde. Runge reiste zwei Jahre durch Europa, um die vorzüglichsten Fabriken Frankreichs, Englands und der Schweiz kennenzulernen. Danach arbeitete er als Chemiker in einer Baumwollfärberei und beschäftigte sich unter anderem mit dem Farbstoff der Krapppflanze. In dieser Zeit beginnt Runge das Buch ***"Grundlagen der Chemie für Jedermann"*** zu schreiben. Es sollte ein bahnbrechendes Werk der volkstümlichen Darstellung der Chemie werden [2].

1828 erhielt Runge eine außerordentliche Professur und 1831 übernahm er die Leitung der ***Kommission zur Abwehr oder Eingrenzung der Cholera***. Runge ersetzte das Verfahren der Räucherung mit schwefliger Säure mit der Desinfektion über Chlorkalk. Als die Choleraepidemie zum Stillstand kam, erlangte er ein hohes Ansehen [2].

Als Runge nach Berlin zurückkehrte besuchte ihn ***Robert Wilhelm Bunsen***. Die Beschreibung Bunsens lässt erkennen, dass die experimentelle Chemie heute etwas anders betrieben wird.

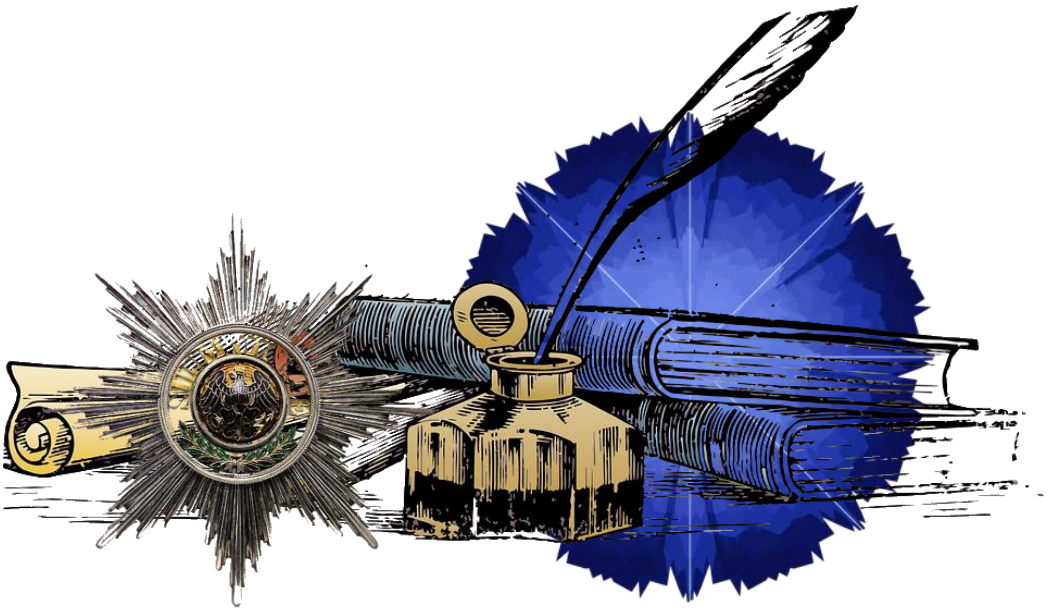
"Er ist ein höchst origineller Mann, ich fand ihn, auf dem Sofa liegend, mit langem, gelockten, bis auf die Schulter herabhängendem Haar, in einer Toilette à la Schustergeselle, mit der einen Hand einen Niederschlag filtrierend, während er mit der anderen Hand ein paar Kartoffeln umrührte, die er sich über einer chemischen Lampe briet" **(**wörtlich zitiert aus [2]).

1833 wechselte der 38 jährige Professor zur Seehandelsgesellschaft in Oranienburg und wurde technischer Leiter der chemischen Produktionsfabrik. Unter Runges Leitung entstand in Oranienburg die erste deutsche Stearinkerzenfabrik der Welt. Aus dem Produktionsabfall (heute würde man sagen Reststoff) produzierte Runge eine Palmöl-Soda-Seife, die ***"Oranienburger Kernseife",*** die reißenden Absatz bei Hausfrauen fand. Runge war als Betriebsleiter sehr kreativ: Er entwickelte ein Reinigungsverfahren für Graphit, um die Qualität der Bleistifte zu verbessern und komponierte eine Wachsmilch als Möbelpolitur. Runge entwickelte zudem eine blaue Tinte, die alle bisherigen Tinten in den Schatten stellte.

Wichtig war es, eine Tinte zu finden, die keinen Bodensatz bildete, das Papier nicht angriff und die Stahlfeder nicht rosten ließ. Die ideale Tinte stellt Runge aus Blutlaugensalz (Kaliumhexcyanoferrat), Eisenvitriol (Eisen(III)sulfat) und Kleesalz (Oxalsäure) her. Dabei oxidiert die Oxalsäure zu Kohlendioxid und reduziert Eisenhexacyanoferrat III zu Eisenhexacyanoferrat II, welches mit Eisen III-Salzen den Komplex Berliner Blau bildet.

Runge widmete die Tinte ***König Friedrich Wilhelm IV von Preußen***, füllte das Produkt seiner Forschung in eine leere Champagnerflasche und sandte diese an den Hof nach Berlin.

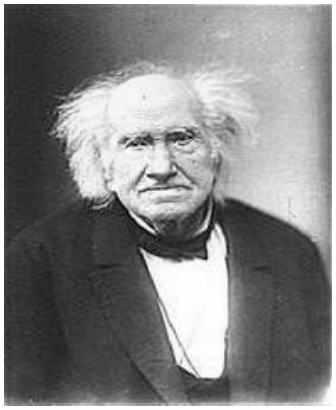
Der König war begeistert von der Qualität und bedankte sich mit einer vollen Champagnerflasche. In den kommenden Jahren wurde mehrmals Tinte nach Berlin und Champagner nach Oranienburg gesandt.



Runge isolierte durch Wasserdampfdestillation Carbolsäure (Phenol) aus Steinkohlenteer, der sich als Abfallprodukt am Boden von Gaswasserfässern bildete. Die Oranienburger Chemiefabrik stellte Salmiak (Ammoniumchlorid) und Salmiakgeist(Ammoniakwasser) aus Gaswasser her, das von den Berliner Gasanstalten geliefert wurde. Es galt, die Abfallprodukte wie den Teer zu entsorgen oder zu verwerten. Die Tragweite seiner Entdeckung hat Professor Runge nie erfahren. Das Phenol sollte 20 Jahre später als unentbehrliches Mittel zur Wunddesinfektion dienen [2].

Runge sollte aber auch das ***Anilin aus dem Steinkohlenteer*** gewinnen und die Möglichkeit der Herstellung von verschiedensten Farben entdecken. Mit der Entdeckung des Anilins und der Gewinnung von ersten synthetischen Farbstoffen trat Runge den ersten Schritt in das Reich der künstlichen Farben an [2].

Runge gewann die ***Oranienburger Kernseife*** aus Palmöl, aber der französischer Chemiker **Michel Eugène Chevreul** gilt als der eigentliche Begründer der Fettchemie.



Michel Eugène Chevreul im 100. Lebensjahr
1786 – 1889

Chevereul wurde über 100 Jahre alt. Das von ihm 1813-1823 gestaltete Werk mit dem Originaltitel *"Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale"* stellt eine Pionierleistung auf dem Gebiet der Fettchemie dar. Das Werk wurde von ***Albert J. Dijkstra*** in die englische Sprache übersetzt und beinhaltet viele interessante Arbeiten auf dem Gebiet zur Chemie der Fette und Öle **[29].**

Mit dem wohl berühmtesten und bedeutendsten Chemiker des 19. Jahrhunderts ***Justus von Liebig*** endet die" Geburtsstunde der Chemie als Wissenschaft" (1650-1850) und nach Justus von Liebig kann der Zeitraum für die Chemie als Wissenschaft in der Moderne eingeläutet werden.

Liebigs Vater hatte eine Drogerie und verkaufte im Ladengeschäft Seifen, Salben, Firnisse, Farben und Chemiewaren. Das in Darmstadt wohlbekannte Geschäft war in den Abendstunden hell erleuchtet, wurde es doch mit Gaslampen erhellt. Die damaligen Lampen mit der "brennenden Luft" waren eine Kuriosität.

Auf der Kuhschwanzwiese vor der Stadt betrieb Liebigs Vater eine kleine Produktionsstätte für Farben, Wagenschmiere, Schuhcreme, Läusepulver, Fleckmittel und viele andere Waren für sein Drogeriegeschäft in der Stadt. Die kleine Hexenküche mit all ihren Chemikalien und wohlriechenden Essenzen war für Liebig ein Eldorado. Der Vater schickte seinen Sohn Justus häufig in die nahe Hofbibliothek um sich Rezeptbücher auszuleihen [2]. Mit Hilfe des Bibliothekars konnte Liebig auch seinen Wissensdurst stillen, und Liebig verschlang ein Buch nach dem anderen [2]. Der junge Liebig hielt sich besonders gerne auf Jahrmärkten auf und holte sich auch dort Inspirationen und Ideen zu chemischen Vorgängen.

"Auf dem Markte in Darmstadt sah ich einem herumfahrenden Händler allerlei ab, wie er Knallsilber zu seinen Knallerbsen machte. Aus den roten Dämpfen, die sich bildeten, als er sein Silber auflöste, sah ich, dass er Salpetersäure dazu nahm und dann eine Flüssigkeit, mit der er den Leuten schmutzige Rockkragen reinigte und die nach Branntwein roch" (wörtlich zitiert aus [2]).

Schon im Mittelalter bildeten die Jahrmärkte eine Kombination aus Versorgung mit bestimmten Waren, Medikamenten, ärztlicher Hilfe und Unterhaltung. Die sogenannten Quacksalber bezauberten bis in die Zeit Liebigs in langer Tradition auch mit Taschenspielertricks und Schauexperimenten auf chemischer Basis. Die Quacksalber waren nicht niedergelassene Ärzte, die auf Jahrmärkten praktizierten und auch Heilmittel vertrieben. Eventuell leitet sich das Wort Quacksalber von quecksilberhaltigen Salben ab, die vertrieben wurden [1]

Im 17. Jahrhundert war ***Manfredi der Wassertrinker*** ein bekannter Kleinquacksalber, der nur wenige Tricks beherrschte, dafür aber perfekt. Hierzu zählten das getrennte Ausspeien von Flüssigkeiten (Branntwein, Milch und Öl) und das Tragen eines schweren Steins, nur mit dem Haarschopf. Als einzige Medizin verkaufte er einen Balsam gegen verdorbenen Magen [1]. Hingegen reiste der berühmte ***Doktor Eisenbarth (1661-1727)*** mit einer ganzen Truppe aus Hilfsärzten, Händlern, Zauberern, Seiltänzern, Feuerspeiern, Musikkapellen und Theatergruppen [1].

Wie aus Liebigs Aufzeichnungen hervorgeht, trugen auch die Jahrmärkte einen Teil zur Entwicklung der Wissenschaft Chemie bei und sind ein gutes Beispiel dafür, dass die Entwicklung der Chemie viele Facetten aufweist.

Justus hatte an der Schule wenig Freude, sein ganzes Interesse galt nur der Chemie. Zunächst ging Liebig bei einem Apotheker in Heppenheim in die Lehre, die aber nach verbotenen Experimenten mit Knallsilber mit einer Explosion nach zehn Monaten ihr Ende fand. Obwohl der junge Liebig kein Abiturzeugnis und keine abgeschlossene Lehre vorweisen konnte, durfte er bei Professor ***Karl Wilhelm Gottlob Kastner*** an der Universität Bonn studieren. Kastner förderte Liebig und verhalf ihn zu einem Stipendium für das weitere Studium in Paris. An der Sorbonne lehrte damals der bekannteste französische Chemiker ***Gay-Lussac*** und in Paris lernte Liebig ***Alexander von Humboldt*** kennen. Die Arbeiten von Liebig in Frankreich hinterließen bei der französischen Akademie der Wissenschaften großen Eindruck. Auch Alexander von Humboldt war von den Arbeiten Liebigs sehr beeindruckt. Auf Empfehlung Alexander von Humboldts wurde der 21 jährige Liebig an der Universität Gießen zum außerordentlichen Professor berufen[2],[4]. Liebig war seinem Gönner sehr dankbar. In seinem Buch ***Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*** richtet Liebig später die ersten Seiten an Alexander von Humboldt. Dort schreibt er am ersten August 1840 an Alexander von Humboldt unter anderem:

…..Von diesem Tage an waren mir alle Thüren, alle Institute und Laboratorien geöffnet; das lebhafte Interesse, welches Sie mir zu Theil werden liessen, gewann mir die Liebe und innige Freundschaft meiner ewig theuren Lehrer Gay-Lussac, Dulong und Thénard. Ihr Vertrauen bahnte mir den Weg zu einem Wirkungskreise, den seit 16 Jahren ich unablässig bemüht war, würdig auszufüllen…… (wörtlich zitiert aus **[10]**).

Liebigs Ausstattung in Gießen war zunächst sehr bescheiden und einige alteingesessene Kollegen waren Liebig nicht gerade freundlich zugetan. Liebig schaffte es aber, das damals modernste Laboratorium für ein Chemiestudium an einer Universität aufzubauen. Liebig lehrte in Vorlesungen und mit praktischen Übungen. Die Experimentalvorlesungen nach dem Gießener Modell wurden später an allen Universitäten eingeführt. Aus Liebigs Schule stammten viele berühmte Persönlichkeiten, darunter auch Nobelpreisträger der Chemie. Im Liebigmuseum in Gießen hängt eine Tafel mit dem wissenschaftlichen Stammbaum von Liebig, hier ist auch ***van't Hoff*** vertreten, der 1901 als erster den Chemienobelpreis erhielt.

Aus dem Laboratorium in Gießen wurden Jahr für Jahr wichtige Ergebnisse veröffentlicht. 1931 stellte Liebig Chloroform her, das sich aber erst etwa 20 Jahre später als Narkosemittel durchsetzte. Der Einsatz von Chloroform als Narkosemittel ist dem schottischen Arzt ***James Young Simpson*** zu verdanken. Simpson war einer der bekanntesten Gynäkologen und Geburtshelfer seiner Zeit, er erfand den Kaiserschnitt und die Geburtenzange. 1847 experimentierte er mit Chloroform und setzte es dann zunehmend als Narkosemittel bei Geburten ein. Aus religiösen Kreisen gab es zunächst Widerstände gegen den Einsatz von Chloroform. Als aber Königin Victoria 1853 bei der Geburt ihres siebten Kindes Chloroform verwendete, brachen die letzten Widerstände zusammen **[28]**. Heute wird Chloroform wegen der toxischen Wirkung auf innere Organe nicht mehr als Narkosemittel eingesetzt. Liebig stellte auch Chloral, das erste synthetische Schlafmittel her, und er erfand eine neue Methode zur Herstellung von Silberspiegeln.

Vor allem aber führte Liebig den sogenannten ***Fünfkugel-Apparat zur Elementaranalyse*** von organischen Stoffen ein. Mit der Apparatur war es möglich, Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff quantitativ zu bestimmen. Der Apparat war so konstruiert, dass ohne Aufarbeitung der Lösungen eine Wägung auf der Analysenwaage durchgeführt werden konnte, und somit die Zeitdauer für die Analysen erheblich verkürzt wurde. Damit konnten wichtige Fragen zum Aufbau und Stoffwechsel von Pflanzen beantwortet werden.

Liebig fand schließlich auch heraus, dass der Ernteertrag von der Menge desjenigen Stoffes abhängt, von dem am wenigsten vorhanden ist. Dies ist ***Liebigs Gesetz des Minimums*****.** Liebig verdeutlichte dieses Gesetz wie folgt. ***"Nimm ein Holzfass und fülle es mit Wasser. Der Wasserstand wird immer so hoch sein, wie die kürzeste Fassdaube lang ist"*** (wörtlich zitiert aus [2]). In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts war Deutschland im Wesentlichen ein Agrarland. Über die Hälfte der Bevölkerung arbeitete in der Landwirtschaft. 1816 hatte bereits eine Missernte zu einer katastrophalen Hungersnot geführt. In immer kürzeren Abständen folgten weitere Missernten. Liebig entdeckte, dass die Pflanzen eine gewisse Menge an Nährsalzen benötigen und entwickelte die ersten synthetischen Düngemittel. Die ersten Düngemittel wiesen eine noch zu geringe Löslichkeit in Wasser auf und waren zunächst unwirksam. Liebigs Buch ***Die Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikulturchemie und Physiologie*** war ein Meilenstein in der Geschichte der Landwirtschaft. Doch mit seiner Theorie erntete Liebig zunächst nur Spott und die Bauern immer weniger Getreide, denn eine Missernte in der Landwirtschaft folgte der anderen.

Seit 1844 litt die Bevölkerung unter einer extremen Verteuerung der Grundnahrungsmittel und die Sterblichkeitsrate schnellte in die Höhe. In Oberschlesien starben 1847 16.000 Menschen an Hungertyphus. Erst in den 60iger Jahren des 19. Jahrhunderts setzte sich die Mineralstofftheorie von Liebig durch und in England und Deutschland entstanden die ersten Düngemittelfabriken. Somit verbesserte Justus von Liebig mit seiner Lehre von der Pflanzenernährung die Lebensbedingungen der Menschheit entscheidend.

Liebig brachte aber noch eine bahnbrechende Entwicklung im Bereich der Ernährungswissenschaften hervor, einen Fleischextrakt. 1854 war der englische Sodafabrikant ***James Muspratt*** zu Gast in Liebigs Haus. Als die Tochter des Sodafabrikanten schwer an Typhus erkrankte und keine Nahrung mehr aufnehmen konnte, kaufte Liebig vier Pfund mageres Rindfleisch, hackte es klein und erhitzte es mit 2 Litern Wasser und etwas Salzsäure auf 70°C. Nach einigen Stunden hatte sich das Fleisch weitgehend aufgelöst. Liebig gab der Schwerkranken den neutralisierten Fleischtrank löffelweise zu trinken und rettete ***Emma Muspratt*** das Leben. Er veröffentlichte den Erfolg in den von ihm herausgegebenen ***Annalen der Chemie*** mit einer kleinen Notiz mit dem Titel ***Eine neue Fleischbrühe für Kranke*** [2].

Acht Jahre später meldete sich bei Liebig ein Herr ***Georg Christian Giebert*** aus Hamburg, der Liebigs Artikel zufällig gelesen hatte. Giebert hatte die Idee, das Fleisch von hunderttausenden von Rindern und Schafen in Uruguay, die nur wegen ihrer Häute getötet wurden als Extrakt zu verarbeiten und den Extrakt in Europa zu vertreiben und er bat Liebig um Zusammenarbeit **[21]**. Nachdem der Fleischextrakt zu pastenartiger Konsistenz eingedampft werden konnte entstand zwei Jahre später in Fay Bentos am Unterlauf des Uruguay die Liebig‘s Extract Company Ltd.

Liebig war nicht an der Vermarktung interessiert, war aber bereit der Firma und dem Extrakt seinen Namen zu geben, als Gewähr für gute Qualität und Echtheit des Extraktes, war er doch von der guten Sache selbst überzeugt [2].

Tatsächlich wurde der Extrakt ein Verkaufsknüller in der alten Welt und Liebigs Fleischextrakt war bei den Hausfrauen ein Begriff. Zudem hatte der pfiffige Geschäftsmann die werbewirksame Idee fleißige Käufer mit bunten Sammelbildern zu belohnen.

Italienisches Sammelbild zu “*Liebig Fleischextrakt*“, etwa 1900

Justus von Liebig 1803-1873

Liebigs letztes Forschungsziel war die Herstellung eines löslichen Kaffeepulvers. Wöhler, der Liebig in seinem Labor besuchte, erkannte, dass Liebig sich nicht schonte. Der leidenschaftliche Kaffeetrinker Liebig wollte die bei Rekordernten anfallenden Kaffeeüberschüsse der süd- und mittelamerikanischen Länder konservieren.

Wöhler schrieb über Liebig:

Man traf ihn im Laboratorium fast immer beim Kaffeekochen. Jeder der ihn besuchte, musste so viel Kaffeeproben kosten, dass ihm etwas zittrig zumute wurde. Er selbst hat sich sicherlich durch den vielen Kaffee sehr geschadet, er klagte immer über Schlaflosigkeit. Er hatte nicht gelernt, so wie ein Weinhändler zu kosten, ohne die Probe zu schlucken (wörtlich zitiert aus [2]).

Liebig arbeitete bis zur Erschöpfung und starb 1873 an einer Lungenentzündung. In einer Rede zu Liebigs 150. Geburtstag sagte der damalige Bundespräsident Theodor Heuss:

Liebig hat mit Vehemenz die Naturwissenschaft zu einer Sache der allgemeinen Bildung gemacht. Denn dieser Mann, der die Methoden der Forschung neu gestaltete, der einer ganzen Wissenschaft seinen Rhythmus aufzwang, hat sich mit seiner Stellung als Forscher, als Bildner einer ganzen Generation nicht begnügt. Er war zugleich Propagandist und Popularisator (wörtlich zitiert aus [2]).

Die Alchemie wurde von der Chemie als Wissenschaft im 19. Jahrhundert endgültig verdrängt, aber nicht aus der Welt geschafft. Liebig, der die Chemie als Wissenschaft in die modernen Zeiten brachte, setzte sich in seinen ***Chemischen Briefen*** ausführlich mit dem Wesen der Alchemie auseinander:

»Um das Wesen der Alchemie richtig aufzufassen und zu beurteilen, muss man sich daran erinnern, dass man bis zum sechzehnten Jahrhundert die Erde für den Mittelpunkt des Weltalls hielt, das Leben und die Schicksale der Menschen wurden als in engster Verbindung stehend betrachtet mit der Bewegung der Gestirne. Die Welt war ein Ganzes, ein Organismus, dessen Glieder in ununterbrochener Wechselwirkung standen.

Die Erkenntnis und Betrachtung der Natur und ihrer Kräfte umfasste die Wissenschaft der Magie; mit der Heilkunst verbunden galt sie für den Inbegriff geheimer Weisheit. In den Erscheinungen des organischen Lebens, in großartigen Naturwirkungen, im Donner und Blitz, in Sturm und Hagel erkannte man das Walten unsichtbarer Geister (wörtlich zitiert aus **[5]**).

So ist vielleicht zu verstehen, dass etwas von der Faszination der Alchemie bestehen blieb. Auch die ***Alchemistischen Betrüger*** gab es nicht nur im Mittelalter oder in der Renaissance. So ging der Ingenieur ***Karl Malchus*** als ***Hitlers Alchemist*** in die Geschichte ein. Er versprach dem Reichsführer Himmler aus dem Sand von Prittlbach an der Amper mittels geheimnisvoller Verfahren Gold zu isolieren. Malchus landete im KZ Dachau [1].

Der Schwede ***Goldesberg*** verschwand 1954 aus Paris, nachdem er für die Vorfinanzierung der Produktion einer dauerhaften Rostschutzfarbe 100 Millionen Franc erhielt. Das Rezept zu dieser Farbe hat es nie gegeben. Die Kosten der rund alle sieben Jahre notwendigen Neuanstriche des Eifelturms überstiegen die Baukosten um ein Mehrfaches und man suchte dringend nach einer dauerhaften Rostschutzfarbe, die im wahrsten Sinne des Wortes Gold wert gewesen wäre [1].

Sohlmann kommentierte diesen Zwist wie folgt:

"Alfred Nobel war sich der Inkonsequenz wohl selbst bewusst und versuchte, diese in seiner Korrespondenz mit Bertha von Suttner und vielleicht auch vor sich selbst zu verteidigen. Er hob hervor, dass die Vervollkommnung der Vernichtungsmittel bei der Kriegsführung größere Aussicht haben würde, die Kriege zu beenden, als alle Friedenskongresse. In Wirklichkeit war dies wohl kaum die Erklärung für sein Interesse an waffentechnischen Erfindungen, sondern vielmehr der Erfindungstrieb an sich" (wörtlich zitiert aus [18]).

1901 erhielt ***Jacobus Henricus Van't Hoff*** den ersten Nobelpreis für Chemie und im gleichen Jahr ging der erste Nobelpreis für Physik an ***Conrad Röntgen***. Bis heute setzen die Nobelpreise für Chemie und Physik Wertmarken für großartige Leistungen in diesen Wissenschaften**.** Einen Teil der weiteren geschichtlichen Entwicklungen in den Wissenschaften Physik, Chemie und Medizin kann man sicherlich mit den Nobelpreisen als Milestones skizzieren. Einige Preise sind bisher aber auch umstritten gewesen und viele Personen mit grandiosen Forschungsarbeiten wurden nicht bedacht. Manche Arbeiten ohne Nobelpreis sind auch durch das Licht von Nobelpreisen in einen ungerechtfertigten Schatten geraten. Eine besondere Geschichte wurde aber sicherlich ***"Im Sinne des Erfinders Nobel"*** weitergeschrieben. 1905 erhielt Bertha von Suttner, die Alfred Nobel sehr liebte, als erste Frau den Friedensnobelpreis. Seit den ersten Nobelpreisverleihungen ranken sich viele Geschichten um die höchste Auszeichnung in den Wissenschaften. Eine der spektakulärsten Begebenheiten ist die Auflösung von Nobelmedaillen in Königswasser. Während die deutschen Truppen 1940 Kopenhagen besetzten, löste der zu ***Nils Bohr*** geflüchtete ungarische Chemiker ***George de Hevesy*** die Nobelmedaillen für Physik von ***Max von Laue*** und ***James Franck*** in Königswasser auf, um sie vor dem Zugriff der Nazis zu entziehen. Die Nazis konnten das Gold nicht finden und die Lösungen überdauerten den Krieg. Nach dem Krieg wurde das Gold aus den Lösungen wieder zurückgewonnen und Nils Bohr schickte das Gold zur schwedischen Akademie der Wissenschaften. Die Medaillen wurden mit den Namen von Max von Laue und James Franck neu geprägt. Hevesy erhielt für die Isotopenmarkierung 1943 selbst den Nobelpreis für Chemie **[25]**[26].

Ab Mitte des neunzehnten Jahrhunderts entwickelte sich die chemische Industrie in rasendem Tempo. Die Arbeiten der ersten Pioniere wurden fortgesetzt und die Chemie als Wissenschaft wurde auch rechnerisch und mathematisch zugänglicher, indem physikalisch-chemische Phänomene zunehmend mit mathematischen Gleichungen beschrieben wurden. Grundlegende Arbeiten für das Gebiet der chemischen Thermodynamik lieferten ***Hermann von Helmholtz*** und ***Josiah Gibbs*** mit der 1876-1878 entwickelten ***Gibbs-Helmholtz-Gleichung*** in der Reaktionsentropien und Reaktionsenthalpien eine Bedeutung für die Berechnung von chemischen Gleichgewichten zukommt. Mit der ***Maxwell-Boltzmannschen Geschwindigkeitsverteilung*** wurde ***von James Clerk Maxwell*** und ***Ludwig Boltzmann*** auf theoretischer Basis bereits um 1860 eine Gleichung entwickelt, mit der die Geschwindigkeitsverteilung und Energieverteilung von Gasteilchen errechenbar wurde.

Diese Verteilungen konnten 1920 dann von Otto Stern in einem Versuch experimentell nachgewiesen werden. 1873 veröffentlichte der niederländische Physiker Johannes ***Diderik van der Waals*** die nach ihm benannte Zustandsgleichung zur Berechnung für den Zusammenhang von molarem Volumen, Druck und Temperatur bei Gasen, die sowohl den Gaszustand als auch den flüssigen Zustand mathematisch beschreiben konnte. Mit der ***Boltzmannschen Entropieformel***, die 1877 von Ludwig Boltzmann entwickelt wurde, bekam die Größe Entropie eine statistische Bedeutung. ***Walter Nernst*** entwickelte 1889 die nach ihm benannte Gleichung auf dem Gebiet der Elektrochemie und formulierte 1891 den nach ihm benannten Verteilungssatz für Lösungsgleichgewichte. ***Svante Arrhenius*** entwickelte 1889 eine Gleichung zur mathematischen Beschreibung der Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit, ***Jacobus Hericus van't Hoff***, der erste Chemienobelpreisträger führte Untersuchungen, der Reaktionskinetik und Thermodynamik physikalisch-chemischer Phänomene bei Lösungen durch. ***Louis Pasteur*** entdeckte die optische Aktivität eines Salzes der Traubensäure. Die Thermodynamik, Reaktionskinetik, Elektrochemie, das Verhalten von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen wurden mathematisch zugänglich und das Verhalten von Materie und chemischen Reaktionen immer besser vorhersagbar. Die Analysenmethoden wurden ebenfalls weiterentwickelt. 1860/1861 entwickelten ***Gustav Rudolf Kirchhof*** und ***Robert Wilhelm Bunsen*** die ***Spektralanalyse***. Elemente konnten nun anhand ihrer Spektrallinien identifiziert werden. Immer neue Elemente wurden im Laufe des neunzehnten und zwanzigsten Jahrhunderts entdeckt, auch dadurch, dass man einen für Elemente spezifischen Zusammenhang zu den Spektrallinien erkannte. Nach den Arbeiten von Niels Bohr in den zwanziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts wurde der Zusammenhang zwischen Spektrallinien zu den Energieniveaus der Elektronen deutlich. Der Astronom ***Jules Janssen*** entdeckte über eine Spektrallinie bereits 1868 das Element Helium auf der Sonne.

Die Arbeiten von ***Dimitri Iwanowitsch Mendelejew*** und ***Lothar Meyer*** brachten neben Beiträgen von anderen Wissenschaftlern Ordnung in das System der Elemente. Es entstand ein erstes ***Periodensystem der Elemente*** und noch nicht entdeckte Elemente wurden richtig vorausgesagt.

Althergebrachte Herstellungsverfahren wurden weiter verbessert oder durch neue Verfahren ersetzt, die großtechnisch in industriellem Maßstab umgesetzt wurden. Beispielsweise wurden 1862 von der englischen Sodaindustrie 255.000 Tonnen Kochsalz verarbeitet [4], wobei das im 18. Jahrhundert entwickelte ***Leblanc-Verfahren*** zur Herstellung von Soda nach 1860 immer weiter durch das neu entwickelte ***Solvayverfahren*** verdrängt wurde.

Die Chemie wurde im 19. Jahrhundert auf Weltausstellungen präsentiert. Die Weltausstellungen, geplant aus wirtschaftlichem Interesse und nationalem Geltungsbedürfnis, waren Selbst-darstellungen einer ganzen Epoche. Sie waren ein Umschlagsplatz des technischen und industriellen Fortschritts und lieferten umfangreiche Übersichten zum technischen Entwicklungsstand einzelner Firmen und Leistungskraft ganzer Industriezweige und Produktionen. Die Weltausstellungen förderten den Wettbewerb und Handel und boten eine Plattform für den internationalen Gedankenaustausch **[20]**. Sie stellten somit auch einen Nährboden für die Entwicklung der Chemie als Wissenschaft dar. Bemerkenswert ist, dass 1867 auf der Weltausstellung in Paris zum ersten Mal eine Sektion zum Thema Abfallverwertung aufgestellt wurde. Vorgestellt wurden Beispiele aus der Textil- und Lederindustrie, Landwirtschaft und chemischen Industrie wo eine Verwertung bisheriger Abfallstoffe sinnvoll wäre. So wurde auch das Leblanc-Verfahren als Beispiel vorgestellt, mit den zunehmenden Bestrebungen die eingesetzten Rohstoffe ökonomischer zu nutzen und auch die anfallenden Reststoffe sinnvoll zu verwerten [20].

Zu dieser Zeit zeichnete sich also bereits eine immerwährende Tendenz zur ganzheitlichen Verwertung von Stoffen ab, die im 21. Jahrhundert aktueller denn je ist.

Bis zur Mitte des neunzehnten Jahrhunderts bestanden die ersten Schritte bei der organischen Synthese in einem noch unsystematischen Suchen. Einen Volltreffer landete 1856 ***William Henry Perkin***, der einen violetten Farbstoff bei der Suche nach einer Chininsynthese fand. Er synthetisierte den Farbstoff Mauvein.

Mit dem Beginn der sogenannten Strukturchemie durch ***August Kekulé***, ***Emil Erlenmeyer*** und andern Wissenschaftlern, wurde die organische Synthese zukünftig auf theoretischer Basis systematischer durchgeführt [1].

1869 gelang ***Heinrich Caro*** zusammen mit den Berliner Professoren ***Carl Graebe*** und ***Carl Liebermann*** die erste systematisch entwickelte Synthese eines natürlichen Farbstoffs. Sie synthetisierten das Alizarin. Der rote Farbstoff, auch Färberkrapp genannt, dient zur Färbung von Baumwolle. Die Wissenschaftler gingen hier wesentlich systematischer bei der Synthese vor. Sie klärten die Konstitution des Farbstoffs zunächst durch Analyse auf und gingen daraufhin die Synthese an. 1873 wurden Graebe und Liebermann auf der Weltausstellung in Wien mit der Goldmedaille ausgezeichnet [1].

Mit der Arbeit ***"Zur Kenntnis des Baus färbender Kohlenwasserstoffbindungen"*** führte ***Otto Nikolaus Witt*** 1876 die Theorie der auxochromen und chromophoren Gruppen ein und entwickelte damit einen Zusammenhang zwischen dem Aufbau eines organischen Moleküls und der Farbe [1]. Die organische Chemie stand nun auf einem gesicherten Standbein für die Farbstoffsynthese und es wurden tausende neuer Farbstoffe synthetisiert. Ein wichtiger Ausgangsstoff für viele Farben bildete dabei das bereits von ***Friedlieb Ferdinand Runge*** aus Steinkohlenteer isolierte ***Anilin***.

1863 wurde von ***Friedrich Bayer*** die Firma ***Friedr. Bayer et comp.*** Gegründet und 1865 entstand die die ***Badische Anilin- und Sodafabrik (BASF)*** in Mannheim-Jungbusch, die von ***Friedrich Engelhorn*** als Aktiengesellschaft mit einem Grundkapital von 1,4 Mio. Gulden gegründet wurde.

1877 entfiel die Hälfte der Welterzeugung natürlicher und synthetischer Farben auf das Deutsche Reich und erreichte kurz vor Ausbruch des ersten Weltkrieges 80 % der Welterzeugung [1].

Ab 1875 entwickelte sich auch der Pharmabereich auf industrieller Breite. Der Anstoß kam durch den Pathologen ***Carl Weigert***, der Bakterien mit Farbstoffen sichtbar machte. Er führte die Anilinfarbstoffe in die Histologie und Bakteriendiagnostik ein [1].

1893 wurde von ***Felix Hofmann*** bei Bayer aus Morphium das Diacethylmorphin (***Heroin***) synthetisiert. Das Produkt wurde 1896 bei Bayer großtechnisch hergestellt. Das Morphinderivat wurde in einer massiven Werbeaktion in zwölf Sprachen als ein oral einzunehmendes Schmerz- und Hustenmittel angepriesen und vermarktet. Es wurde auch für die Anwendung bei etwa 40 weiteren Indikationen, wie Bluthochdruck, und Herzerkrankungen und als "nicht süchtig machendes Medikament" gegen Entzugssymptome angepriesen. Das heroische Medikament sollte stark im Kampf gegen viele Krankheiten und Schmerzen ohne Nebenwirkungen sein und es bekam den Namen Heroin. Jeder konnte damals Heroin problemlos in Apotheken erwerben. Ab 1910 wurde vor allem in Amerika die von der Droge Heroin ausgehende Gefahr erkannt.

Erst 1931 nahm Bayer das Produkt durch politischen Druck vom Markt.

1898 wurde in einer Patentschrift von Bayer mit Felix Hofmann als Erfinder die Herstellung reiner Acetylsalicylsäure beschrieben. Der Stoff wurde seit Anfang des 20. Jahrhunderts von Bayer unter dem Markennamen Aspirin hergestellt und steht seit 1977 auf der WHO-Liste der unentbehrlichen Arzneimittel.

Die grundlegenden Experimente zur Elektrolyse entsprechender Pioniere wie Faraday und Davy und die späteren Arbeiten zur Elektrochemie, wie zum Beispiel Arbeiten von Walter Nernst, machten schließlich auch Synthesen auf elektrochemischer Basis möglich, wie die großtechnische Produktion von Chlor nach der Chloralkalielektrolyse. Die elektrolytische Chlorfabrikation wurde in Ludwigshafen 1898 eingeführt [16]. Mit der Entwicklung von Katalysatoren wurden neue effektivere Verfahren industriell eingesetzt, so wurde für die Herstellung von Schwefelsäure das Bleikammerverfahren durch das heute übliche Kontaktverfahren mit Vanadiumpentoxid als Katalysator abgelöst.

Nachdem man den Wert von Liebigs Mineralstofftheorie erkannte, entstanden in Europa die ersten Düngemittelfabriken. Es wurde den Menschen schnell klar, dass der als Düngemittel eingesetzte Chilesalpeter (Natriumnitrat) durch Importe aus Chile nicht gedeckt werden konnte. Man versuchte Ammoniak aus Luftstickstoff herzustellen und daraus Salpetersäure zu gewinnen, denn Salpetersäure stellt den Rohstoff für die Produktion von Düngemittel und Sprengstoff dar. Drohende Hungersnöte und der Ausbruch des ersten Weltkrieges trieben die Forschungsarbeiten zur Ammoniaksynthese an.

Durch das geeignete Reaktormaterial und einen geeigneten Katalysator gelang es bereits 1912 in der ersten großtechnischen Anlage der BASF 1.000 kg Ammoniak pro Tag zu erzeugen.

Bis zum Ausbruch des ersten Weltkrieges konnte die Ammoniakproduktionskapazität auf 78. 000 Tonnen pro Jahr gesteigert werden. Heute werden über 100 Millionen Tonnen Ammoniak pro Jahr produziert. Die Synthese wird heute bei 300 bar und 500°C und Eisenkatalysatoren mit geringen Anteilen der Promotoren Al_2O_3, K_2O und CaO durchgeführt [11]. Fritz Haber erhielt für die Ammoniaksynthese 1919 den Nobelpreis für Chemie für 1918 und Carl Bosch erhielt 1931 den Nobelpreis für Chemie für die technische Umsetzung der Ammoniaksynthese.

Die Entwicklung von neuen Werkstoffen und speziell angefertigten Reaktoren machten am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts auch Verfahren bei hohen Drücken und Temperaturen großtechnisch möglich, wobei meist auch die Katalysatorforschung einen wichtigen Bestandteil (damals wie heute) der chemischen Forschung für die entsprechend zu entwickelnden Verfahren darstellte. Materialforschung und Katalysatorforschung geben sich hierbei die Hand. Die Ammoniaksynthese würde auch bei 500°C großtechnisch ohne Katalysator nicht gelingen, da die Reaktion ohne Katalysator immer noch zu langsam ablaufen würde. Der Katalysator lässt Rektionen bei niedrigeren Temperaturen noch schnell genug ablaufen damit ein technischer Nutzen möglich ist. Die Materialien sind dann geringeren Temperaturen ausgesetzt und es kann auch erheblich Energie eingespart werde. Für die Ammoniaksynthese wurden bereits über 20.000 Katalysatoren getestet, ein Katalysator, der bei Raumtemperaturen effizient genug arbeitet, wurde jedoch noch nicht gefunden **[11].**

Mit der Entwicklung der modernen Chemie wuchsen am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts die verschiedensten Disziplinen (Biochemie, Lebensmittelchemie, Anorganische- und Organische Chemie, Physikalische Chemie und Reaktionstechnik). ***Maud Leonora Menten*** und ***Leonor Michaelis*** entwickelten 1910 im Bereich der Biochemie ein Modell zur Beschreibung der Kinetik enzymatischer Reaktionen. 1912 untersuchte ***Louis Camille Maillard*** die Reaktionen zwischen Aminosäuren und Zuckern. Die heute nach ihm benannten Maillardreaktionen stellen eine Grundlage der Lebensmittelchemie dar. 1912 wurde ***Victor Grignard*** für die nach ihm benannten metallorganischen Reaktionen mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt. 1918 stellte ***Arthur Jeffrey Demster*** einen ersten Entwurf zu einem Massenspektrometer vor. Mit seiner Arbeit zur Tüpfelchromatographie im Jahr 1920 gilt ***Fritz Feigl*** als Wegbereiter der Chromatographie. Die Eigenschaften von Zeolithen, Ionen austauschen zu können, waren bereits 1920 bekannt und ab 1930 konnten auch synthetische Ionenaustauscher hergestellt werden. Es entwickelten sich die verschiedensten Methoden der Chromatographie. Heute stellen die Kopplungen eines Gaschromatographen (GC) oder der Ionenaustauschchromatographie (IC) mit einem Massenspektrometer (MS) übliche Methoden(GC-MS beziehungsweise IC-MS) in der modernen Instrumentellen Analytik dar.

In der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts sollten aber auch noch ganz andere Arbeiten und Entwicklungen die Chemie als Wissenschaft grundlegend verändern. 1898 entdeckte das Ehepaar ***Pierre Curie*** und ***Marie Curie*** das Radium.

Die Arbeiten zur Radioaktivität und der Streuversuch von ***Ernest Rutherford*** 1911 führten zu ganz neuen Vorstellungen vom Atom. Die dann folgenden Arbeiten von ***Nils Bohr***, ***Arnold Sommerfeld***, ***Luis de Broglie***, ***Wolfgang Pauli***, ***Erwin Schrödinger***, ***Werner Karl Heisenberg*** und ***Max Born*** auf dem Gebiet der theoretischen Physik revolutionierten mit der Quantentheorie und Wellenmechanik das Verständnis vom Mikrokosmos in nie dagewesener Weise. Aus diesen Arbeiten resultieren die modernen Atomorbitalmodelle, Molekülorbitaltheorien und die Theorien zur chemischen Bindung, mit deren Hilfe sich chemische Reaktionen erklären und beschreiben lassen. Chemische Reaktionen und organische Synthesen wurden durch die Elektronenstrukturen mit entsprechenden Molekülorbitalmodellen vorhersagbar. Die von ***Robert B. Woodward*** und ***Roald Hoffmann*** 1965 auf Basis von Molekülorbitalen entwickelten ***Woodward-Hoffmann-Regeln*** erlauben beispielweise Aussagen über den Verlauf und die Entstehung von Produkten bei pericyclischen Reaktionen. Mit der auf Atomorbitalmodellen basierenden Ligandenfeldtheorie lassen sich zum Beispiel die Strukturen und Eigenschaften von Übergangsmetallkomplexen erklären.

Die moderne Chemie steht mit ihren Beinen auf der Revolution in der Physik in den zwanziger und dreißiger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts.

Nach dem ersten Weltkrieg wurde 1925 in Deutschland die I.G. Farbenindustrie AG (I.G. Farben) gegründet, die seinerzeit das größte Chemieunternehmen der Welt mit Sitz in Frankfurt am Main war, beteiligt waren acht große Chemieunternehmen, auch die BASF und Bayer. Während des zweiten Weltkrieges hatte der deutsche Konzern IG-Farbenindustrie, der in Monowitz bei Auschwitz die Bunawerke errichtete, um synthetischen Gummi und Benzin zu produzieren, Vorrang beim Erhalten von Häftlingen aus Auschwitz für die Zwangsarbeit **[22]**. Nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges wurde auf Beschluss des Alliierten Kontrollrates die I.G. Farben aufgelöst und wieder in eigenständige Unternehmen aufgeteilt und der Rest wurde in I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft i. L. umbenannt.

Konrad Zuse fertigte 1941 den Z3, die erste elektromechanische, frei programmierbare Rechenmaschine. Die dann eintretende Entwicklung von Computern sollte auch großen Einfluss auf die Entwicklung der Chemie haben. Besonders bei der Instrumentellen Analytik wäre die Messdatenaufnahme und Messdatenauswertung ohne leistungsfähige moderne Computer heute undenkbar. Die Strukturaufklärung wurde mit neuen immer weiter verbesserten physikalischen Methoden in einem viel größeren Umfang möglich. Mit der Entwicklung der modernen Analytik wurden auch für die Biochemie relevante Geheimnisse gelüftet. 1950 entdeckte ***Linus Pauling*** die Struktur der α-Helix bei Proteinen und bekam hierfür 1954 den Nobelpreis für Chemie. ***Francis Crick***, ***James Watson***, ***Maurice Hugh*** und ***Frederic Wilkins*** veröffentlichten 1962 die Struktur der Desoxyribonukleinsäure und erhielten 1962 den Nobelpreis für Medizin. 1964 erhielt ***Dorothy Crowfoot Hodgkin*** den Nobelpreis für Chemie, für die Analyse und Strukturaufklärung von Vitamin B12. Sie nutze für ihre Untersuchungen die Methode der Röntgenstrukturanalyse. Neben den spektroskopischen Methoden, die in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts weiterentwickelt wurden, sind auch andere physikalische Verfahren für die instrumentelle Analytik entwickelt worden. Der tschechische Physikochemiker ***Jaroslav Heyrovský*** entwickelte die Polarographie und wurde 1959 dafür mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet. Heute werden modernste Polarographen unter anderem für die Analyse von Trinkwasser auf Schwermetallionen eingesetzt, wobei die Datenaufnahme und Auswertung vollautomatisch mit einem Computer erfolgt.

1991 erhielt ***Richard Robert Ernst*** den Nobelpreis für Chemie, für die Beiträge zur Entwicklung der hochauflösenden Kernresonanzspektroskopie (NMR). Die NMR stellt eine weitere wichtige Methode dar, die Struktur organischer Verbindungen zu klären.

In der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhundert kamen immer weitere heute sehr berühmte Reaktionen und Synthesewege hinzu. 1950 erhielten ***Otto Diels*** und ***Kurt Alder*** für die (4+2)-Cycloadditionen den Nobelpreis für Chemie. Die Reaktionsmechanismen besonders auch bei der Katalyse wurden näher untersucht. ***Cyril Norman Hinshelwood*** erhielt für die Erforschung der Mechanismen chemischer Reaktionen 1956 den Nobelpreis für Chemie. Kein Wunder, dass auch ***Polymere*** aller Art im zwanzigsten Jahrhundert die Welt eroberten. Bereits 1935 entwickelte ***Wallace Hume Carothers***, der Pionier auf dem Gebiet der Polykondensationsreaktionen, das Polyamid ***Nylon***. Fünf Jahre später verkaufte Dupont die ersten 5 Millionen Paar Nylonstrümpfe. Als eigentlicher Begründer der makromolekularen Chemie gilt aber ***Hermann Staudinger***, Er leistete mit seinen Arbeiten wichtige Beiträge zur Strukturaufklärung von Makromolekülen und erhielt 1953 den Nobelpreis für Chemie.

Zehn Jahre später erhielten ***Karl Ziegler*** und ***Giulio Natta*** den Nobelpreis für Chemie, für Reaktionen zur Chemie der Hochpolymeren. Polyethylen wird heute für Verpackungen aller Art eingesetzt. Beim Niederdruckverfahren zur Herstellung von Polyethylen werden unter anderem heute ***Ziegler-Katalysatoren*** eingesetzt.

1990 startete das Humangenomprojekt. Zu dieser Zeit waren im ***Chemical Abstract Service (CAS)*** bereits 10 Millionen chemische Verbindungen registriert. Im Jahr 2000 wurden 22 Millionen chemische Verbindungen registriert. 3 Jahre später wurde das Humangenomprojekt mit der vollständigen Entschlüsselung des menschlichen Genoms abgeschlossen. 2008 ging die von CAS entwickelte Datenbank ***SciFinder*** online. 2017 registriert SciFinder täglich 15000 neue chemische Verbindungen.

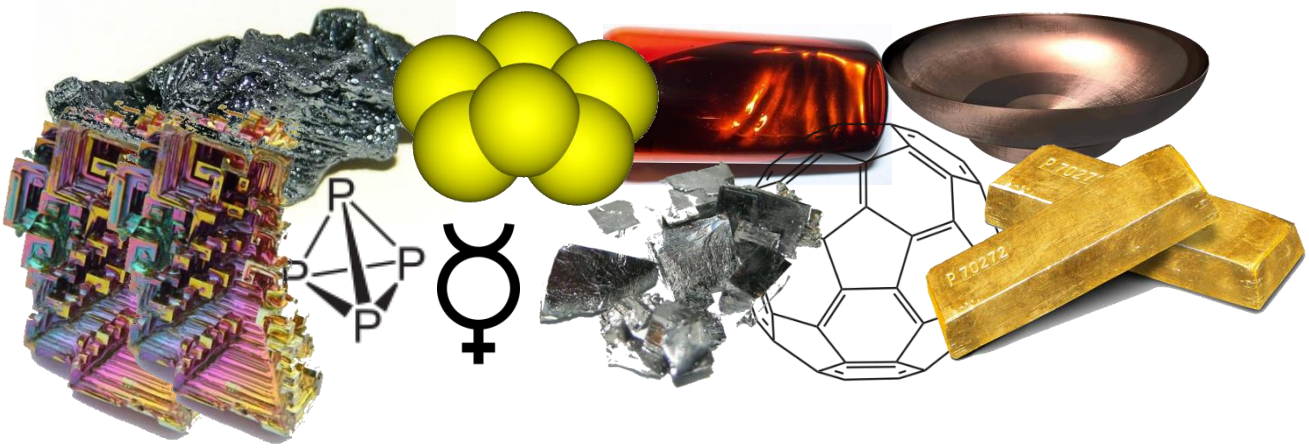
Heute ist mit dem ***Molecular Modeling*** neben der räumlichen Darstellung von einfachen bis zu hochkomplexen Molekülen auch die Berechnung von physikochemischen Eigenschaften der Moleküle möglich. In der medizinischen Chemie können mit Molecular Modeling Strukturen für neue Wirkstoffe optimiert werden.

Jean- Pierre Sauvage, Fraser Stoddart und Ben Feringa erhielten 2016 den Nobelpreis für Chemie für den Entwurf und die Synthese ***molekularer Maschinen***. Es handelt sich dabei um Makromoleküle, die bestimmte Funktionen ausführen können. Sie können sich wie kleine Motoren in einer Größenordnung im Nanometerbereich verhalten. Die Maschinen werden über chemische Energie oder Temperaturgradienten angetrieben und können mechanische Arbeit verrichten. Der Einbau bestimmter Gruppen in den Molekülen kann dazu führen, dass Bewegungen (zum Beispiel Rotationen) in eine Richtung bevorzugt stattfinden. Diese Rotationen können beispielsweise auf Konformationsänderungen beruhen, die durch Reaktionen mit bestimmten Molekülen herbeigeführt werden.

Die wie Zahnräder oder Schaufeln gebauten Moleküle bewegen sich dann in nur eine Richtung.

Ein Ende der Entwicklungen ist, solange der Mensch weiter existiert, nicht absehbar, denn die Wissenschaften sind wie eine Hydra: Schlägt man einen Kopf ab, so wachsen zwei neue Köpfe nach.

Elementare Geschichten



Der erste bekannte Entdecker eines Elementes war der Alchemist ***Hennig Brand***, der den Phosphor bei der Suche nach dem Stein der Weisen entdeckte, ihn aber nicht im heutigen Sinn als Element erkannte. Die Lehre von den Elementen in Anlehnung an die Lehre des Aristoteles hielt sich ausgehend von der Antike in verschiedenen Abwandlungen, Erweiterungen und Variationen während des langen Zeitalters der Alchemie bis in den Zeitraum nach der Spätrenaissance.

Feuer, Erde, Wasser und Luft stellten dabei die Grundelemente dar, über die entsprechende Transmutationen durchgeführt werden konnten und die man in den Stoffen zu finden glaubte. Am Ende des Zeitalters der Alchemie hielt sich noch hartnäckig die sogenannte ***Phlogistontheorie***. Der Alchemist und Mediziner ***Georg Ernst Stahl (1659-1734)*** war neben dem Alchemisten ***Johann Joachim Becher (1635-1682)*** der Hauptbegründer und vehemente Verteidiger der Phlogistontheorie. Bei der Theorie ging man davon aus, dass alle brennbaren Körper flüchtiges Phlogiston enthalten, das bei der Verbrennung entweicht und die zurückbleibenden phlogistonfreien Bestandteile die Asche bildeten.

Als der Naturforscher ***Henry Cavendish*** *1766* Wasserstoff (H) erzeugte, indem er Säuren auf Metalle gab, stand das Ende der Phlogistontheorie kurz bevor. Der spleenige Naturforscher brachte den Wasserstoff zur Reaktion mit Luftsauerstoff und nannte das entdeckte Gas ***brennbare Luft***. Die von Cavendish ausgeführte Knallgasreaktion von Wasserstoff mit Luft, stellte im Prinzip auch den Urknall für die moderne Wissenschaft Chemie dar.

1735 stellte ***Georg Brandt*** bereits Cobalt (Co) dar, kurz vor der Entdeckung des Wasserstoffs entdeckte *1770* ***Johann Gottlieb Gahn*** Phosphor (P) in Knochenasche und ***Carl Wilhelm Scheele*** gewann 1772 Sauerstoff (O) aus Braunstein und Schwefelsäure und 1774 gewann Scheele Chlor (Cl) aus Braunstein und Salzsäure. Es sollte aber die Entdeckung des Wasserstoffs sein, welche die Phlogistontheorie zu Fall brachte und die Vorstellung von Elementen in der Chemie neu prägte.

Der Privatgelehrte ***Antoine Laurant de Lavoisier*** stellte die Experimente von Cavendish nach und ihm war klar, wenn es außer einer Luft auch eine brennbare Luft gab und die Luft mit der brennbaren Luft zu Wasser reagiert, können Luft oder das Wasser kein Element sein. Lavoisier arbeitete intensiv daran, die Phlogistontheorie zu Fall zu bringen. Um den Durchbruch der Oxidationstheorie zu fördern, veranstaltete Lavoisier ein Bühnenstück: Phlogiston wurde von Oxygen schwerer Verbrechen beschuldigt und geopfert. Lavoisiers Frau spielte dabei die Opferpriesterin. Gerne hörte man seine spannenden Ausführungen, bei dem er auch die Theorie vertrat, dass dem Körper hauptsächlich Kohlenstoff und Wasserstoff als Nahrungsmittel zugeführt werden, die vom Körper dann ohne Feuererscheinung verbrannt werden [2].

Lavoisier zeigte auch die heftige Reaktion zwischen Sauerstoff und Wasserstoff und die Bildung des künstlichen Wassers. Lavoisiers Labor war ein Theater der Experimentierkunst.

In der darauffolgenden Zeit sollten von weiteren Pionieren der Chemie in einem relativ kurzen Zeitraum viele weitere Elemente entdeckt werden.

Der deutsche Apotheker und Chemiker ***Martin Heinrich Klaproth*** entdeckte in den Jahren zwischen *1789-1798* die Elemente Uran (U), Zirkonium (Zr), Titan (Ti), Chrom (Cr) und Tellur (Te). Der schwedische Naturforscher und Chemiker ***Gustav von Ekeberg*** entdeckte 1801 das Element Tantal (Ta) und im gleichen Jahr entdeckte der englische Chemiker und Mineraloge ***Charles Hatchett*** das verwandte Element Columbium, welches aufgrund seiner ähnlichen Eigenschaften zu Tantal 1950 von der ***IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)*** in Niob (Nb) umbenannt wurde. 1803 entdeckte ***Jöns Jakob Berzelius*** das Element Cer (Ce) und ***Sir Humphry Davy*** gelang es 1807 durch Elektrolyse die Metalle Natrium (Na) und Kalium (K) zu gewinnen. ***Bernard Courtois*** entdeckte 1811 das Halogen Iod (I).

Im Jahr der Iodentdeckung stellten ***Joseph Louis Gay-Lussac*** und ***Louis Jacques Thénard*** unreines Silicium (Si) her. 1789 sagte bereits Lavoisier vorher, dass es sich bei Kieselsteinen um das Oxid eines Metalls handeln muss. 1824 gelang Berzelius die Darstellung des ***Siliziums*** (Si) und er erkannte auch den Elementecharakter. Er gab dem Element den Namen der sich aus dem lateinischen Silex für Kieselstein ableitet. Zwei Jahre danach kam noch ein Halogen hinzu. ***Antoine-Jérôme Balard*** entdeckte 1826 bei der Untersuchung von Braunalgen das Element ***Brom*** (Br) und es gelang ihm Brom zu isolieren. Er gab dem Element den Namen, aufgrund seines üblen Geruchs, denn der griechische Name ***bromos*** bedeutet Gestank.

Louis Jacques Thénard (1777-1857)

Man scheute keine Anstrengung neue Elemente zu finden, diese nachzuweisen, herzustellen und zu isolieren. Mit dem raschen Anwachsen bisheriger Erkenntnisse entstanden auch neue Methoden und neue Möglichkeiten. Kein Aufwand schien zu hoch. 1886 gelang schließlich dem französischen Chemiker ***Ferdinand Frederic Henri Moissan*** die elektrochemische Gewinnung von elementarem, reinem Fluor aus wasserfreier Flusssäure mit Kaliumfluorid in einer Platinapparatur bei minus 50° Celsius. Es war ein Meisterstück, denn Fluor ist das elektronenhungrigste von allen Elementen und reagiert spontan mit fast allen anderen Stoffen.

Zudem ist für Erzeugung aus reinem Fluorwasserstoff die Leitfähigkeit zu gering, deshalb musste Kaliumfluorit hinzugegeben werden. Außerdem muss die Lösung komplett wasserfrei sein, da sonst Sauerstoff entsteht. Für die Darstellung des Fluors erhielt Moissan 1906 den Nobelpreis für Chemie. Eine unglaubliche Leistung stellten auch die Arbeiten von Marie und Pierre Curie dar. Sie arbeiteten in einem barackenähnlichen Labor in monatelanger Schwerstarbeit Pechblende auf und konnten aus 500 kg Pechblende ca. 0,1 g eines neuen Elementes als Chlorid und Bromid gewinnen. Pierre und Marie erhielten 1903 zusammen mit ***Henry Becquerel*** den Nobelpreis für Physik. Pierre und Marie nannten das neue Element ***Radium***. Der lateinische Name Radius bedeutet Strahl. Der Name Radium wurde aufgrund der strahlenden radioaktiven Eigenschaft gewählt.

In diesem Zusammenhang ist die Betrachtung der Namensgebung der Elemente interessant. Die Namen der Elemente wurden und werden in der Regel entweder nach ihrem Vorkommen abgeleitet, nach den Eigenschaften der Elemente ausgewählt oder nach den Eigenschaften von Verbindungen abgeleitet. In einigen Fällen sind die Namen auch auf Länder oder Orte, die in Zusammenhang mit den Entdeckern oder Entdeckerinnen stehen, zurückzuführen. In Einzelfällen wurden die Namen auch direkt nach den Entdeckerinnen und Entdeckern oder verdienten Wissenschaftlern vergeben. Einige Namen von Elementen lehnen sich an mythologische Gestalten oder Himmelskörper an. Die Symbole der Elemente stehen in Zusammenhang mit dem jeweiligen Namen. Nachfolgend sind einige Beispiele angegeben.

Namen nach dem Vorkommen der Elemente

Kupfer (Cu) leitet sich aus Cuprum (lateinisch aes cyprium) ab. Es bedeutet Erz aus Zypern und wurde gewählt, weil auf Zypern in der Bronzezeit Kupfer abgebaut wurde. Helium erhielt seinen Namen, da der französische Astronom ***Jules Janssen*** 1886 ***Helium*** über eine neue Spektrallinie zuerst auf der Sonne entdeckte, helios ist eine altgriechische Bezeichnung für Sonne und die ersten Hinweise auf eine Existenz lieferte eine Linie im Sonnenspektrum **[7].**

Namen nach den Eigenschaften der Elemente

Iod (I) sublimiert schon bei Raumtemperatur und wurde nach der lila Farbe der Dämpfe benannt, denn ioeides ist das altgriechisches Wort für veilchenfarbig. Es ist das einzige nicht gefährliche Halogen und wird zum Kurieren von Hufpilzen bei Pferden eingesetzt. In der Medizin dient alkoholische Iodtinktur zur Desinfektion. Auch das Quecksilber erhielt seinen Namen auf Basis seiner Eigenschaften. ***Quecksilber*** (Hg) ist das einzige Metall, welches bei Raumtemperatur und Normaldruck als Flüssigkeit vorliegt. Nur das Halogen Brom ist bei Raumtemperatur und Normaldruck als Element außer dem Quecksilber flüssig. Fällt etwas von der silbernen Flüssigkeit Quecksilber auf eine feste Oberfläche, zerspringt das Quecksilber in sehr viel kleine Kügelchen (aufgrund der Grenzflächenspannung beziehungsweise den meist weitaus stärker ausgeprägten Kohäsionskräften im Vergleich zu den Adhäsionskräften). Die Kügelchen bewegen sich dann sehr schnell in alle Richtungen. Das deutsche Wort Quecksilber bedeutet lebendiges Silber (queck- bzw. quick-lebendig). In der englischen Sprache wird das Element Quecksilber Mercury genannt, denn Quecksilber wurde zur Zeit der Alchemie mit dem Symbol des Gottes Merkur dargestellt, denn Merkur ist der immer sehr bewegliche Götterbote und Gott der Händler und Diebe. Das Symbol Hg für Quecksilber leitet sich aus dem griechischen Wort hydrargyros (Wassersilber) ab.

Namen nach den Eigenschaften von Verbindungen in Anlehnung an die griechische Mythologie

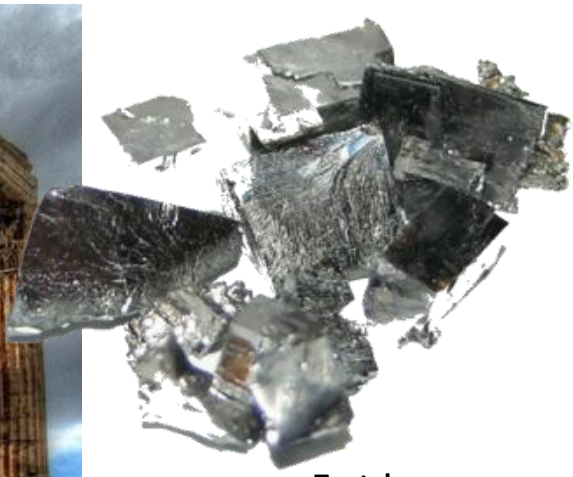
Das Element ***Tantal*** (Ta) erhielt seinen Namen aus der griechischen Mythologie. Das Oxid des Tantals (Ta_2O_5) ist in Säuren nicht löslich (nur Flusssäure HF bildet eine Ausnahme). Da das Oxid sich in Säuren nicht löst *"kann es seinen Durst nicht löschen"*. Um nun die Namensgebung zu verstehen, muss man etwas in die griechische Sagenwelt eintauchen.

Tantalos war ein mächtiger und sehr reicher König. Die Götter des Olymps versammelten sich bei Tantalos zu einem Gastmahl. Tantalos wollte die Allwissenheit der Götter prüfen. Er tötete deshalb seinen jüngsten Sohn Pelops und zerstückelte Pelops. Die Stücke ließ er in der Küche zubereiten und den Göttern als Mahl vorsetzen. Doch die Götter bemerkten die Freveltat (bis auf Demeter die zu verzweifelt über den Raub ihrer Tochter Persephone war und ein Schulterstück verspeiste). Die Götter warfen die Stücke von Pelops in einen Kessel und die Moire Klotho zog Pelops wieder lebendig hervor. Der verspeiste Schulterknochen wurde durch einen Knochen aus Elfenbein ersetzt.

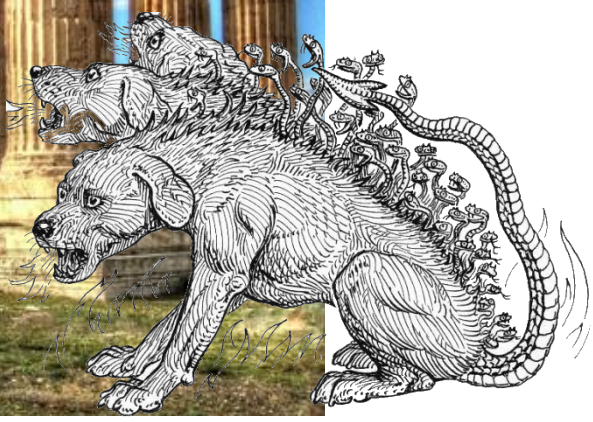
Zeus bestrafte Tantalos hart. Er verbannte ihn in die Unterwelt, wo er ewige Qualen erleiden musste. Tantalos konnte seinen großen Hunger dort nie stillen, obwohl Obstbäume in naher Reichweite waren, doch streckte er sich nach den Früchten, wurden die Zweige vom Wind weggedrückt. Im Wasser stehend konnte er seinen brennenden Durst nie löschen, bückte er sich um zu trinken, trocknete der See aus. Auch ***Tantaloxid kann seinen Durst nicht löschen***, da es sich in Säuren nicht löst. So rührt der Name des Elementes aus dieser blutigen Sage. Die Götter verfluchten die Nachkommen des Tantalos, so dass sich in jeder Generation von Tantalos‘ Nachkommen ein Mörder gegen die Sippe wendet und bis zur fünften Generation alle Nachkommen des Tantalos in eine unheilvolle Folge von Gewalt und Verbrechen stürzen (Tantalidenfluch).

Niob (Nb) und Tantal stehen in der gleichen Nebengruppe und das Element Niob ist dem Tantal in seinen Eigenschaften sehr ähnlich. Aus diesem Grund wurde das Element, was ursprünglich mit Columbium bezeichnet wurde (da es in dem Erz Columbit vorkommt) nach Niobe, der Tochter des Tantalos mit Niob bezeichnet. Columbium wurde bereits 1801 durch ***Charles Hatchett*** entdeckt, aber erst 1950 wurde Columbium von der IUPAC in Niob umbenannt.

Niobe mit ihrer Tochter



Tantal



Kerberos bewacht den Eingang zur Unterwelt

Die patriotischen Elemente

Wegen der Benennung nach Nationen werden die Elemente Gallium (Ga), Scandium (Sc) und Germanium (Ge) scherzhaft die ***patriotischen Elemente*** genannt, da sie nach Nationen benannt wurden, aus denen die Entdecker stammten **[3]**. 1875 stellte der französische Chemiker ***Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran*** elementares Gallium her. 1879 wurde Scandium von dem schwedischen Chemiker ***Lars Fredrik Nilson*** entdeckt. Er benannte es zu Ehren seiner Heimat. 1886 gewann der deutsche Chemiker ***Clemens Winkler*** das Germanium (Ge).

Namen nach dem Heimatland der Entdeckerin:

Der Name des Elementes ***Polonium*** (Po) lässt sich auf das Heimatland der Entdeckerin Marie Curie zurückführen. Die in Polen geborene Marie Sklodowska postulierte das Element zusammen mit ihrem Mann Pierre Curie bereits 1998. Für die Entdeckung und Charakterisierung von Polonium und Radium erhielt Marie 1911 den Nobelpreis für Chemie. Die Existenz von Francium wurde 1871 von **Dmitri Iwanowitsch Mendelejew** vorhergesagt, aber erst 1939 von Marguerite Perey als letztes der nicht künstlichen Elemente nachgewiesen [25].

Namen nach Entdeckern oder verdienten Wissenschaftlern

Einsteinium (Es) mit der Ordnungszahl 99 ist ein radioaktives Metall, welches 1952 nach dem Test der ersten amerikanischen Wasserstoffbombe entdeckt wurde. Es wurde ***Albert Einstein*** zu Ehren benannt. Einstein hatte allerdings nichts mit der Erforschung oder Entdeckung dieses Elementes zu tun, mit großer Wahrscheinlichkeit hätte er sich auch nicht an der Entwicklung der Wasserstoff-bombe beteiligt.

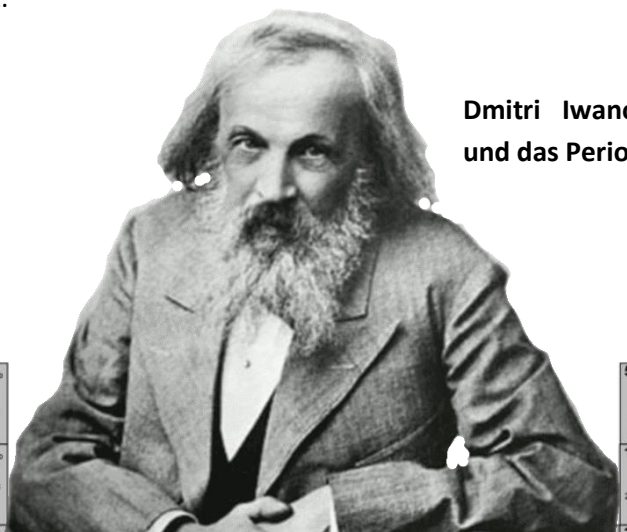
Das künstliche Element ***Meitnerium*** (Mt) mit der Ordnungszahl 109 wurde erstmals 1982 (und dann nochmals im Februar 1988) bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt durch den Beschuss von Bismut mit Eisen erzeugt. Es trug zunächst den Namen Unnilennium (Symbol Une), seit 1997 trägt es schließlich den aktuellen Namen, benannt nach ***Lise Meitner***, der bedeutenden österreichischen Kernphysikerin. Zusammen mit ***Otto Hahn*** war sie 1959 auch Namensgeberin des Hahn-Meitner-Instituts für Kernforschung in Berlin.

Das künstliche Element mit der höchsten Ordnungszahl 118, die bis 2017 nachgewiesen werden konnte, wurde bis zur endgültigen Namensgebung zunächst als Unnunoctium (UUo) bezeichnet und später nach dem Mitentdecker und russischen Institutsleiter ***Juri Z. Oganesjan*** als Oganesson (Og) bezeichnet.Es sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass Heavy Metal-Fans den 2015 gestorbenen Motörhead-Gründer ***Lemmy Kilmister*** 2016 im Periodensystem verewigen wollten. Eines von vier neu gefundenen Schwermetallen sollte als Lemmium bezeichnet werden. Mehr als 70.000 Menschen hatten hierfür innerhalb weniger Tage eine Online-Petition unterschrieben **[8]**. Keines der Elemente wurde als Lemmium bezeichnet. Element 113 wurde als Nihonium (Nh) (Nihon ist der Eigenname von Japan und bedeutet Land der aufgehenden Sonne), Element 115 wurde mit Moscovium (Mc) (Moskau), Element 117 als Tennessine (Tennessee) und Element 118 als Oganesson (nach Juri Z. Oganesjan) bezeichnet.

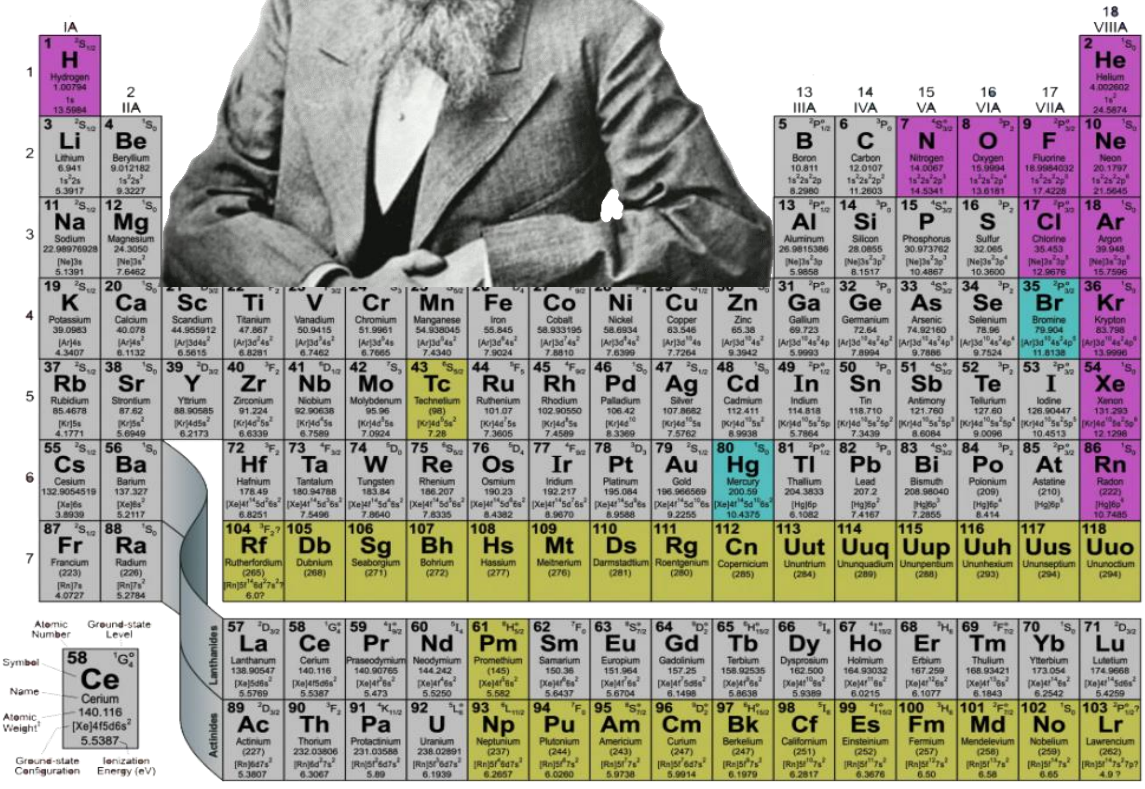
Die Einordnung der Elemente in ein sinnvolles System stellte im 19. Jahrhundert eine Herausforderung für sich dar. Die Gesetzmäßigkeiten, nachdem aus Atomen Moleküle gebildet werden, waren 1810 noch nicht bekannt. Zunächst versuchte man die Eigenschaften der Elemente in Zusammenhang mit der atomaren Masse zu bringen. Die chemischen Reaktionen konnten aber nicht in einfacher Weise mit den atomaren Massen erklärt werden. Manche Elemente waren sich in der atomaren Masse sehr ähnlich, reagierten aber in völlig unterschiedlicher Weise und bildeten mit ganz unterschiedlichen anderen Elementen auch andere Verbindungen mit anderen Eigenschaften.

Der deutsche Chemiker ***Johann Wolfgang Döbereiner*** entdeckte 1816 einen Zusammenhang zwischen den Elementen Calcium (Ca), Strontium (Sr) und Barium (Ba). Diese Elemente haben sehr ähnliche Eigenschaften, wobei die Atommasse von Strontium etwa dem Mittelwert der Atommassen der Elemente Calcium und Barium entspricht. Diese Erkenntnis wurde 1829 in seiner Arbeit "***Versuch zu einer Gruppierung der elementaren Stoffe nach ihrer Analogie"*** veröffentlicht. Döbereiner ordnete 30 von damals 53 bekannten Elementen in Dreiergruppen, den sogenannten ***Triaden*** an **[6]**. Mit der von ihm erstellten ***Triadenregel*** konnten Voraussagen über noch nicht bekannte Elemente gemacht werden und Döbereiner sagte die atomare Masse des Broms vorher. Die Triadenregel bildete bereits eine Grundlage für das spätere ***Periodensystem der Elemente***. Der englische Chemiker ***John Alexander Reina Newlands*** sagte 1864 vorher, dass sich bei Anordnung der Elemente nach steigender Atommasse die chemischen Eigenschaften in jeder achten Position wiederholen. Er verglich diese Anordnung mit den Oktaven aus der Musik und nannte sie das ***Gesetz der Oktaven*** [6]**.**

1869 wurde unabhängig voneinander von dem deutschen Chemiker ***Lothar Meyer*** und dem russischen Chemiker ***Dmitri Iwanowitsch Mendelejew*** das erste Periodensystem der Elemente vorgestellt. In Russland wird das Periodensystem auch heute noch als ***Tabliza Mendelejewa*** bezeichnet.



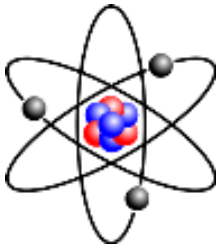
Dmitri Iwanowitsch Mendelejew 1837-1907 und das Periodensystem der Elemente



Die Chemiker ordneten die damals bekannten Elemente nach steigender Atommasse und nach ihrer Verhaltensähnlichkeit bei chemischen Reaktionen in verschiedene Intervalle ein, wobei sich die Eigenschaften von Elementen mit einer gewissen Periodizität wiederholen.

Mit dieser Anordnung konnte bereits die Existenz von bisher noch nicht bekannten Elementen postuliert werden. **Mendelejew** sagte sogar die Eigenschaften von noch unbekannten Elementen wie dem damals vorausgesagten Eka-Aluminium (heute Gallium) voraus.

1913 erstellte der britische Physiker ***Henry Moseley*** das nach ihm benannte ***Moseleysche Gesetz.*** In dem Gesetz ist ein Zusammenhang zwischen der Ordnungszahl eines Elementes und den Frequenzen von charakteristischen Spektrallinien elektromagnetischer Strahlung dargestellt. Aus dem Gesetz geht hervor, dass nicht die Atommasse, sondern die Ordnungszahl (Anzahl von Protonen = Kernladungszahl) die Reihenfolge der Elemente im Periodensystem festlegt. Nach dieser Entdeckung konnte damals die exakte Anzahl der damals noch unbekannten Elemente (die noch bestehenden Lücken) im Periodensystem vorhergesagt werden. So wurde auf das noch fehlende Element Rhenium aufmerksam gemacht [6]. Durch die Klärung der atomaren Strukturen und die weitere Entwicklung von Orbitalmodellen konnte dann auch eine Erklärung für die Periodizität gefunden werden.



Auf atomarer Ebene

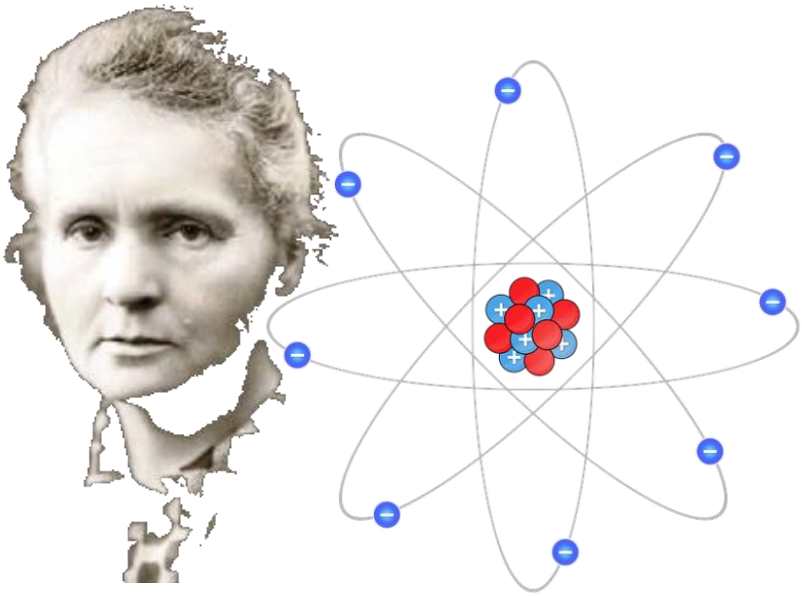
Ein erstes Atommodell reicht bereits bis in die Antike zurück. Die griechischen Philosophen ***Leukipp*** und ***Demokrit*** begründeten den Atomismus schon im fünften und vierten Jahrhundert vor Christus. Demokrit postulierte, dass die gesamte Natur aus Atomen, kleinsten unteilbaren Einheiten besteht, die Atome genannt werden (atomoi bedeutet unteilbar). Demokrit glaubte, dass Eigenschaften wie Farben oder Geruch und Geschmack durch die Verflechtung von unterschiedlichen kleinsten unteilbaren Teilchen zustande kommen, wobei alle Teilchen fest und massiv, aber unterschiedlich sind und die Wirklichkeit aus der Ansammlung solcher Atome im leeren Raum besteht. Durch die Verflechtung der unterschiedlichen Atome (kugelförmige, eckige, glatte Atome….) entstanden nach Demokrit Erscheinungsformen wie Feuer, Wasser oder Pflanze. Auch Sinneswahrnehmungen führte Demokrit auf atomistische Prinzipien zurück.

Viel später sollte aber als eigentlicher Schöpfer der Atomtheorie der britische Schullehrer ***John Dalton*** in die Geschichte eingehen, vielleicht, weil er die Atomtheorie bezüglich der Definition von Elementen und den Ablauf von chemischen Reaktionen schon nahezu in Einklang mit den Vorstellungen der modernen Chemie brachte.

John Dalton war ein Naturforscher, Privatgelehrter und Autodidakt auf dem Gebiet der Naturwissenschaften im 19. Jahrhundert. 1803 postulierte Dalton, dass jedes chemische Element aus Atomen besteht [16], die untereinander in ihrer Art, Masse und Gestalt gleich sind. 1804 erweiterte er die Theorie und vertrat die Ansicht, dass sich chemische Verbindungen nach einfachen, ganzzahligen Zahlenverhältnissen bilden [2]. Dieses Gesetz ist heute als ***2. Daltonsches Gesetz*** oder als das ***Gesetz der multiplen Proportionen*** bekannt. Nach der Atomhypothese von Dalton dauerte es noch fast 100 Jahre, bis auch die Vorstellung der Unteilbarkeit von Atomen fiel.

Dem böhmisch-österreichischen Physiker ***Josef Loschmidt*** gelang es 1865 die Anzahl der Moleküle in einem Volumen von 1 m^3 Gas zu bestimmen. Damit wurde auch klar wie unvorstellbar klein Atome und Moleküle sein mussten. Loschmidts Schüler ***Ludwig Boltzmann*** nannte die Anzahl der Moleküle die sich bei Normbedingungen in einem Kubikmeter Gas befinden ***Loschmidtzahl L***, die mit einem Wert zu $L=2{,}687 \cdot 10^{25}\ m^{-3}$ angegeben wird. Der deutsch-baltische Chemiker und Philosoph ***Wilhelm Ostwald*** führte aus praktischen Gründen 1893 den Begriff Mol ein und der französische Physiker und Nobelpreisträger ***Jean-Baptiste Perrin*** schlug 1909 vor, die Zahl der Teilchen in einem Mol als ***Avogadrozahl*** zu bezeichnen. Perrin bestimmte diese Konstante und die Bezeichnung hat sich bis heute durchgesetzt. Die Avogadrozahl wird heute mit $6{,}022 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$ angegeben. Die Chemie trat also am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts in die nicht mehr wahrnehmbare, unsichtbare Welt kleinster Dimensionen und in den Kosmos unvorstellbar großer Anzahlen ein. Die weiteren Ereignisse sollten sich dann am Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts geradezu überschlagen.

1898 zeigte die Entdeckung der Radioaktivität durch den französischen Physiker ***Henri Becquerel*** und die Arbeiten von ***Pierre*** und ***Marie Curie***, dass schwere Atome nicht stabil sind. Das Postulat der Unteilbarkeit fiel (griechisch: atomos=unteilbar). In monatelanger Schwerstarbeit gelang es dem Ehepaar Curie in einem barackenähnlichen Labor aus zwei Eisenbahnwaggons Pechblende ca. 100 mg Radiumbromid zu gewinnen. 1903 erhielten die Curies zusammen mit Becquerel den Nobelpreis für Physik und im gleichen Jahr bestätigte der neuseeländische Physiker ***Ernest Rutherford***, dass chemische Elemente durch radioaktiven Zerfall in Elemente mit kleineren Ordnungszahl übergehen können und er teilte die Strahlung in α-Strahlung, β-Strahlung und γ-Strahlung ein. Die Entdeckungen waren eine Sensation, denn sie warfen die bisherige Vorstellung des unteilbaren Atoms völlig über den Haufen. Es war ein Erdbeben für die so junge Wissenschaft Physik und gerade geborene Wissenschaft Chemie.



Marie Curie 1867-1934

Die Fachwelt hatte sich kaum erholt und war noch völlig außer Atem, und die nächste Sensation sorgte wieder für einen Schockzustand. 1906 zeigten die Streuversuche von Ernest Rutherford, dass das Atom fast leer ist [6]. Ein Kernteilchen, also ein Proton oder ein Neutron, hat etwa die 1800-fache Masse eines Elektrons, dennoch ist die Elektronenhülle im Vergleich zu dem massiven winzigen Kern gigantisch. Wäre der Kern so groß wie eine Murmel mit einem Durchmesser von 1 cm, dann hätte die Elektronenhülle einen Durchmesser von ca. 100 m.

Rutherford entdeckte diese fast massenlose riesige Hülle im Vergleich zu dem winzigen Massekern durch Bestrahlung einer sehr dünnen Goldfolie mit Heliumkernen. Fast alle Heliumkerne konnten durch die Goldatome ungehindert durchstrahlen, nur wenige kollidierten mit den winzigen Goldkernen. Rutherford wurde 1908 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

Nur zwei Jahre später veröffentlichte 1910 ***Robert Andrews Millikan*** seine Arbeit zur Bestimmung der Elementarladung (er bestimmte experimentell die Ladung der Elektronen).

Die Erkenntnis, dass selbst Elemente nicht stabil sein müssen und Atome zerfallen können, wobei verschiedene Arten von Strahlung entstehen und die Beobachtungen von Spektrallinien aus Atomspektren des Wasserstoffs bereiteten den Anfang für revolutionäre Arbeiten auf dem Gebiet der theoretischen Physik zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts.

Dieser Ruck in der theoretischen Physik sollte für die Entwicklung der Chemie eine ungeheure Bedeutung bekommen. Das heutige Verständnis der chemischen Bindung und die Einordung der Atome in das Periodensystem mit Zuordnung von 4 Quantenzahlen für jedes Elektron, sind Ergebnisse dieser neu entwickelten Atomtheorien.

Alle Fakten deuteten 1903 darauf hin, dass die Elektronen den Atomkern nicht wie Bienen umschwirren. Die definierten Linien im Spektrum des Wasserstoffs waren Indizien für eine bestimmte Ordnung. Es lag ein Planetenmodell nahe, aber nach der klassischen Physik müssten die bewegten Elektronen Energie abstrahlen und in den Kern stürzen. Der dänische Physiker ***Niels Bohr*** stellte damals die folgenden drei Postulate auf:

1) Elektronen bewegen sich auf festgesetzten Umlaufbahnen um den Kern, dabei strahlen sie keine Energie ab.

2) Der Bahnendrehimpuls auf einer stationären Bahn beträgt ein ganzzahliges Vielfaches von $h/2\pi$. (mit dem Planckschen Wirkungsquantum $h=6{,}626\cdot10^{-34}$ J· s als Konstante)

3) Die Energie eines Photons entspricht der Differenz der Energie eines Elektronenübergangs zwischen den Bahnen.

Auf Basis dieser Postulate entwickelte er eine Gleichung, mit der die Wellenzahlen der Spektrallinien im Wasserstoffspektrum exakt berechnet werden konnten und die Ergebnisse stimmten mit den Spektren aus Experimenten überein.

Nach dem Bohrschen Atommodell gab es für die Elektronen im Atom bereits kein mögliches Energiekontinuum mehr. Die Elektronen konnten nach diesem Modell bereits nur bestimmte Energieniveaus einnehmen, zwischen denen sie bei Wechselwirkung mit elektromagnetischer Strahlung “hin und her springen“ können. Durch den Übergang eines Elektrons von einer äußeren Kreisbahn auf eine um den Kern näher gelegene Kreisbahn, wird die Energiedifferenz in Form von elektromagnetischer Strahlung abgegeben, die einer bestimmten Spektrallinie entspricht.

Nach dem Bohrschen Atommodell wurden die Energieniveaus der Elektronen bereits mit Quantenzahlen beschrieben, den ganzen Zahlen 1,2,3…, die den Bahnen der Elektronen entsprechen.

1925 formulierte der Physiker ***Wolfgang Ernst Pauli*** das Ausschließungsprinzip. Danach müssen sich alle Elektronen eines Atoms voneinander unterscheiden, keines gleicht einem anderen. Damit war auch die Hyperfeinstruktur von Spektrallinien erklärbar. Im gleichen Jahr entwickelte der Physiker ***Friedrich Hermann Hund*** die nach ihm benannten Hundschen Regeln zur Reihenfolge der Füllung von Atomorbitalen im Hinblick auf die Spinquantenzahl.

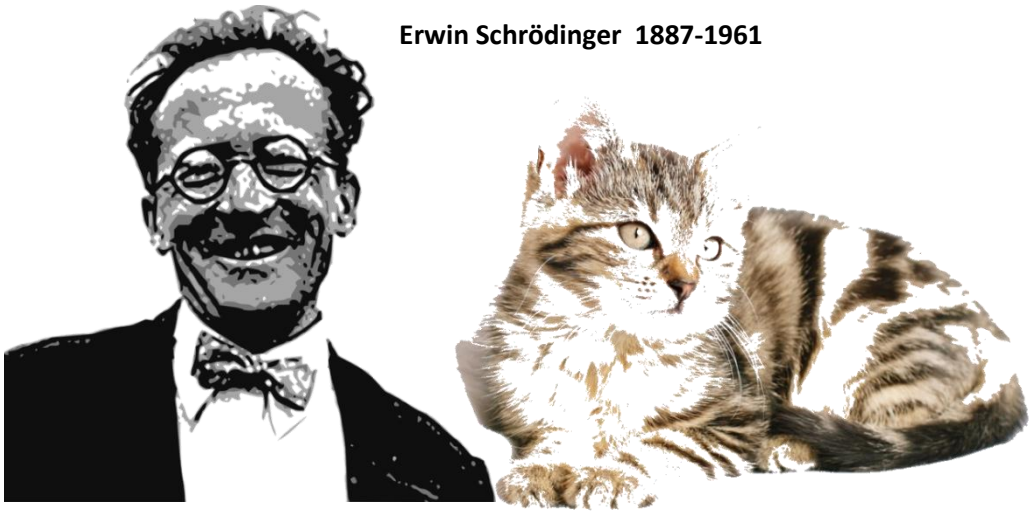
Pauli war ein Perfektionist und als das "*Gewissen der Physik"* bekannt. Am Tage arbeitete der österreichische Nobelpreisträger auf dem Gebiet der theoretischen Physik und formulierte schonungslose Kritiken an den Arbeiten seiner Freunde, Kollegen und Fachautoritäten wie ***Albert Einstein***. Abends und in der Nacht war Pauli in Hamburg auf St. Pauli unterwegs und nach so manchen Alkoholexzessen in entsprechende Streitereien verwickelt. Bei den Experimental-physikern kursierte der sogenannte Pauli-Effekt, nach dem durch das bloße Erscheinen Paulis angeblich alle Laborgeräte versagten. Pauli war einer der bedeutendsten Physiker des 20. Jahrhunderts, ein Genie auf dem Gebiet der theoretischen Physik, aber kein Praktiker.

1926 formulierte ***Werner Karl Heisenberg*** die nach ihm benannte ***Heisenbergesche Unschärferelation***. Er erhielt für die Begründung der Quantenmechanik 1932 den Nobelpreis der Physik. Nach der Heisenbergschen Unschärferelation sind zwei komplementäre Eigenschaften eines Elektrons wie Ort und Impuls nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmbar. Wird eine der Größen gemessen, verändert sich die andere Größe.

Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie, ein französischer Physiker**,** erhielt 1929 für die Entdeckung der Wellennatur des Elektrons den Nobelpreis für Physik.

In den zwanziger Jahren beschäftigte sich auch der österreichische Physiker ***Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger*** mit der Wellenmechanik. 1926 entwickelte Schrödinger die nach ihm benannte Gleichung. Er erhielt zusammen mit ***Paul Dirac*** 1933 den Nobelpreis für Physik.

Mit der ***Schrödingergleichung*** wird dem Elektron ein Wellencharakter zugeschrieben, wobei aus den Randbedingungen der Differentialgleichung die Quantenzahlen für die Elektronen resultieren. Die Orbitale als Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen waren geboren.



Erwin Schrödinger 1887-1961

Das von Schrödinger 1935 entworfene Gedankenexperiment ***Schrödingers Katze*** wurde weltberühmt. Es zeigt die Problematik der Übertragung der quantenmechanischen Zustände in die makroskopische Welt.

Schrödinger dachte sich eine Mechanik in einem abgeschlossenen Kasten aus, bei der der radioaktive Zerfall eines Atoms einen Hammerschlag auslöst, der eine Ampulle mit Gift zerschlägt, wodurch eine Katze, die sich ebenfalls in dem Kasten befindet getötet wird. Aus quantenmechanischer Sicht befindet sich das Atom in einer Überlagerung zweier Zustände (zerfallen/nicht zerfallen), den man ***Superposition*** nennt. Demnach wäre die Katze, solange man den Kasten nicht öffnet in einem Zustand zwischen tot und lebendig. Eine solche Superposition der Katze ist nicht vorstellbar **[14]**.

1921-1933 legte ***Max Born*** mit der statistischen Interpretation der Quantenmechanik das Fundament für die Weiterentwicklung der Quantentheorie. Durch die Quantenmechanik wurde es auch möglich, die chemische Bindung zu verstehen. 1954 erhielt Max Born für seine grundlegenden Beiträge zur Quantenmechanik den Nobelpreis für Physik.

1927 wurde die so genannte ***Kopenhagener Deutung*** ausgesprochen. Dabei handelt es sich um eine Deutung der Wellenfunktion. Sie wurde von ***Niels Bohr*** und ***Werner Heisenberg*** formuliert und basiert auf den Arbeiten von ***Max Born***. In Kopenhagen wurde diese Interpretation dann von ***Werner Heisenberg*** und ***Erwin Schrödinger*** weiterentwickelt und interpretiert. Nach der Kopenhagener Deutung befindet sich das Elektron als Teilchen nicht an einem bestimmten Ort, sondern gleichzeitig an allen Orten, an denen die Wellenfunktion nicht Null ist. Das Betragsquadrat der Wellenfunktion wird dabei als eine Wahrscheinlichkeitsverteilung gedeutet. Erst im Moment einer Ortsmessung bricht die Wellenfunktion zusammen und es entsteht dann ein Teilchen an einer bestimmten Stelle.

Albert Einstein konnte sich der Wahrscheinlichkeitsbetrachtung der Wellenfunktion nie anschließen. Er vermutete, dass die Quantenmechanik nicht die vollständige Beschreibung der Natur abbildet, sondern dass weitere Variablen hinter der Wellenfunktion stecken. Der berühmte Satz Einsteins hierzu lautet: ***"Gott würfelt nicht."***

Die Quantenmechanik mit den Wellenfunktionen und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Elektronen setzte sich aber schließlich durch und bildet das Fundament für die Orbitalmodelle und die Theorien zur chemischen Bindung in der heutigen modernen Chemie.

Kopenhagen mit dem Wahrzeichen "Die kleine Meerjungfrau"

Soda, Schwefelsäure, Ammoniak und Chlor stellen mit Produktionen von jeweils mehreren Millionen Jahrestonnen vier Säulen der modernen chemischen Industrie dar. die Geschichte der großen Produkte und die industrielle Entwicklung ist in dem Buch **Chemie, Eine illustrierte Geschichte [4]** gut beschrieben.

Der Schrei nach Soda

Bereits 1755 hatte die Académie française einen Preis von 12.000 Livres für die Person ausgesetzt, der es gelang Soda aus Meersalz künstlich zu erzeugen. Es war eigentlich kein Aufruf, sondern eher ein Notruf. Dieser Notruf entstand aus dem riesigen Mangel an Soda, denn Natriumcarbonat wurde in vielen Bereichen in großen Mengen benötigt, und der Bedarf konnte bei weitem nicht mehr gedeckt werden [2]. Soda war schon zu dieser Zeit ein heiß begehrter Rohstoff, es wurde von den Bleichereien benötigt und zum Waschen, Gerben, Färben und Bedrucken von Geweben verwendet. Die Seifensieder nutzten Soda zur Seifenherstellung und die Glasmacher konnten ohne Soda kein Glas schmelzen. Die Tuchmacher des Landes wandten sich an das höchste Gremium der französischen Wissenschaft und baten um Hilfe, da ihre Existenz bedroht war. Sie benötigten große Mengen an Kaliumcarbonat, welche durch Auslaugen von Holzasche in großen Behältern gewonnen wurden. So wird Kaliumcarbonat noch heute als Pottasche bezeichnet. Die Asche wurde von Aschenbrennern in völlig unwirtschaftlichen Verfahren hergestellt. Für 1 kg Holzasche mussten 300 kg Eichenholz verbrannt werden und Europas Wälder schrumpften, denn Holz wurde auch für den Schiffsbau, für die Papierherstellung und für die Beheizung von Gebäuden benötigt. Es war der französische Wundarzt ***Nicolas Leblanc*****,** der das Preisausschreiben gewann. Er entwickelte ein preisgünstiges Verfahren zur Gewinnung von Soda. Le Blanc hätte ein reicher Mann werden können, doch tragische Umstände führten ihn in das Armenhaus [2].

Leblanc erhielt die Unterstützung des ***Herzogs von Orléans***, der ihm einen Platz im Laboratorium seines Freundes ***Dacret*** vermittelte. Zusammen mit dem Vorlesungsassistenten ***Dize*** entwickelte Leblanc nach vier Jahren das nach ihm benannte Verfahren.

In dem Patent, dass Leblanc hinter dem Rücken des Miterfinders Dize anmeldete, findet sich das folgende Rezept zur Sodaheerstellung (wörtlich zitiert aus [2]):

"Man nehme

100 Pfund Glaubersalz (hergestellt aus Meersalz und Vitriolöl)

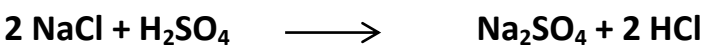
100 Pfund Kreide von Meudon und

50 Pfund Kohle

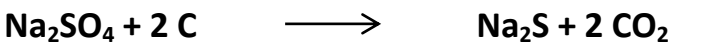
Die Mischung wird auf eisernen Walzen gepulvert und in einem Flammofen aus feuerfesten Steinen ausgebreitet. Bei erhitzen auf helle Rotglut schäumt die Masse auf und verwandelt sich in das rohe Soda. Die Schmelze kann in Formen aufgefangen werden. Nach dem Erkalten wird die Masse zerkleinert und mit Wasser ausgelaugt. Der lösliche Teil ist reines Soda. Es wird in 50 Kilo schweren Blöcken in den Handel gebracht."

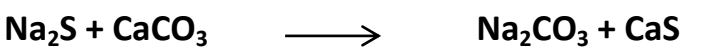
Nicolas Leblanc 1742-1806

Nach dem ***Leblanc – Verfahren*** wird aus technischem Natriumchlorid (Meersalz) mit heißer Schwefelsäure (Vitriolöl) zunächst Natriumsulfat gewonnen (***Glaubersalz***). Diese Gewinnung von Natriumsulfat wurde bereits 100 Jahre zuvor von ***Johannes Glauber*** entdeckt.



Der eigentliche Beitrag von Leblanc und Dize liegt in dem Brennen des Natriumsulfates mit Kalk (Kreide aus Meudon) und Kohle:





Der Herzog von Orléans investierte 200.000 Franc und Leblanc begann mit dem Bau einer Sodafabrik in der Nähe von Paris. Als Dize erfuhr, dass er übergangen wurde, gab es heftigen Streit um die Patentrechte. Nach einer schriftlichen Einigung zwischen Leblanc und Dize arbeiteten diese wieder zusammen und der Sodaproduktion stand eigentlich nichts mehr im Weg [2].

1791 wurde das Patent für 15 Jahre erteilt und die tägliche Sodaproduktion betrug 250 kg bis 300 kg Soda pro Tag. Leblanc war am Ziel seiner Wünsche. Sein Finanzier und Teilhaber, der Herzog von Orléans, wurde aber ein Opfer der französischen Revolution. Obwohl der Herzog ein Verfechter und Förderer der Revolution war, selbst Mitglied der radikalen Jakobiner, für den Tod Ludwig des XVI stimmte und seinen Herzogtitel ablegte, wurde er vom Wohlfahrtsausschuss verhaftet, zum Tode verurteilt und 1793 guillotiniert. Nachdem der Sohn des Herzogs zum österreichischen Feind übergelaufen war, vermutete man in dem Herzog einen Verräter und man hatte Angst, der Herzog wollte die Nachfolge des französischen Königs anstreben.

Alle herzoglichen Güter wurden eingezogen und verkauft, darunter auch die Sodafabrik. In den unsicheren Zeiten wollte niemand die Fabrik kaufen und sie wurde schnell geschlossen. Der Wohlfahrtsausschuss annullierte Leblancs Patent und verlange von dem Erfinder die Produktionsgeheimnisse herauszugeben. Eine Entschädigung bekam Leblanc nie und an die von der Akademie ausgelobten 12.000 Livre war nicht mehr zu denken, denn die Akademie war inzwischen aufgelöst worden [2].

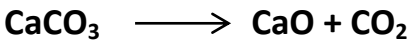
Traurig kehrte Leblanc zu seiner kranken Frau zurück und musste zusehen wie die menschenleere Sodafabrik verfiel. Als er seine Familie nicht mehr ernähren konnte kam Leblanc in das Armenhaus, wo er seinem Leben mit einer Pistole 1806 ein Ende setzte. Berühmt wurde das nach ihm benannte Verfahren. 50 Jahre nach seinem Tod wurden seine Nachkommen von Napoleon III. großzügig entschädigt [2].

Durch die politischen Wirren in Frankreich kam Frankreich nicht zum Nutzen des dort erfundenen Verfahrens zur Sodaproduktion, sondern zuerst England. Der Ire ***James Muspratt*** gehörte zu den englischen Unternehmerpersönlichkeiten mit Weitblick [2]. 1823 wurde die englische Salzsteuer aufgehoben und der Unternehmer gründete die erste Sodafabrik in Liverpool. Es folgen Sodafabriken in anderen englischen Städten mit bisher nicht bekanntem Ausmaß. Um 1825 betrug die Sodaproduktion in ganz England 100 Tonnen pro Woche. Und 1850 lag die Produktion von Soda in England bereits bei 5.000 Tonnen pro Woche [4].

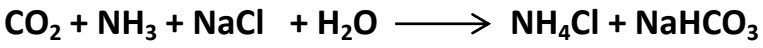
Mit der durch Wasserkraft betriebenen Spinnmaschine (1769) und dem ersten mechanischen Webstuhl (1784) war die englische Textilindustrie in die Industrialisierung getreten, auch die Glashütten und die Seifensieder zogen Vorteile aus dem nun zugänglichen Soda und die Nachfrage nach Soda stieg. 1862 verarbeitete die englische Sodaindustrie 255.000 Tonnen Kochsalz und 580.000 Tonnen Kalkstein [4].

Mit dem Erfolg des Leblanc-Verfahren vielen aber auch große Mengen an unerwünschten Nebenprodukten an. Zunächst war das Verfahren sehr umweltschädigend, denn es entwich Chlorwasserstoffgas und aus dem auf Halden gekippten Calciumsulfid entstand nach Verwitterung giftiger Schwefelwasserstoff. Man fand später Möglichkeiten den Chlorwasserstoff als Nebenprodukt zu gewinnen.

Nach 1860 wurde das Leblanc-Verfahren vom ***Solvayverfahren*** zur Gewinnung von Soda immer weiter verdrängt. Das sogenannte Ammoniak-Sodaverfahren wurde 1860 von ***Ernest Solvay*** entwickelt. Im ersten Verfahrensschritt wird Kalk zu Calciumoxid bei über 900°C gebrannt [12].

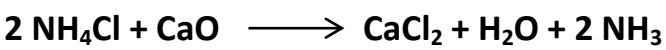


Ammoniak wird dann unter Kühlung in eine gesättigte Natriumchloridlösung geleitet und bei 50°C Kohlenstoffdioxid zugeführt, wobei Natriumhydrogencarbonat entsteht, ausfällt und von der Ammoniumchloridlösung getrennt wird.



Im dritten Schritt wird das Natriumhydrogencarbonat auf 170-180°C erhitzt, wobei Kohlenstoffdioxid entweicht und Soda entsteht. Das Kohlenstoffdioxid wird dem Prozess immer wieder zurückgeführt [12].

Im letzten Schritt wird das Ammoniak wiedergewonnen und dem zweiten Schritt zugeführt.



Als letztes Nebenprodukt entsteht beim Solvay-Verfahren Calciumchlorid, das trotz des hohen Energieaufwandes in zunehmendem Maße aus den Ablaugen zurückgewonnen wird oder zu Gips verarbeitet wird, früher jedoch großenteils in die Abwässer geleitet wurde [13].

Die Natursodagewinnung gewinnt heute wegen des niedrigen Energiebedarfs und einer geringen Umweltbelastung zunehmend an Bedeutung. In den USA wird seit 1985 reines Soda durch Löseprozesse, Reinigungsprozesse und Eindampfprozesse hergestellt. Auch in Kenia, Mexico und anderen Staaten wird heute Natursoda gewonnen. Mit neu entwickelten Verfahren findet ein Übergang vom bergmännischen Abbau auf die Gewinnung von Soda in wässriger Lösung statt (solution mining) [13].

Die Sodaindustrie ist der größte Verbraucher an Kalk [12]. Die Weltjahresproduktion an Soda betrug 1990 32,4 Mio. Tonnen pro Jahr, davon entfielen 9,6 Millionen Tonnen auf Natursoda, der Rest wurde synthetisch hergestellt [13]. Ohne die entwickelten Herstellungsverfahren für Soda, wäre die Geschichte der weltweiten Industrialisierung sicher anders verlaufen, denn Natursoda kann den weltweiten Bedarf alleine nicht decken.

Die **Schwefelsäure** ist eine sehr frühe Grundchemikalie in der Geschichte der Chemie. Die Produktionsmengen für Schwefelsäure galten lange Zeit als ein Indikator für den Leistungsstand der chemischen Technik eines Landes. Bei vielen Verfahren wird Schwefelsäure verwendet, sie ist einer der in größten Mengen produzierten Chemikalien der Welt und wird deshalb auch als ***das Blut der Chemie*** bezeichnet. Da in jüngerer Zeit eine Reihe von großtechnischen Verfahren umgestellt worden sind und diese ohne Schwefelsäure auskommen, ist die Weltproduktion seit 1990 wieder gesunken. Die Gesamtproduktion betrug 1960 etwa 50 Millionen Tonnen pro Jahr, 1985 149,3 Millionen Tonnen pro Jahr, 1990 156,8 Millionen Tonnen pro Jahr und 1993 135,3 Millionen Tonnen pro Jahr [13].

Wann die Schwefelsäure entdeckt wurde ist nicht bekannt. Den ersten schriftlichen Hinweis auf eine Arbeitsvorschrift zur Herstellung von Schwefelsäure findet man von ***Andreas Libavius*** der in seinen Schriften ***Alchemia*** und ***De aquis mineralibus*** 1597 die Darstellung aus Vitriolen (Sulfaten) und Schwefel erwähnt [4].

Durch das Feuersetzen in Bergwerken sammelte sich mit der Zeit Staub aus Sulfiderzen, Asche und Ruß an Decken und Wänden, durch die später warmes Wasser sickerte. Dabei bildete sich eine schwefelsaure Lösung und an den Stollenwänden entstanden bunte Krusten aus Eisensulfat, Kupfersulfat, Zinksulfat, Eisen- und Manganhydroxiden und anderen Mineralen. Diese Krusten wurden in sogenannten Vitriolhütten verarbeitet, die ab dem 16. Jahrhundert in der Nähe entsprechender Bergwerke entstanden. Die Krusten wurden in Wasser gelöst, die Lösung geklärt und eingedampft, um die Sulfate zu erhalten. Für die Herstellung von Schwefelsäure erhitzte man die gewonnenen Sulfate in einer Retorte. Dabei entsteht gasförmiges Schwefeltrioxid, das sich mit Wasser zu Schwefelsäure verbindet. In der Retorte bleiben Metalloxide zurück **[15]**.

$$CuSO_4 \longrightarrow CuO + SO_3 \qquad SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

Eine neue Bedeutung kam der Schwefelsäure zu, nachdem Rudolph Glauber im 17. Jahrhundert die Herstellung von Glaubersalz entwickelte [15].

Im Laufe des 18. Jahrhunderts wurde die sogenannte Vitriolbrennerei zur Herstellung von Schwefelsäure in kleinen Fabriken handwerklich betrieben. Diese Fabriken entstanden in Deutschland zum Beispiel im Süden des Harzes in der Nähre entsprechender Bergwerke [4].

Clemens Winkler 1838 – 1904
Grundlagenarbeiten für das Kontaktverfahren zur Gewinnung von Schwefelsäure

1746 erfand ***Roebuck*** das ***Bleikammerverfahren*** zur Herstellung von Schwefelsäure. 1749 entstand in Schottland eine Fabrik in der 1813 einhundertacht kleine Bleikammern betrieben wurden. Am Anfang hatte Roebuck eine Art Monopolstellung auf die Schwefelsäureproduktion, denn er hielt das Verfahren geheim. Angestellte verrieten jedoch Verfahrensgeheimnisse und so existierten gegen Ende des 18. Jahrhunderts in Glasgow über sechs Fabriken und acht weitere Fabriken in Birmingham, die Schwefelsäure nach dem Bleikammerverfahren produzierten. 1815 wurden in England bereits 3.000 Tonnen Schwefelsäure pro Jahr produziert [1].

Beim Bleikammerverfahren wird ein Schwefeldioxid-Luft-Gemisch in mit Blei ausgekleideten Kammern in Gegenwart von Stickstoffoxiden als Katalysator bei 80 °C zu Schwefeltrioxid umgesetzt.

Blei bildet eine Schutzschicht aus Bleisulfat und kann somit als eine beständige Reaktorwand bestehen bleiben.

$$N_2O_3 + SO_2 \longrightarrow 2\,NO + SO_3$$

$$2\,NO + \tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow N_2O_3$$

$$SO_2 + \tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow SO_3$$

Das Stickoxid fungiert bei dem Verfahren als Katalysator [12]

Das Schwefeltrioxid wird durch Wasser geleitet und bildet dann die Schwefelsäure:

$$SO_3 + H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

1831 wurde das ***Kontaktverfahren*** von ***Peregrine Phillips*** erfunden, wobei zunächst Platin als Katalysator diente. Praktische Bedeutung erlangte es jedoch erst 70 Jahre später. Grundlagenarbeiten hierzu lieferten der Entdecker des Elementes Germanium ***Clemens Winkler*** und ***Rudolf Knietsch*** **[12].**

Beim modernen Kontaktverfahren wird Vanadiumpentoxid als Katalysator bei der Schwefeldioxidoxidation eingesetzt:

$$V_2O_5 + SO_2 \longrightarrow V_2O_4 + SO_3$$

$$V_2O_4 + \tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow V_2O_5$$

$$SO_2 + \tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow SO_3$$

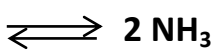
Als Quelle für die SO_2-Erzeugung können Sulfate, sulfidische Erze oder elementarer Schwefel dienen. 1955 basierte die Schwefeldioxidproduktion in Deutschland mit 77 % auf Pyrit, 1990 nur noch mit 14 % bei hauptsächlicher Verwendung von Schwefel (40 %) [13].

Schwefelsäure spielt eine vielfältige Rolle in vielen Bereichen. So wird sie zum Aufschließen von Phosphaten und zur Herstellung von Ammoniumsulfat in der Düngemittelherstellung eingesetzt. Sie dient auch zum Aufschluss von Titanmineralien, zur Herstellung von Phosphor- und Flusssäure und in der organischen Synthese zum Sulfonieren. Das ***"Blut der Chemie"*** ist heute auch ein Fahrgast in fast jedem Auto. Der Fahrgast ist in diesem Fall auch das Blut für die elektrische Energieversorgung, denn als Elektrolyt bei der Autobatterie (Bleiakkumulator) dient 20% -32%ige Schwefelsäure.

Ammoniak ist das Paradebeispiel für den sogenannten ***Dual Use***. Es dient bis heute als Grundstoff für die Herstellung von Düngemitteln und Sprengstoff. Das gleiche Molekül zur Vernichtung von Leben mit Kriegsmunition dient der Sicherung des Ernteertrags und verhindert Hungerkatastrophen. Ammoniak ist eine der meistproduzierten Chemikalien der Erde und dient als Grundstoff für die Produktion aller weiteren Stickstoffverbindungen. Der größte Teil des Ammoniaks wird zu Düngemitteln weiterverarbeitet. Die Herstellung erfolgt fast ausschließlich aus den Elementen mit dem Haber-Bosch-Verfahren.

Am Anfang des 20. Jahrhunderts war bereits klar, dass bezüglich des weltweiten Düngemittelbedarfs eine Lösung gefunden werden musste. 1898 teilte ***William Crookes***, ein Physiker, Chemiker, Wissenschaftsjournalist und Parapsychologe in einer Rede vor der ***British Association for the Advancement of Science*** in Bristol mit, dass bis zum Jahr 1918, der Bedarf an Düngemitteln aus natürlichen Quellen wie Guano oder Chilesalpeter und auch aus technischen Quellen wie Kokereigas bei weitem nicht mehr gedeckt werden könnte und eine katastrophale Hungersnot drohen würde. Ammoniak aus dem Element Stickstoff, welches in der Luft zu etwa 80 % vorkommt, herstellen zu können, war das ersehnte Ziel, mit dem Namen ***Brot aus der Luft***.

Die Synthese von Ammoniak aus den Elementen Stickstoff und Wasserstoff stellte eine komplexe Aufgabe dar. Es musste einerseits die Lage des Reaktionsgleichgewichtes zu Gunsten von Ammoniak verschoben werden, andererseits musste die Reaktion schnell genug ablaufen. Die Problematik lag also sowohl in der thermodynamischen Gleichgewichtslage als auch in der Kinetik. Bereits 1811 versuchte der Physiker ***Jean Baptiste Biot*** Wasserstoffgas und Stickstoffgas zur Reaktion zu bringen. Hierfür versenkte er das Gasgemisch in stöchiometrischem Verhältnis in einem mit Quecksilber gedichteten System auf 540 m Tiefe in das Meer. Das Gasgemisch wurde dabei einem Druck von etwa 50 bar ausgesetzt. Eine Reaktion konnte er nicht beobachten. 1888 formulierte der französische Chemiker und Physiker ***Henry Le Chatelier*** das ***Prinzip des kleinsten Zwanges*** [4]. Danach weicht ein System, welches sich im Gleichgewicht befindet, bei einer Veränderung der äußeren Bedingungen wie Druck, Temperatur oder Verhältnis der Zusammensetzung so aus, dass es dem äußeren Zwang entgegenwirkt und ein neues Gleichgewicht sucht. Durch Anwendung eines hohen Druckes, sollte sich damit das Gleichgewicht auf Seite des Ammoniaks verschieben.



Ab etwa 1900 begannen ***Fritz Haber*** und ***Walther Nernst***, mit der Erforschung der Synthese von Ammoniak aus den Elementen Wasserstoff und Stickstoff. Der Physikochemiker Fritz Haber untersuchte zunächst die Zersetzung von Ammoniakgas unter Normaldruck bei 1000°C, wobei er auch Eisen als Katalysator einsetzte. Er konnte nachweisen, dass unter diesen Bedingungen 99,9 % des gesamten Ammoniaks zu Wasserstoff und Stickstoff zerfällt und im Gleichgewicht nur noch 0,01% Ammoniak vorliegen. Dies zeigte, dass wenn ein Reaktionsgemisch unter diesen Bedingungen in einem thermischen Gleichgewicht vorliegt, Ammoniak nicht in quantitativ ausreichenden Mengen gewonnen werden kann. Der Physikochemiker Walter Nernst führte weitere Versuche mit Mangan als Katalysator durch und konnte bei 50 bar und 685°C im Gleichgewicht 0,896 Vol% Ammoniak nachweisen. Haber hatte die Idee, dass Ammoniak in einem Kreisprozess abzuscheiden und so das gebildete Ammoniak ständig aus dem Gleichgewicht zu entfernen, bevor die Edukte wieder über den Katalysator geführt werden. Nach dem ***Prinzip von Le Chatelier*** wird dann ständig neues Ammoniak nachgebildet. 1908 schloss Haber mit der Badischen Anilin und Sodafabrik einen Kooperationsvertrag, um die weiteren Arbeiten an dem Projekt finanzieren zu können und 1908 konnte auch bereits ein erstes Patent auf den Kreisprozess verzeichnet werden.

Bei einer Temperatur von 550 °C wurde das Gasgemisch unter 175 bar so rasch über Eisenpulver als Katalysator geleitet, dass sich kein Gleichgewicht ausbilden konnte, wobei das Gasgemisch sehr rasch wieder auf –50°C abgekühlt werden musste oder eine Absorption in Wasser stattfinden musste. Haber fand auch heraus, dass Osmium als Katalysator viel besser geeignet war als Eisen. Die großtechnische Umsetzung für eine wirtschaftliche Produktion stellte eine sehr große Herausforderung dar. Die BASF hatte die Patentrechte zu dem Verfahren erworben und übertrug ***Carl Bosch*** die Aufgabe der technischen Umsetzung der Synthese nach dem Verfahren von Haber [4].

Boschs Assistent ***Alwin Mittasch*** optimierte den Katalysator und fand heraus, dass die Katalysatoraktivität von Metallen durch gezielte Beimengungen von anderen Verbindungen um ein Vielfaches gesteigert werden kann. Er nannte diese Stoffe Aktivatoren. Mittasch erkannte auch die möglichen Katalysatorvergiftungen durch andere Stoffe, die man möglichst aus dem Reaktionsgemisch entfernen muss. Mittasch wurde damit zum eigentlichen Begründer der Katalysatorforschung [4]. Heute wird die Synthese bei etwa 300 bar, 500°C und Eisenkatalysatoren mit geringen Anteilen der Promotoren (Aktivatoren) Al_2O_3, K_2O und CaO durchgeführt [11], **[19]**.

Ein großes Problem stellten die Reaktordruckgefäße dar. Wasserstoff besitzt die Eigenschaften sehr leicht Materialien zu durchdringen. Die Reaktionsgefäße konnten leicht explodieren, da der eindiffundierende Wasserstoff mit dem Kohlenstoff des Stahls Verbindungen bildete und der Stahl dadurch spröde wurde. Bosch hatte die geniale Idee, die Reaktoren innen mit reinem Eisen auszukleiden und diesen Eisenmantel mit einem druckfesten Stahlmantel zu umgeben. Das reine Eisen ist sehr weich, aber relativ undurchlässig für den Wasserstoff, so dass der harte Stahlmantel durch das Eisen geschützt ist. Bosch entwickelte zusätzlich eine Stickstoffspülung des Mantels durch reinen komprimierten Stickstoff um den Mantel noch besser zu schützen und um die Druckbelastung zu verringern [4]. Diese Lösungen führten zum gewünschten Erfolg und brachten das Haber-Bosch-Verfahren zur industriellen Reife. Fritz Haber erhielt 1919 den Nobelpreis für Chemie (für das Jahr 1918) und Carl Bosch erhielt ihn 1931.

Mit Ammoniak hat man weder Düngemittel noch Sprengstoff vorliegen. Hierfür benötigt man Nitrate und diese erhält man aus Salpetersäure. Ammoniak stellt den notwendigen Ausgangsstoff für die Salpetersäuresynthese dar. ***Wilhelm Ostwald*** erhielt 1902 das grundliegende Patent zu dem nach ihm benannten Verfahren für die Salpetersäureherstellung. Nach diesem Verfahren wird ein Gemisch aus Ammoniak und Luft bei 600°C-800°C über einen Platinkontakt geleitet, dabei entsteht zunächst Stickstoffmonoxid. Das Gemisch darf dabei mit dem Katalysator nur 1/1000 Sekunde in Berührung kommen, da das Stickstoffmonoxid sonst zu Stickstoff und Sauerstoff zerfällt. Das Stickstoffmonoxid reagiert nach Temperatursenkung weiter mit Sauerstoff zu Stickstoffdioxid. In Rieseltürmen wird das Stickstoffdioxid dann mit Wasser zu Salpetersäure umgesetzt [4].

$$4\,NH_3 + 5\,O_2 \longrightarrow 4\,NO + 6H_2O$$

$$2\,NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2$$

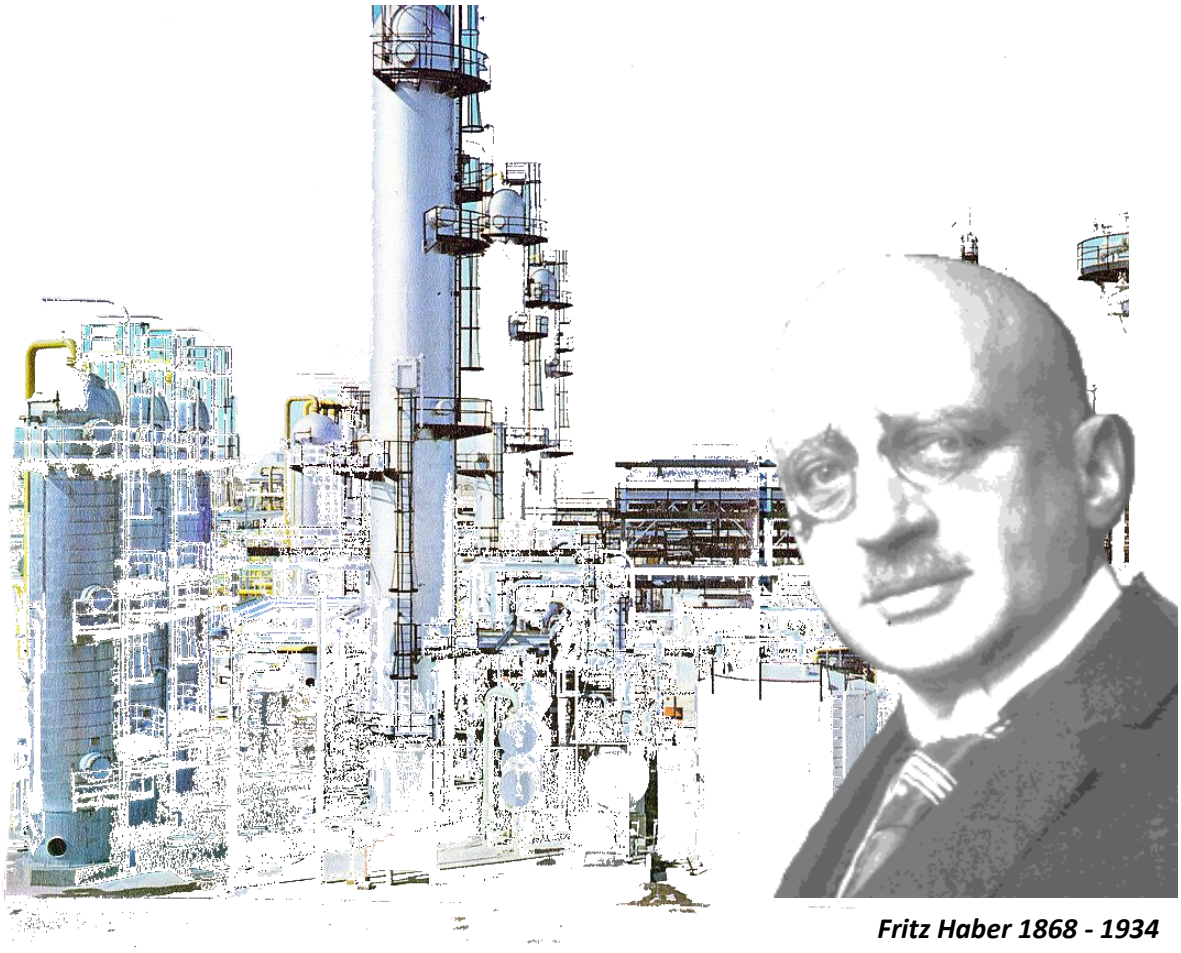
$$2\,NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$$

$$2\,N_2O_4 + O_2 + 2\,H_2O \longrightarrow 4\,HNO_3$$

Es war also möglich aus Ammoniak so viel Salpetersäure herzustellen wie man benötigte und damit stand die Möglichkeit offen, riesige Mengen an Sprengstoff und Düngemitteln herzustellen.

1912 wurden in der ersten großtechnischen Anlage der BASF 1.000 kg Ammoniak pro Tag erzeugt und 1913 lag die Produktion bereits bei 5000 kg pro Tag. 1913 ging ein neues Werk in Oppau bei Ludwigshafen in Betrieb, mit der technischen Darstellung des Ammoniaks nach dem Verfahren von Haber, Bosch und Mittasch [16]. Die Anlage erreichte bis zum Ausbruch des ersten Weltkrieges eine Ammoniakproduktionskapazität von 78.000 Tonnen pro Jahr. Ammoniak wurde kriegsentscheidend und die BASF begann 1916 mit dem Bau einer weiteren Anlage in Leuna bei Merseburg [4].

1914 wurde Carl Bosch als Vorstandsmitglied der BASF zu einer Beratung in das Kriegsministerium gebeten. Mit dem sogenannten ***Salpeterversprechen*** wurde von ***Carl Bosch***, den Chemikern ***Carl Duisberg*** und ***Emil Fischer*** mit der obersten Heeresleitung Abnahmegarantien und Darlehen seitens des Reiches ausgehandelt. Im Gegenzug verpflichtete sich die BASF ein Verfahren auszuarbeiten, um Salpetersäure in großen Mengen herstellen zu können [4].



Fritz Haber 1868 - 1934

Haber hatte vorausgesehen, dass der Preis des Ammoniaks mit steigender Produktionsmenge fallen wird und sicherte sich mit einem Anteil von 1,5 Pfennig pro Kilogramm Ammoniak einen festen Anteil. Er wurde dadurch zum reichen Mann. Die Inflation 1922/23 vernichtete jedoch sein Vermögen [4].

1921 kam es im **Werk Oppau** der BASF zu einer gewaltigen Explosion, bei der 500 Menschen ums Leben kamen. Das Werk wurde durch die gewaltige Explosion fast völlig zerstört. Das Unglück entstand durch eine Lockersprengung des Düngemittels Ammonsulfatsalpeter [1]. Bei dem Düngemittel handelt es sich um ein Doppelsalz aus Ammoniumnitrat und -sulfat ($2\ NH_4NO_3 \cdot (NH_4)_2SO_4$).

Das Haber Bosch-Verfahren hat die Welt verändert. Ohne dieses Verfahren wäre die Weltgeschichte anders verlaufen, da das Deutsche Reich und Österreich-Ungarn bereits im Frühjahr 1915 aufgrund von Munitionsknappheit hätten kapitulieren müssen. Mehr als hundert Megatonnen Stickstoffdünger werden heute jährlich produziert; die Hälfte der Weltbevölkerung könnte ohne das Haber-Bosch-Verfahren nach Angabe des Fachmagazins Geoscience nicht überleben **[9]**.

Das Haber-Bosch-Verfahren wurde insbesondere im Hinblick auf die Energieeffizienz weiterentwickelt und verbessert. Das Verfahren hat mit der Düngemittelproduktion aus Ammoniak Milliarden von Menschen ernährt und es hat gleichzeitig auch den Einsatz ungeheurer Munitionsmengen möglich gemacht [9]. Mit über 100 Millionen Tonnen Ammoniakproduktion im Jahr, ist Ammoniak eine der am meisten synthetisierten Stoffe auf der Erde. Etwa 1,4 % des gesamten weltweiten Energieverbrauchs entfallen auf das Haber-Bosch-Verfahren [4].

2007 erhielt ***Gerhard Ertl***, ehemaliger Direktor des ***Fritz Haber Institutes*** in Berlin, den Nobelpreis für Chemie. Durch ihn konnte auch der Mechanismus der Katalyse bei der Ammoniaksynthese aufgedeckt werden. So schloss sich ein Kreis um die Ammoniaksynthese wieder in Berlin. Die Arbeiten von Ertl bereiteten mit dem Verständnis der Oberflächenkatalyse eine neue Grundlage für die Entwicklung von katalytischen Prozessen.

Gelbgrünes Gift

Chlor ist ebenfalls eines der wichtigsten Grundprodukte der chemischen Industrie. Der größte Teil des Chlors wird zur Synthese von Vinylchlorid und Polyvinylchlorid verwendet. Chlor dient auch zur Herstellung vieler weiterer organischer Verbindungen wie Chlorkohlenwasserstoffe und Chloraromaten und auch zur Herstellung vieler anorganischer Verbindungen wie Aluminiumchlorid und Titantetrachlorid [13].

Chlor wurde von ***Carl Wilhelm Scheele*** bereits 1774 über eine Reaktion von Salzsäure mit Braunstein gewonnen [13].

$$MnO_2 + 4\,HCl \longrightarrow MnCl_2 + 2\,H_2O + Cl_2$$

1823 gelang ***Michael Faraday*** die Verflüssigung von Chlor [2].

Das von dem Chemiker ***Walter Weldon*** entwickelte ***Weldon-Kalk-Luft-Verfahren*** wurde im Jahr 1868 patentiert und greift die von Scheele verwendete Methode der Oxidation der Salzsäure durch Braunstein auf [4].

Das entstehende Mangan(II)chlorid wird dabei mit Kalkwasser versetzt, wobei mit Luft Calciummanganit entsteht, dass dem Prozess wieder zugeführt werden kann, wobei dann mit Salzsäure und dem Calciummanganit Chlor entsteht.

$$MnCl_2 + 3\,Ca(OH)_2 + O_2 \longrightarrow CaO{\cdot}2MnO_2 + 3\,H_2O + CaCl_2$$

$$CaO{\cdot}2MnO_2 + 10\,HCl \longrightarrow CaCl_2 + 2Cl_2 + 2\,MnCl_2 + 5H_2O$$

Bei dem Verfahren kann nur ein Drittel der eingesetzten Salzsäure zu Chlor umgesetzt werden. Der Rest fällt in Form von Calciumchlorid an. Der Chemiker ***Henry Deacon*** entwickelte ein verbessertes Verfahren. Deacon hatte keine höhere Schulbildung und erwarb sich seine Kenntnisse in Physik und Chemie im Wesentlichen als Autodidakt, hatte aber gelegentlich Unterricht bei ***Michael Faraday.***

1851 wurde Deacon Werksleiter bei der Sodafabrik Hutchinson in Widnes bei Liverpool. Er kannte also die Problematik der großen Mengen Salzsäure, die beim Leblanc-Verfahren anfielen. Deacon versuchte eine verbesserte Methode der Chlorgewinnung zu finden, bei dem die Salzsäure möglichst komplett in Chlor umgesetzt werde konnte [4].

1853 hatte Deacon eine eigene Firma gegründet, die 1855 zu Gaskell, Deacon & Company wurde. 1868 meldete er sein erstes Patent an. Mit Unterstützung des Chemikers ***Friedrich Hurte*** entwickelte er ein Verfahren ohne Verwendung von Braunstein, bei dem Chlorwasserstoffgas direkt mit Luftsauerstoff zu Chlor umgesetzt wurde. Als Katalysator wurde dabei Kupfer(I)chlorid eingesetzt.

$$\mathbf{4\ HCl + O_2 \longrightarrow 2\ Cl_2 + 2\ H_2O}$$

Das Verfahren kam aber erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts zur technischen Reife, da eine Reihe von Problemen entstanden. Die Oxidation zum Chlor verläuft nicht vollständig und der Katalysator wurde schnell unwirksam [4].

Diese Art der Chlorgewinnung hat sich bis heute nicht technisch durchgesetzt, da Chlor viel leichter elektrochemisch durch Elektrolyse gewonnen werden kann. Es handelt sich dabei um die sogenannte ***Chloralkalielektrolyse***.

1898 wurde die elektrolytische Chlorfabrikation in Ludwigshafen eingeführt **[16]**.

Unter Einsatz elektrischer Energie wird dabei eine wässrige Natriumchloridlösung elektrochemisch zersetzt.

$$\mathbf{2\ NaCl + 2\ H_2O \longrightarrow 2\ NaOH + Cl_2 + H_2}$$

Es ist dabei sehr wichtig, Wasserstoff und Chlor getrennt aufzufangen, damit man kein hochexplosives Chlorknallgasgemisch hat und die Elemente möglichst als reine Substanzen gewonnen werden. Im Weiteren soll die Reaktion von Chlor mit Hydroxidionen zu Chloridionen und Hypochloridionen verhindert werden [13].

Bei der Chloralkalielektrolyse kann die Trennung über drei verschiedene Verfahren realisiert werden. Beim ***Amalgamverfahren*** benutzt man Quecksilber als Kathode. Es erfolgt hierbei keine Wasserstoffentwicklung, da in der Elektrode unter Amalgambildung Natrium abgeschieden wird. In einem Amalgamzersetzer erhält man dann mit Wasser unter Bildung von Natronlauge Wasserstoff. An der Graphitanode entsteht Chlor. Beim ***Diaphragmaverfahren*** werden Anodenraum und Kathodenraum durch ein poröses Diaphragma aus Asbest getrennt. Wasserstoff scheidet sich an einer Stahlkathode ab, Chlor an einer mit Ruthenium(IV)oxid beschichteten Titananode.

Beim ***Membranverfahren*** wird zur Trennung eine Kationenaustauschermembran (Nafion) eingesetzt und eine Titananode und Nickelkathode verwendet.

Heute wird Chlor vorwiegend nach dem Membranverfahren hergestellt.

Mit einer Weltkapazität von über 40 Millionen Tonnen Chlorproduktion pro Jahr **[13]** gehört Chlor zu den wichtigsten Grundstoffen der chemischen Industrie. Als tragender Stoff für die Produktion unzähliger anorganischer und organischer Reagenzien für weitere Synthesen zur Gewinnung von Stoffen in vielen Bereichen und als Grundlage für die Herstellung entsprechender Kunststoffe ist Chlor aus der modernen Chemie nicht mehr wegzudenken.

Chlor ist aber durch seine ***Verwendung als Giftgas*** mit sehr dunklen Kapiteln der Chemiegeschichte verknüpft. Fritz Haber verstand seine Aufgaben als Chemiker vor allem auch unter patriotischen Gesichtspunkten. Nachdem im ersten Weltkrieg die Westfront in einem Stellungskrieg festgesetzt war, drängte Haber die Militärführung zum Einsatz von Giftgas, den die Generäle zuerst als nicht ehrenhaft ablehnten, dann aber seinem Vorschlag zustimmten. 1907 stimmten Frankreich, England, Deutschland und Russland, sowie 40 weitere Länder mit der Haager Konvention der Verpflichtung zu, chemische Kampfstoffe im Krieg nicht einzusetzen. Am 25. April 1915 wurden unter Habers Kommando 5.000 mit Chlorgas gefüllte Stahldruckflaschen an einem 10 km breiten Frontabschnitt bei Ypern in Belgien gebracht und bei günstiger Windrichtung das Chlor abgeblasen. Da Chlor schwerer ist als Luft, sammelt es sich vor allem in den Schützengräben an. Dabei wurden 5.000 gegnerische Soldaten getötet und etwa 10.000 Soldaten verletzt. Auf der ganzen Breite des Gaseinsatzes klaffte die Front auf. Die militärische Führung hatte damit nicht gerechnet und die Chance zum Nachrücken vertan, die Front schloss sich wieder. Andere Länder fühlten sich nun auch berechtigt Giftgas einzusetzen, da das Haager Abkommen von deutscher Seite gebrochen wurde [4].

Im Laufe des Krieges wurde deshalb immer erbitterter auch mit chemischen Waffen gekämpft. 1915 fand im Herbst der größte Chlorgasangriff von deutscher Seite statt. In der Champagne wurde aus 24.000 Stahlflaschen auf einer Breite von 20 km Chlorgas abgeblasen [1]. Das hochgiftige Phosgen wurde von den Deutschen 1916 zum ersten Mal verwendet. Neben den Giftgasen, die auf die Atemwege wirken (Grünkreuzkampfstoffe) setzte die deutsche Armee 1917 auch Senfgas (Gelbkreuzkampfstoff) ein, das schwere Hautverätzungen verursacht und daher allein Gasmasken keinen ausreichenden Schutz mehr boten. Der Entwicklung von Gaswaffen auf deutscher Seite war nicht sehr von Erfolg gekrönt, da sie den Wind meist gegen sich hatten. Im späteren Verlauf des Krieges wurden deshalb Gasgranaten verschossen, die aber nicht sehr wirkungsvoll waren [1].

Bei der Inhalation von Chlor reagiert es mit der Feuchtigkeit der Schleimhäute unter Bildung von hypochloriger Säure und Chlorwasserstoffsäure. Dadurch kommt es zu einer starken Reizung der Schleimhäute, bei längerer Einwirkung auch zu Bluthusten und Atemnot mit einer qualvollen Erstickung. Auch bei Phosgen entsteht bei der Aufnahme in der Lunge Salzsäure, die das Lungengewebe und die Alveolen verätzt. Der Tod tritt in der Regel durch Ersticken bei vollem Bewusstsein ein. Die Wirkung von Senfgas auf der Haut gleicht starken Verbrennungen. Es bilden sich große, stark schmerzende Blasen, wie nach einer Verbrennung. Die Wunden heilen schlecht, da das Gewebe nachhaltig zerstört und die Zellteilung gehemmt wird. Stark betroffene Gliedmaßen müssen meistens amputiert werden. Bei Einatmung der Dämpfe werden die Bronchien zerstört. Senfgas ist stark krebserregend. Das Senfgas wird auch häufig als ***Lost*** bezeichnet. Die Bezeichnung geht auf die ersten Buchstaben der Nachnamen der beiden deutschen Chemiker ***Wilhelm Lommel*** und ***Wilhelm Steinkopf*** zurück, die im Jahr 1916 den Vorschlag zur Verwendung von Senfgas als chemischen Kampfstoff machten und bei Fritz Haber am ***Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie*** in Berlin-Dahlem arbeiteten.

Haber war aber mit der Entwicklung von Gaswaffen nicht alleine. Die französischen Truppen verschossen im August 1914 Granaten mit Xylylbromid.

Von der obersten Heeresleitung wurde auf deutscher Seite eine Kommission eigesetzt, die den Einsatz chemischer Waffen zur Vermeidung einer befürchteten Sprengstofflücke prüfen sollte. Die Leitung der Kommission hatten ***Walter Nernst*** (Nobelpreis für Chemie 1920) und ***Carl Duisberg***, die ***Fritz Haber*** *(Nobelpreis für Chemie 1918)* mit hinzuzogen. Mit ***Emil Fischer****(Nobelpreis für Chemie 1902)*, ***Richard Willstätter*** *(Nobelpreis für Chemie 1915)* und ***Otto Hahn*** *(Nobelpreis für Chemie 1945)* waren weitere ausgezeichnete Wissenschaftler in der Kommission vertreten [4].

Es war ausgerechnet die Frau Habers, ***Clara Immerwahr***, die vehement gegen die Entwicklung von Chemiewaffen und für die Friedensbewegung eintrat. Sie bewunderte die Aktivistin ***Bertha von Suttner***. Der Kampf Claras für Menschlichkeit und für den Einsatz der Wissenschaft zum Wohle der Menschheit, für Freidenken und Gleichberechtigung und für eine Friedensbewegung entgegen der allgemeinen Kriegsbegeisterung war für die weitestgehend allein kämpfende Frau zur Zeit des deutschen Kaiserreichs wohl ebenso wagemutig und fortschrittlich wie die erste Mondlandung. Clara hatte aber nicht die geringste Chance auf Erfolg.

Clara Immerwahr ist wie ihr Mann Haber ebenfalls promovierte Chemikerin gewesen. Damals waren Frauen mit Doktortiteln absolute Raritäten. Sie war eine der ersten Frauen mit einem Doktorgrad in Chemie. Dass Clara überhaupt eine Hochschule besuchen durfte, verdankte sie ihrem Talent und ihrer Durchsetzungskraft, denn der höhere Bildungsweg blieb Frauen vor 1900 noch vielerorts verschlossen. 1896 erhielt Clara Immerwahr zusammen mit 35 anderen Frauen, den Status einer Gasthörerin an der Universität Breslau. Sie musste allerdings jeden Dozenten um Zustimmung bitten, bevor sie an dessen Veranstaltung teilnehmen durfte. Nicht alle Dozenten waren begeistert. Einige lehnten die Frauen in der Wissenschaft kategorisch ab, einige duldeten Clara, von nur Wenigen bekam sie Akzeptanz.

Von vielen männlichen Kommilitonen wurde Clara Immerwahr an der Hochschule gehänselt und mit Verachtung behandelt. Zu ihrem Glück unterstützte der Leiter des chemischen Instituts ***Richard Abegg*** Clara Immerwahr. Er war einer der wenigen, die einem modernen Frauenbild gegenüber aufgeschlossen waren. Nachdem Clara ihre Dissertation über die „Löslichkeitsbestimmung schwerlöslicher Salze des Quecksilbers, Kupfers, Bleis, Cadmiums und Zinks“ erfolgreich verteidigte, erhielt sie am 22. Dezember 1900 den Doktortitel mit magna cum laude. Sie war damals eine der ersten Frauen mit Doktortitel in ganz Deutschland, und die erste Frau mit Doktortitel an der Universität Breslau.

Clara wünschte sich ein Zusammenleben mit ihrem Mann als gleichberechtigte Wissenschaftler, mit gemeinsamen Projekten, entsprechend wie bei dem Ehepaar ***Marie und Pierre Curie*** in Frankreich. 1903 erhielten die Curies gemeinsam mit ***Henri Becquerel*** den Nobelpreis. In Karlsruhe verwies Fritz Haber eines Tages seine Frau des Arbeitszimmers an der Hochschule. Von der männlichen Belegschaft wurde Clara nicht geduldet und Haber wich dem Druck der Belegschaft aus und teilte seiner Frau mit, dass sie an seinem Institut nicht gerade willkommen ist.

Fritz Haber wurde 1911 zum Gründungsdirektor des ***Kaiser-Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie und Elektrochemie*** in Berlin berufen und nach Ausbruch des ersten Weltkriegs im August 1914 war Clara entsetzt, erleben zu müssen, wie ihr Mann den deutschen Gaskrieg organisierte. Clara hielt ihre Meinung nicht zurück und kritisierte Fritz. Sogar in der Öffentlichkeit trat sie ihrem Mann entgegen. Sie verfasste Artikel, in denen sie vor dem Giftgaseinsatz warnte, aber keine Zeitung wagte es, die Texte zu veröffentlichen. Kurz vor dem Gasangriff bei Ypern begleitete Clara ihren Mann zu einem Truppenübungsplatz.

Es sollte dort die Wirkung von Chlorgas an Tieren getestet werden. Dazu hatte man ein Stellungssystem nachgebaut und darin Hunde, Schafe und Ziegen festgebunden. Sie sollten die feindlichen Soldaten simulieren. Bei günstiger Windrichtung wurden die Tiere mit dem Chlorgas, welches aus Stahlflaschen abgeblasen wurde, erstickt. Vor den anwesenden Offizieren und Vertretern aus der Industrie und im Beisein ihres Mannes hielt Clara eine leidenschaftliche Rede gegen den Einsatz der Gaswaffen und appellierte an das Gewissen der Beteiligten. Sie hatte mit ihrem Einsatz keinen Erfolg und riskierte als Vaterlandsverräterin angeklagt zu werden.

Clara hatte Fritz vorgeworfen, er betreibe eine „Perversion der Wissenschaft“. Fritz Haber nannte Clara eine Vaterlandsverräterin und war überzeugt, dass sich der Krieg durch den Einsatz von Gas abkürzen ließe. Das Zerwürfnis der beiden war nun endgültig.

Nach dem erfolgreichen Gasangriff bei Ypern feierte Fritz Haber am ersten Mai 1915 in seiner Dienstvilla in Berlin Dahlem seine Beförderung zum Hauptmann der Reserve. Am nächsten Morgen nahm Clara die Dienstpistole ihres Mannes und ging in den Garten. Sie feuerte einen Probeschuss in die Luft ab und setzt dann die Mündung der Waffe auf ihre linke Brust und drückt ab. Sie starb zwei Stunden später, nachdem ihr Sohn Hermann sie im Garten gefunden hatte. Noch am selben Abend reiste Fritz Haber zur Ostfront, um dort einen weiteren Gasangriff vorzubereiten[17].

Die Selbsttötung von Clara Immerwahr als Aktion des Protestes gegen den Einsatz von Giftgas kann nur angenommen werden, da entsprechende Dokumente wahrscheinlich vernichtet wurden oder verloren gingen.

1919 erhielt Fritz Haber den Nobelpreis für Chemie (für das Jahr 1918). Als Haber den Nobelpreis erhielt wurde ihm und anderen Forschern die Entwicklung von chemischen Waffen zum Vorwurf gemacht. Noch heute wird kontrovers diskutiert, ob die Nobelpreisvergaben nur auf Kriterien der wissenschaftlichen Leistungen bezogen werden sollten, unabhängig von den politischen Ansichten und Haltungen der nominierten Personen [4].

Clara Immerwahr führte als Chemikerin und Menschenrechtlerin einen couragierten und verzweifelten Kampf gegen die Entwicklung und den Einsatz von Chemiewaffen.

Clara Immerwahr 1870-1915

Durch Zufall stolpert das Neue in Welt

Farbchemie am Gartenzaun

Der Chemieprofessor und technische Leiter der ***Oranienburger Chemischen Produktenfabrik*** ***Friedlieb Ferdinand Runge*** hatte seinen Gartenzaun gegen Fäulnis mit übelriechendem Teeröl gestrichen, ein Abfallprodukt aus den Gaswasserfässern, die an die Oranienburger Chemiefabrik für die Gewinnung von Salmiak geliefert wurden. Um die herumstreunenden Hunde davon abzubringen Duftmarken an den Zaun zu setzten, streute Runge 1833 Chlorkalk (35 % Calciumhypochlorit $Ca(OCl)_2$, 30 % Calciumchlorid ($CaCl_2$) und 13 % Calciumhydroxid $Ca(OH)_2$) zwischen die Sprossen des Zaunes. Am nächsten Tag stellte Runge fest, dass sich das Holz an den Sprossen veilchenblau verfärbte. Runge wurde natürlich neugierig und untersuchte das Teeröl im Labor. Beim Destillieren fand er eine Flüssigkeit die mit verschiedenen Stoffen wie Chlor oder Salpetersäure die verschiedensten Farben bildete. Runge hatte das Anilin entdeckt [2]. 23 Jahre später sollte 1856 der Engländer ***William Henry Perkin*** bei der Suche nach einer Synthese von Chinin (ausgehend von Anilin) zufällig einen neuen Farbstoff synthetisieren, den er Mauvein nannte [25].

Auf Basis von Steinkohlenteer wurden im Laufe der Zeit viele neue Produkte entwickelt. Der Chemiker ***Paul Friedländer*** begann zeitgleich zu der Gründung des Kaiserlichen Patentamtes in Berlin 1877 das Lexikon ***Fortschritte der Teerfarbenfabrikation und verwandter Industriezweige.*** In 25 Bänden des Lexikons sind bis 1941 vergleichende Übersichten zu deutschen chemischen Patenten dargestellt. Im Steinkohlenteer befinden sich viele wertvolle Inhaltstoffe, als Vertreter der aromatischen Kohlenwasserstoffe seien hier Naphtalin, Phenanthren und verschiedene Phenole genannt. Auch heterocyclische Verbindungen wie Carbazol und Diphenylenoxid stellen Bestandteile des Steinkohlenteers dar. Steinkohlenteer ist in diesem Sinne eine Schatzkiste für die Organische Chemie. Eine Übersicht der Inhaltsstoffe des Steinkohlenteers findet man in dem Buch ***Industrielle Aromatenchemie*** **[27].** Heute ist die RÜTGERS-Gruppe mit acht internationalen Produktionsstandorten Europas einer der führenden Hersteller von Chemierohstoffen aus Steinkohlenteer.

Von explodierenden Schürzen und Billardkugeln

Der deutsch-schweizerische Chemiker und Physiker **Christian Friedrich Schönbein** gab als Professor Vorlesungen in experimenteller Chemie an der Universität Basel. Schönbein bekam nach einem Besuch bei seinem Kollegen ***Grove*** in Birmingham eine kleine ***Voltasche Säule*** als Abschiedsgeschenk. Als Schönbein nach Basel zurückkehrte machte er mit dem Geschenk einige Versuche. Er wollte in seiner Vorlesung elektrochemisch ***Knallgas*** erzeugen und dieses in der Vorlesung zur Explosion bringen. Bei den Versuchen nahm er einen charakteristischen Geruch wahr, den er in seiner Jugend einmal wahrgenommen hatte. Damals schlug ein Blitz in eine Kirche ein und den gleichen Geruch nahm Schönbein bei der Elektrolyse wahr. Er nannte das Gas Ozon (griechisch “das Riechende“). Lange rätselte Schönbein an der Zusammensetzung des Gases. ***Berzelius*** vermutete bereits, dass es sich um eine ***allotrope Modifikation*** des Sauerstoffs handelt, doch Schönbein glaubte an einen Aufbau aus Stickstoff und Sauerstoff. Und wieder kam der Zufall ins Spiel. Schönbein untersuchte viele der damals bekannten Substanzen, die aus Stickstoff und Sauerstoff bestanden. 1845 fiel Schönbein eine Glasflasche mit einem Gemisch aus Salpetersäure und Schwefelsäure auf den Boden. Schönbein wischte das Säuregemisch mit einer Schürze aus Baumwalle auf und hängte diese anschließend zum Trocknen an den Ofen. Einige Stunden später explodierte die Schürze mit einem lauten Knall.

Nach dem Schreck begann Schönbein mit Untersuchungen zu der heftigen Reaktion und er entdeckte dabei die Nitrierung von Zellulose mit Salpetersäure und Schwefelsäure. Schönbein hatte die ***Schießbaumwolle*** erfunden.

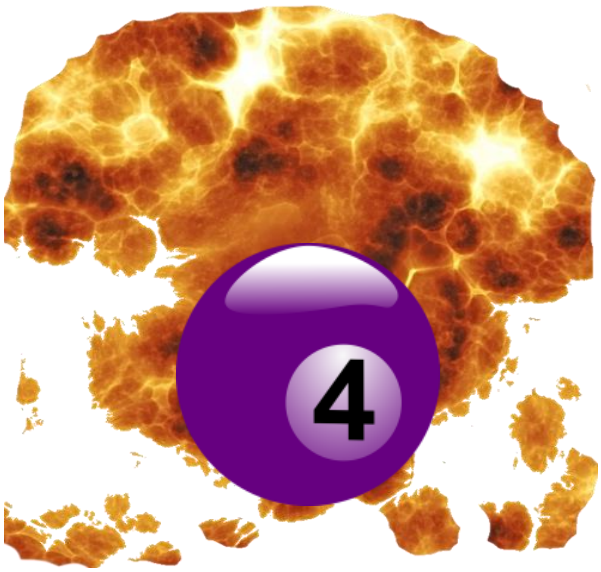
Das Interesse des Militärs und Lizenzanfragen zwangen Schönbein zur Anmeldung eines Patents. Eine englische Pulverfabrik bot Schönbein für die Produktion der Schießbaumwolle ein Drittel des zu erwartenden Reingewinnes. Nach dem Bau explodierte die Fabrik und es kamen dabei 21 Menschen ums Leben. Friedrich Schönbein ging später weniger riskanten Anwendungsbereichen der Schießbaumwolle nach und er entdeckte, dass eine Lösung von Schießbaumwolle in einem Diethyläther-Ethanol-Gemisch sich gut eignete, um Wunden vor Infektionen zu schützen. Beim Verdampfen des desinfizierenden Lösungsmittelgemisches blieb eine dünne wundschließende Haut zurück.

Schönbein nannte die zähflüssige Mischung ***Kollodium*** und hatte den ersten Wundschnellverband erfunden, der später in aller Welt verwendet wurde. Er hatte hierfür nie eine finanzielle Vergütung erhalten [2]. ***Alfred Nobel*** sollte ab 1876 mit der Entwicklung der Sprenggelatine aus Kollodium aber sehr viel Geld verdienen und war der eigentliche Gewinner von Schönbeins Entdeckungen [2].

1855 erfand der Brite ***Alexander Parkes*** das ***Zelluloid***. Zelluloid wurde aus Schießbaumwolle und Campher hergestellt. Kämme, Puppenköpfe, Brillengestelle und viele andere Anwendungen fand der neue Kunststoff Zelluloid. Bisher wurden Billardkugeln aus Elfenbein hergestellt und der gesamte Bedarf an Billardkugeln konnte durch Elfenbein nicht mehr gedeckt werden.

John Wesley Hyatt verbesserte den thermoplastischen Kunststoff Zelluloid wesentlich für den Einsatz von Billardkugeln und erhielt dafür 1868 ein Patent. 1871 ließ er ein verbessertes Verfahren patentieren und wurde 101 Jahre später posthum in die ***Hall of Fame des Billiard Congress of America*** aufgenommen. Auch wenn die neuen Kugeln sogar eine bessere Haltbarkeit und Spielbarkeit aufwiesen als Elfenbein, konnte das grausame Abschlachten der Elefanten nicht gestoppt werden und die Population wurde weiterhin drastisch dezimiert.

Das Beispiel Schießbaumwolle zeigt besonders deutlich, wie Zufälle zusammenspielen können und Stoffe für völlig unterschiedliche Anwendungen in völlig verschiedenen Bereichen dabei hervorgebracht werden können.



Die durchsichtige Hand

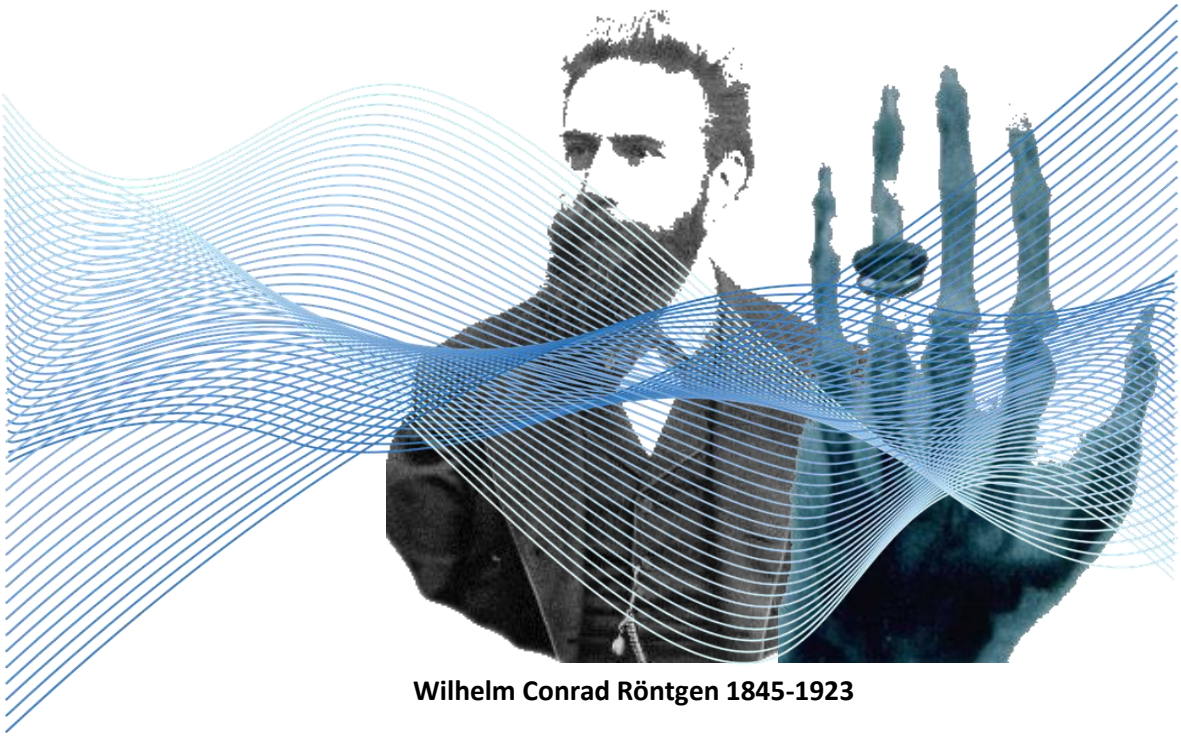
Am 8. November 1895 verzehrte ***Wilhelm Conrad Röntgen*** geistesabwesend sein Abendbrot und verschwand ohne ein Wort zu sagen wieder in seinem Labor. Seine Frau kannte dieses Verhalten von ihrem Mann, der zerstreute Physikprofessor und Direktor der Universität Würzburg verhielt sich öfters sonderbar.

Nach diesem Abend wurde der Professor noch sonderbarer und hatte nun überhaupt keine Zeit mehr. Er musste eine besondere Entdeckung dingfest machen, denn er wusste, dass sie ihm ewigen Ruhm einbringen würde.

Nach allem was Röntgen aus der Literatur kannte, wusste er, dass er eine neue Art von Strahlen entdeckt hatte, aber ein anderer Kollege konnte ihm ja mit einer Veröffentlichung noch zuvorkommen **[23]**. Rätselhaft blieben die Vorgänge in seinem Laboratorium, denn Röntgen sprach so gut wie nie darüber und so ist auch die Geschichte der Entdeckung der Strahlen rätselhaft geblieben, die Röntgen ***X-Strahlen*** nannte und die später fast überall nur noch ***Röntgenstrahlen*** genannt wurden [23]. Weder in einem Brief, noch in einer Veröffentlichung lüftete Röntgen je das Geheimnis der Entdeckung. Mit Sicherheit führte Röntgen ein Laborjournal, denn er berief sich in einer Mitteilung auf eine Eintragung. Wahrscheinlich ist aber das Beobachtungsjournal zusammen mit vielen anderen Aufzeichnungen von Röntgen verbrannt worden. Vielleicht ist das Laborjournal, entsprechend seines Testamentes, nach seinem Tod auch von den Testamentsvollstreckern vernichtet worden.

In der Veröffentlichung von Röntgen wurden nur die Erzeugung und die Eigenschaften der neuen Strahlen beschrieben, es ist dort aber nichts über die Entdeckungsgeschichte geschrieben worden.

Um die Entdeckung der Röntgenstrahlung ranken sich viele Anekdoten und Gerüchte, fast immer fragwürdige oder falsche Behauptungen. Es gibt einige Berichte aus zweiter oder dritter Hand, geschrieben nach Röntgens Tod, die in sich widersprüchlich sind, da sie meistens von unbedingtem Verehrungswillen oder dem Gegenteil angetrieben wurden. Zur Klärung der Entdeckungsgeschichte tragen sie nur wenig bei.



Wilhelm Conrad Röntgen 1845-1923

Mit Sicherheit ist aber bekannt, dass Röntgen im Juni 1894 die von dem österreich-ungarischen Physiker ***Philipp Lenard*** veröffentlichten Experimente über Kathodenstrahlen mit einer neuen, vom Glastechniker ***Louis Müller-Unkel*** nach Lenards Spezifikation gefertigten Röhre zum Teil nachgemacht hatte und von dem schönen Versuch ganz begeistert war.

Bekannt ist auch, dass am 8. November 1895 Röntgen etwas sehr Ungewöhnliches aufgefallen war. Über den Zeitraum von mehr als einem Jahr zwischen diesen Ereignissen ist nichts bekannt.

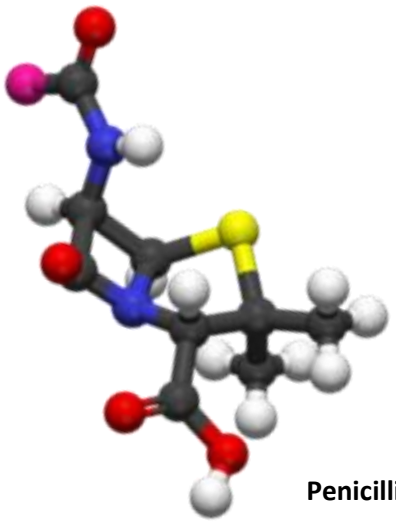
Es existiert aber ein Bericht eines englischen Journalisten, den Röntgen nach hartnäckiger Belagerung nach einigen Wochen seit seiner Entdeckung empfangen hatte. Auf die Frage nach der Geschichte zur Entdeckung antwortete Röntgen „Es gibt keine Geschichte“ [23]. Aus Berichten, Röntgens Veröffentlichung und dem Interview liegt die Vermutung nahe, dass bei der Entdeckung der Zufall mitgespielt haben muss. Wahrscheinlich entdeckte er die Strahlung durch ein Stück Fluoreszenzpapier, das trotz mit schwarzem Karton abgeschirmter Röhre an einem Ort leuchtete, wo es Röntgen irrtümlich liegen ließ. Röntgen untersuchte dann wahrscheinlich auch eine Abschirmung durch andere Materialien. Vielleicht baute er eine feste Apparatur aus Röhre und Schirm und testete dann viele Materialien zwischen Röhre und Schirm. Irgendwann hielt Röntgen wahrscheinlich auch seine Hand zwischen Röhre und Schirm und sah die dunklen Schatten der Handknochen in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand [23]. Es muss ein unfassbares Erlebnis gewesen sein, zum ersten Mal die Knochen einer intakten Hand auf einem Schirm zu sehen.

Röntgen erwähnte bereits in seiner Veröffentlichung die medizinische Anwendbarkeit. 1901 wurde ihm für die Entdeckung der neuen Strahlen der erste Nobelpreis für Physik zuerkannt. Nachdem Röntgen durch seine Entdeckung berühmt wurde, behauptete Lenard, Röntgen habe ihm seine Entdeckung gestohlen. Für seine Arbeiten über Kathodenstrahlen und die Entwicklung der Elektronentheorie wurde Lenard dann 1905 der Nobelpreis für Physik verliehen.

Die Statuten der Nobelstiftung sehen vor, dass die Laureaten einen Vortrag halten müssen. Röntgen nahm den Preis entgegen und reiste danach recht schnell aus Stockholm ab. In den folgenden Monaten verschob er Vortragtermine immer wieder und erfand immer neue kuriose Entschuldigungen um sich vor dem Vortrag zu drücken. Röntgen hat seinen Nobelvortrag nie gehalten und auf der Seite des Buchs “***Les Prix Nobel en 1901***“ steht gleich am Anfang des Buches auf einer ansonsten leeren Seite, dass Professor Röntgen den Physikpreis erhalten, aber keinen Vortrag gehalten hat.

Segenreicher Schimmel

1921 identifizierte der schottische Mediziner und Mikrobiologe ***Alexander Fleming*** Lysozym, ein Enzym, das in Tränen vorkommt und einen leichten antibakteriellen Charakter aufweist. Dieses Protein war das erste antibakteriell wirkende Enzym aus einem menschlichen Sekret, aber hinsichtlich der Abtötung von Bakterien nicht ausreichend wirksam um Entzündungen nachhaltig zu hemmen. So setzte Fleming seine Forschungen fort.



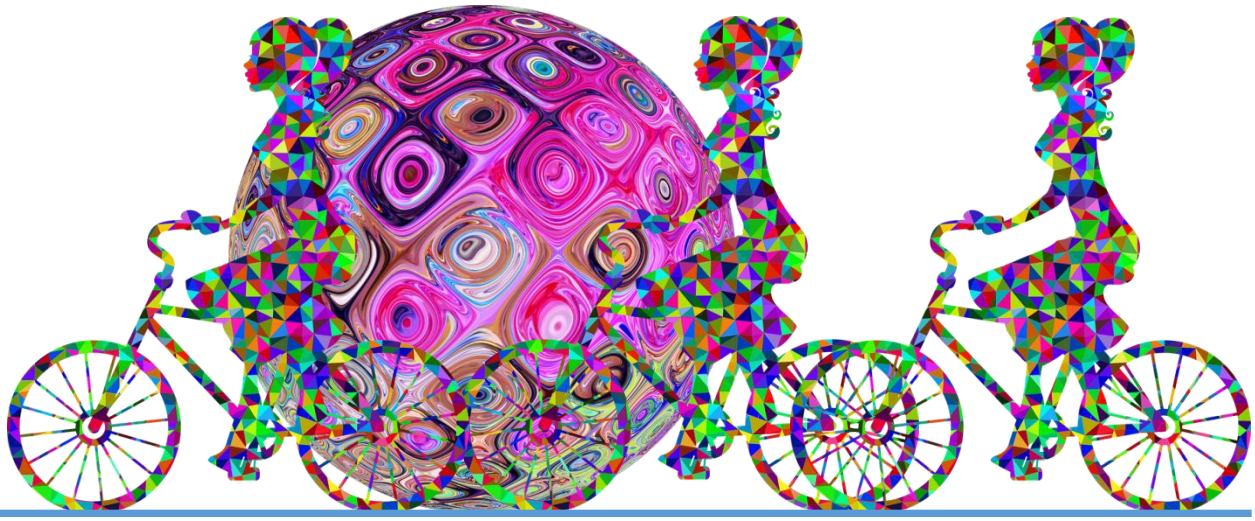
Penicillin

Eines Tages entdeckte Fleming beim Säubern von Petrischalen, das auf dem Agar-Nährboden sich Schimmel ausgebildet hatte und er erkannte, dass in der Peripherie der Schimmelbildung sich keine Bakterienstämme ausbildeten. Flemming hatte das Penicillin entdeckt.

Fleming forschte weiter und brachte in den dreißiger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts Fleming einige seiner Kulturen zu ***Howard Walter Flory*** und ***Ernst Boris Chain*** an die Universität Oxford. Die Gruppe in Oxford extrahierte die Kulturen und es gelang ihnen das Penicillin in ausreichenden Mengen für klinische Tests zu isolieren **[24]**. Schon bald zeigten die Tests spektakuläre Ergebnisse und 1945 erhielt Fleming zusammen mit Howard Walter Flory und Ernst Boris Chain den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin „für die Entdeckung des Penicillins und seiner heilenden Wirkung bei verschiedenen Infektionskrankheiten“. Die Geschichte des Penicillins geht aber eigentlich viel weiter in die Vergangenheit zurück. ***Joseph Lister*** und ***Ernest Duchense*** berichteten Ende des neunzehnten Jahrhunderts unabhängig von einander über die antibakteriologische Wirkung von Schimmelpilzen [24]. Den Berichten wurde damals aber keine weitere Aufmerksamkeit geschenkt. In 3.000 Jahre alten Texten der chinesischen Medizin ist von schimmeligem Sojaquark zu lesen der gegen Hautinfektionen eingesetzt wurde. Fleming forschte gezielt am Thema der antibakteriologischen Wirkung von Stoffen, ohne auf diese Erkenntnisse aufzubauen. Es war der Zufall, der beim Säubern einer Petrischale Fleming den Weg wies.

Bicycle-Day

Der Schweizer Chemiker ***Albert Hofmann*** wollte im Rahmen seiner Arzneimittelforschungen bei Sandoz mit dem Getreidepilz Mutterkorn (enthält Lysergsäure), ein Kreislaufstimulanz entwickeln und synthetisierte 1938 verschiedene Derivate der Lysergsäure darunter auch Lysergsäure-diethylamid (LSD). Da das Präparat bei Tierversuchen nur Unruhe unter den Tieren auslöste, aber keinerlei pharmakologische Wirkung zeigte, stellte Hofmann die Experimente mit dem neuen Stoff zunächst ein. Etwa 5 Jahre später beschäftigte sich Hofmann noch einmal mit der synthetisierten neuen Substanz. Vermutlich bekam er dabei etwas von dem LSD zufällig auf die Haut. Jedenfalls befiel ihn Unruhe und er fuhr nach Hause. Als er sich hinlegte, sah Hofmann bei geschlossenen Augen fantastische Bilder. Drei Tage später unternahm er am 19. April 1943 einen kontrollierten Selbstversuch und fuhr danach mit dem Fahrrad, begleitet von einer Laborantin, nach Hause. Er hatte eine sehr hohe Dosis von 250 µg eingenommen **[25]**. Nach einem Horrortrip genoss Hofmann die Visionen und Farbspiele, die sich in seinem Geiste auftaten. Das LSD wurde gezielt synthetisiert, die Wirkung entdeckte Hofmann jedoch zufällig. Noch heute wird von LSD-Fans der 19. April als ***Bicycle-Day*** gefeiert.



Literatur:

[1]

Otto Krätz, **Faszination Chemie**,7000 Jahre Kulturgeschichte und Prozesse,Callwey, München, 1990,ISBN 3-7667-0984-4

[2]

Ernst F. Schwenk, **Sternstunden der frühen Chemie**, von Johann Rudolph Glauber bis Justus von Liebig, Verlag C.H. Beck, 1998, ISBN 3 406 420524

[3] *A.F. Holleman, E. Wiberg, N. Wiberg*, **Anorganische Chemie,** Band 2, 103. Auflage, Nebengruppenelemente, Lanthanoide, Actinoide, Transactinoide, 2017 Walter de Gruyter-Verlag, ISBN 978-3-11-049573-7

[4]

Claus Priesner, **Chemie eine illustrierte Geschichte**, Theiss-Verlag, 2015, ISBN 978-3-8062-2977-6

[5]

Georg Schwedt, **Chemie und Literatur– ein ungewöhnlicher Flirt**,Wiley-VCH, 2009, ISBN 978-3-527-32481-1

[6]

Hans- Jürgen Quadbeck-Seeger, **Die Welt der Elemente, die Elemente der Welt**, Wiley-VCH, 2007, ISBN 978-3-527-31789-9

[7]

Theodore Gray, **Die Elemente, Bausteine unserer Welt**, Komet, 2010, ISBN 978-3-86941-000-5

[8]

Fans wollen Kilmister im Periodensystem veröffentlichen, Die Welt, 07.01.2016

[9]

Jörg Albrecht, **100 Jahre Haber-Bosch-Verfahren**, **Brot und Kriege aus der Luft**, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 14.10.2008

[10]

Justus von Liebig, **Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie**, neunte Auflage im Auftrage des Verfassers, herausgegeben von Dr.Ph Zöllner, Druck und Verlag von Friedrich Viehweg und Sohn, Braunschweig 1876, REPRINT: Buchedition Alfred Strothe, Verlagsgruppe Deutscher Fachverlag, ISBN 3-86037-031-6

[11]

Jens Hagen, **Technische Katalyse, Eine Einführung**, VCH, Weinheim, 1996, ISBN 3-527-28723-X

[12]

A.F. Holleman, E. Wiberg, **Lehrbuch der Anorganischen Chemie**, Walter de Gruyter, 1985, ISBN 3-11-007511-3

[13]

Lexikon der Chemie, Römpp online, Thieme, 2017

[14]

Brian Clegg, **Quantentheorie in 30 Sekunden,** Libero IBP, 2015, ISBN 978-90-8998-490-6

[15]

Florian Neukirchen, **Von der Kupfersteinzeit zu den Seltenen Erden**, **Eine kurze Geschichte der Metalle**, Springer Spektrum, 2016, ISBN 978-3-662-49347-2

[16]

Paul Walden, **Chronologische Übersichtstabellen zur Geschichte der Chemie**, von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart, Springer-Verlag, 1952, ISBN 978-3-642-53302-0

[17]

Erwin Starke, **Der Tod von Clara Immerwahr, Das Chemie-Unglück**, Der Tagesspiegel, 13.04.2015

[18]

Kenne Fant, aus dem Schwedischen von *Wolfgang Butt,* **Alfred Nobel, Idealist zwischen Wissenschaft und Wirtschaft**, Birkhäuser Verlag, 1995, ISBN 3-7643-5059-8

[19]

*Jens Hagen***, Chemiereaktoren,** VCH, Weinheim, 2004, ISBN 3-527-30827-X

[20]

Ch. Meinel, H. Scholz, **Die Allianz von Wissenschaft und Industrie, August Wilhelm Hofmann (1818-1892)**, VCH, 1992, ISBN 3-527-29009-5

[21]

Günther Klaus Judel, **Die Geschichte von Liebigs Fleischextrakt**, Zur populärsten Erfindung des berühmten Chemikers, Spiegel der Forschung 20. Jg./Nr. 1 • Oktober 2003

[22]

Auschwitz Birkenau – Museumsführer, Staatliches Museum Auschwitz-Birkenau in Oswiecim ISBN 978-83-60210-35-2

[23]

Albrecht Fölsing, **Wilhelm Conrad Röntgen, Aufbruch ins Innere der Materie**, Carl Hanser Verlag, 1995, ISBN 3-446-18053-2

[24]

K. C. Nicolaou, T. Montagnon, **Molecules that Changed the World**, Wiley-VCH, 2008, ISBN 978-3-527-30983-2

[25]

Derek B. Lowe,**Das Chemiebuch, Vom Schießpulver bis zum Graphen**, Libero,2016, ISBN 978-90-8998-832-4

[26]

Nobelpreismedaillen im Säurebad aufgelöst, Tagesanzeiger, 09.12.2014

[27]

H.-G. Franck, J.W. Stadelhofer, **Industrielle Aromatenchemie,** Springer Verlag,1987, ISBN-10: 3540181466

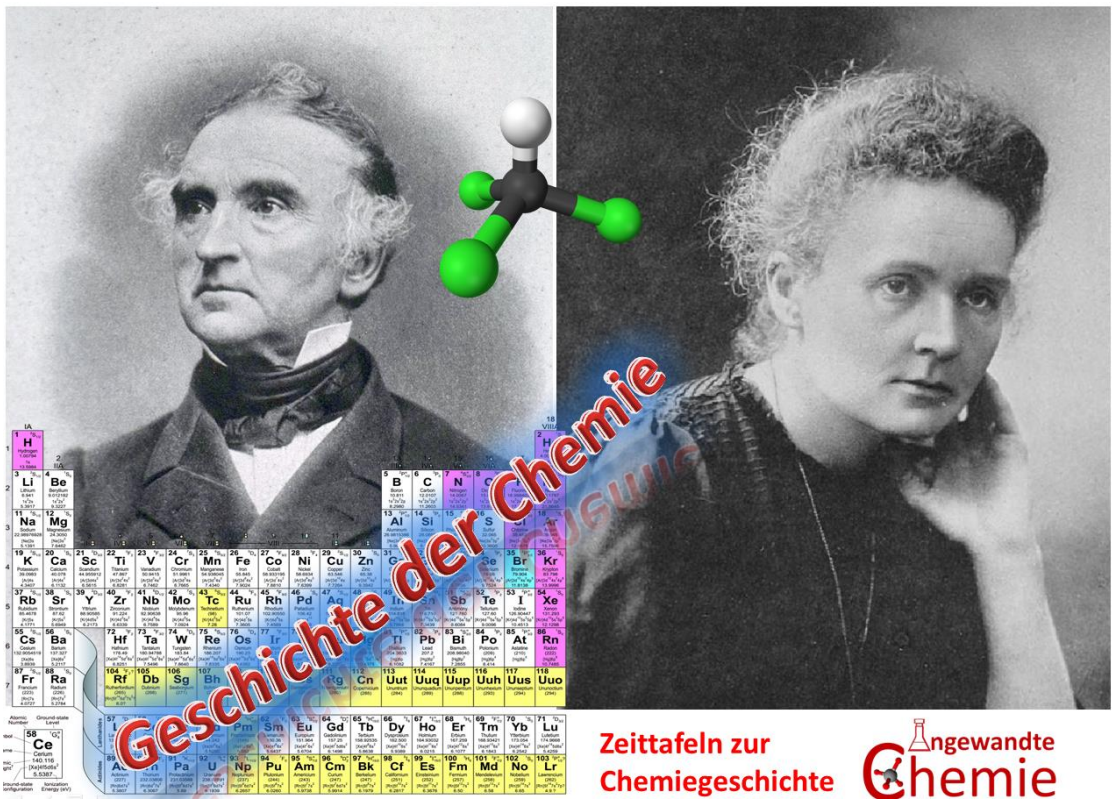
[28]

*Anette Schneider***, Ein Pionier der Chloroform-Anästhesie,** Kalenderblatt Archiv, Beitrag vom 07.06.2011, Deutschlandfunk Kultur 03.02.2018

[29]

M.E. Chevreul, **A Chemical Study of Oils and Fats of Animal Origin**, Translated and annotated by Albert J. Dijkstra, Edited by Gary R. List and Jaime Wisniak, 2009, ISBN 978-2-9533244-0-2

ZEITTAFELN



Epoche	1,5 Millionen v. Chr.	Seite 70 - Tafel 1

Entdeckung des Feuers

Epoche	40.000 v. Chr. - 30.000 v.Chr. ->

Höhlenmalerei

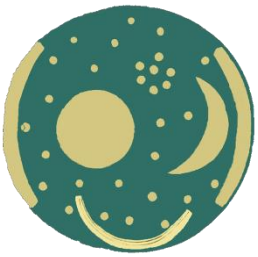
Epoche	20.000 – 2.000 v. Chr. (Ende der Jungsteinzeit)

E

- Erzeugung von Reibefeuer
- Töpferei (Tonbrennerei)
- Kochen und Eindicken
- Trocknen
- Konservieren
- Fett- und Talg-Gewinnung
- Betreibung von Öllampen
- Bekannt waren die Elemente Au, Ag, Cu, Fe (Meteoriten)

Epoche	1900 v. Chr. – 650 v.Chr. (Bronzezeit)	*Seite 71 - Tafel 1*

E



- Bronzeherstellung (Sn+Cu)
- Oxidation sulfidischer Erze
- Köhlerei
- Kohlenstoff als Reduktionsmittel
- Kalkbrennen
- Glasherstellung

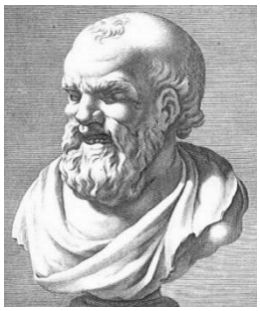
Epoche	1000 v. Chr. – 330 v. Chr. (Eisenzeit)

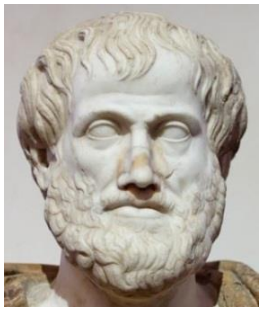
E

- Alkoholische Gärung
- Ledergerberei
- Erzröstung /Eisenherstellung
- ***Quecksilber***gewinnung /Amalgamherstellung
- Fettverseifung
- Leimherstellung
- Farbenherstellung
- Terpentinöldestillation
- Salzgewinnung

Epoche	800 v. Chr. – 600 n. Chr. (Antike)

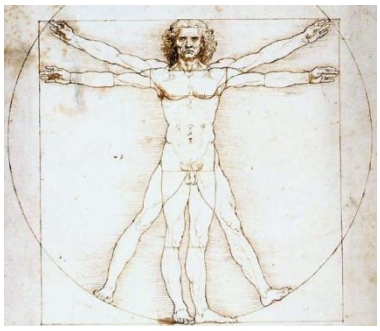
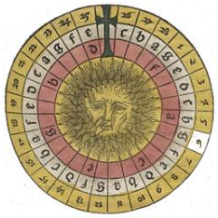
E

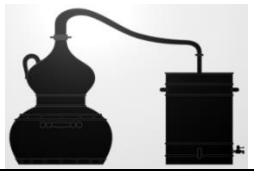


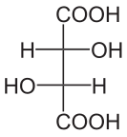
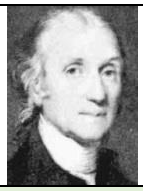
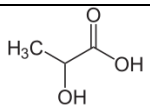
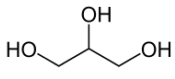
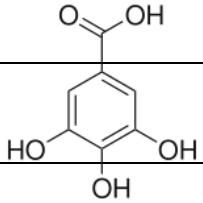


- Theorien zur Stoffumwandlung
- 460-371 v. Chr.: Demokrit (Bild links): **Atom => unteilbares kleinstes Elementarteilchen**
- 384 v. Chr. – 322 v. Chr.: Aristoteles (Bild rechts): **Lehre zu den Elementen**
- 100 n. Chr. Maria: Schriften zur Alchemie in Ägypten

Epoche	600 - 1400 (Mittelalter)	
800		***Book of Kells***, in Schottland geschrieben und nach Irland gebracht
900		Entwicklung des chinesischen Feuers in China
1000		Entwicklung von Bomben und Granaten in China
etwa 1150	**Theophilus Presbyter**	Buch "***Schedula diversarum artium***": Kunst- und Handwerktechniken alchimistische Rezepturen
1200-1280	**Albertus Magnus**	Wegbereiter des christlichen Aristotelismus
1220 - 1292	**Roger Bacon**	Buch "***Opus Majus***": Rezepturen über Schwefelsäure, Scheidewasser und Schwarzpulver

Epoche	600 - 1400 (Mittelalter)	*Seite 72 - Tafel 2*
1235 - 1311	**Arnaldus von Villanova**	20 Alchimistische Schriften, die von der Inquisition mit dem Bann belegt wurden
1235- 1315	**Raimundus Lullus**	Über 280 Schriften (Logik, Theologie, Philosophie)
Epoche	**1400 - 1650 (Renaissance)**	
1413	**Ulmannus**	Das "***Buch der heiligen Dreifaltigkeit***" (viele Rezepturen und Geräte)
1400 – 1468	**Johannes Gensfleisch (Gutenberg)**	**Erfindung des Buchdrucks**
1452 - 1519	**Leonardo da Vinci**	 Der vitruvianische Mensch Anatomische Studien Erfindungen: Fluggeräte Taucheranzug Waffen Maschinen
1493 – 1541	**Paracelsus** Alchemist Astrologe Arzt	*"Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift; allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift sei"*
1540	**Valerius Cordus**	Valerius Cordus stellt Diethylether aus Ethylalkohol und Schwefelsäure her
1531- 1596	**Thurneysser** Mineraloge Alchimist Wunderdoktor Astrologe	 Das Buch "***Archidoxa***" in Form eines Astrolabiums mit Planetentafeln für Vorhersagen zum persönlichen Schicksal und Naturereignissen.
1545 – 1591	**Marco Bragadino**	Alchimistische Tricks – Hochstapler Hingerichtet wegen alchimistischen Betrugs
1614	**John Napier**	Veröffentlichung der ersten Logarithmentafel
1654	**Robert Bissaker**	Rechenschieber mit beweglicher Zunge zwischen zwei Skalen
1626- 1691	**Robert Boyle**	Nachweis von Eisensalzen und Kupfersalzen in Wasser mit Galläpfelsaft
1636- 1686	**Freiherr von Krohnemann**	Geadelt wegen alchimistischer Verdienste, hingerichtet wegen alchimistischen Betrugs

Epoche	1650 – 1850 (Aufklärung) – Von der Alchemie zur modernen Chemie *Seite 73 - Tafel 2*	
1663-1727	**Doktor Eisenbarth**	Landesweiter Ruhm als Wundarzt und Starstecher Quacksalbertruppe mit etwa 180 Mitarbeitern: Hilfsärzte, Händler, Zauberer, Seiltänzer, Feuerspeier, Musikkapellen und Theatergruppen
1670-1709	**Graf von Ruggiero**	Alchimist, Betrüger, Hochstapler Zauberkünstler / Taschenspieler, hingerichtet wegen alchimistischen Betrugs
1600-1800	**Johann Rudolph Glauber** **1604-1670** Apotheker Alchimist	**Isaac Newton** **1643-1727** Physiker Alchemist **Johann Friedrich Böttger** **1682-1719** Alchemist Erfinder **Carl Wilhelm Scheele** **1742-1786** Apotheker **Antoine Laurent de Lavoisier** **1743-1794** Jurist Privatgelehrter
1655	**Glauber**	 Gründung der ersten chemischen Handwerksbetriebe in Amsterdam
1668	**Newton**	Entwicklung des ersten Spiegelteleskops (1668-1672)
E **1669**	**Hennig Brand**	**P** Gewinnung von weißem Phosphor aus Urin
1687	**Newton**	Buch ***"Philosophiae naturalis principia mathematica"*** • Veröffentlichung der Gravitationsgesetzte, • Gründung der klassischen Mechanik
1709	**Böttger**	Erfindung des Porzellans zusammen mit Ehrenfried Walther von Tschirnhaus
1710	**Böttger**	MEISSEN MANUFAKTUR SEIT 1710 Technische Leitung der ersten Porzellanmanufaktur
E **1735**	**Georg Brandt**	**Co** Darstellung und Charakterisierung von Cobalt
H_2SO_4 **1746**	**John Roebuck**	Erstes ***Bleikammerverfahren*** zur Herstellung von **Schwefelsäure**
1750	**Gabriel Francois Venel**	Verwendung von dem Farbindikator Veilchensaft bei einer Mineralwasseranalyse und Beobachtung der Rotfärbung beim Zusatz von Schwefelsäure.
E **1751**	**Frederic von Cronstedt**	**Ni** Darstellung und Charakterisierung von Nickel

Epoche	1650 – 1850 (Aufklärung) – Von der Alchemie zur modernen Chemie *Seite 74 - Tafel 3*	
E 1766	Cavendish	H_2 Auflösung von Metallen in Säuren, Bildung von Wasserstoff (brennbare Luft) -> Ende der Phlogistontheorie
1768	Leonhard Euler	Eulerverfahren im Buch *"Institutiones Calculi Integralis"*
1769	Scheele	 Entdeckung der ersten Organischen Säure, Weinsäure
E 1770	Johann Gottlieb Gahn	P Entdeckung von Phosphor in Knochenasche
NH_3 1771	Scheele	Entdeckung von Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Fluorwasserstoffsäure
E 1772	Scheele	O_2 Sauerstoff aus Calciumnitrat und Schwefelsäure
1772	Lavoisier	Gesetz der Erhaltung der Masse / Luft ist ein Gasgemisch
E 1772	D. Rutherford Cavendish 1731-1810 Naturforscher Scheele	N_2  Entdeckung eines Luftbestandteiles, der die Verbrennung nicht unterhält (Stickstoff)
E Cl_2 1774	Scheele	Cl_2 Darstellung von Chlor aus Salzsäure und Braunstein
	Scheele	Entdeckung von Arsenwasserstoff, Darstellung von weißem Phosphor aus Knochenasche
1775	Lavoisier	Sauerstoff ist bei der Verbrennung und Atmung unentbehrlich
1780	Scheele	Entdeckung der Milchsäure 
1781	Cavendish	Synthese von künstlichem Wasser
1783	Scheele	Isolierung von Glycerin aus Olivenöl Isolierung von Blausäure aus Berliner Blau 
1784	Scheele	Entdeckung der Zitronensäure
1785	Scheele	Entdeckung der Äpfelsäure 
1786	Scheele	Entdeckung der Gallussäure
1787	Lavoisier	Erste systematische Nomenklatur der Chemie

<table>
<tr><th>Epoche</th><th colspan="2">1650 – 1850 (Aufklärung) – Von der Alchemie zur modernen Chemie Seite 75 - Tafel 3</th></tr>
<tr><td>1740 – 1850</td><td colspan="2">
Nicolas Le Blanc

1742-1806
Chirurg

Martin Heinrich Klaproth

1743-1817
Apotheker

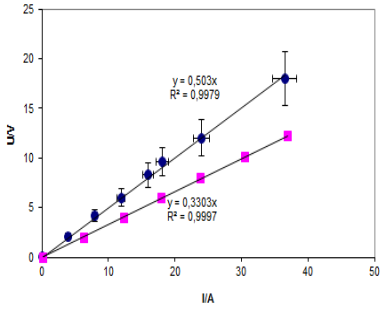
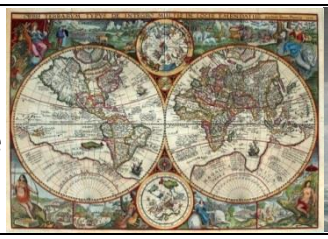
Gay Lussac

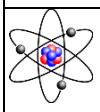
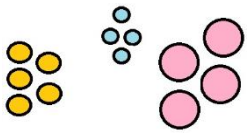
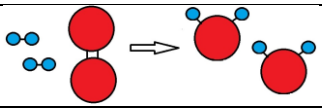
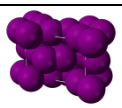
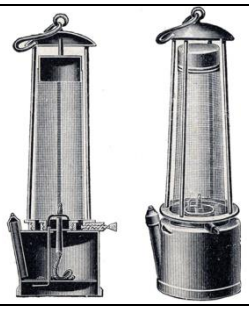
1778 - 1850
Chemiker und Physiker

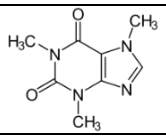
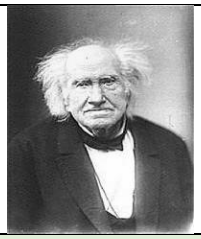
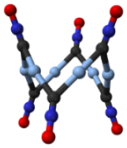
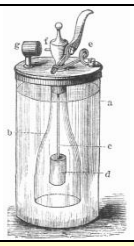
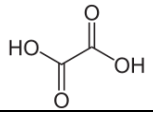
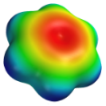
Alexander von Humboldt

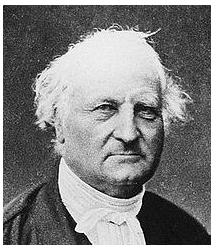
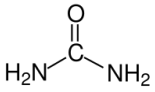
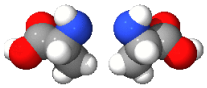
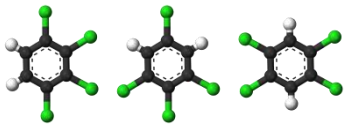
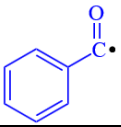
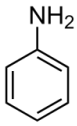
1769-1859
Naturforscher

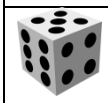
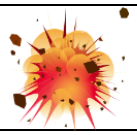
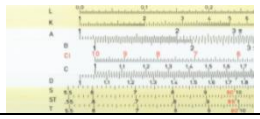
John Dalton

1778 - 1850
Naturforscher / Lehrer
</td></tr>
<tr><td>Na_2CO_3
1789</td><td>Leblanc</td><td>Herstellung von künstlichem Soda,
erstes großtechnisches Fabrikationsverfahren in der Chemie</td></tr>
<tr><td>E
1789</td><td>Klaproth</td><td>U Zr Entdeckung der Elemente Uran und Zirkonium</td></tr>
<tr><td>E
1792</td><td>Klaproth</td><td>Ti Entdeckung von Titan im Rutil</td></tr>
<tr><td>1895</td><td>Carl Friedrich Gauß</td><td>Entwicklung der Methode der kleinsten Quadrate (Regressionsrechnung)
 
</td></tr>
<tr><td>E
1797</td><td>Klaproth</td><td>Cr Entdeckung des Elementes Chrom</td></tr>
<tr><td>E
1798</td><td>Klaproth</td><td>Te Entdeckung des Elementes Tellurium</td></tr>
<tr><td>1798</td><td>Cavendish</td><td>Bestimmung der Dichte der Erde</td></tr>
<tr><td>1799-1804</td><td>Alexander von Humboldt</td><td>Amerikanische Forschungsreise
  </td></tr>
</table>

Epoche	1650 – 1850 (Aufklärung) – Von der Alchemie zur modernen Chemie *Seite 76 - Tafel 4*	
1799		Gründung der "***Royal Institution of Great Britain***"
1800	**Volta**	Konstruktion der Voltaschen Säule (erste Batterie)
1801	**Dalton**	Formulierung des Partialdruckgesetzes $p = p_1 + p_2 + ...$ $p_1 = y_1 \cdot p$
E **1801**	**Gustaf Ekeberg**	**Ta** Entdeckung von Tantal als Element
E **1801**	**Charles Hatchett**	**Nb** Entdeckung von Niob in einer Probe Columbit-Erz. Das Element wurde zunächst ***Columbium*** genannt.
1802	Gay-Lussac	Gesetz zur Wärmeausdehnung von Gasen
1770-1870	Sir Humphry Davy **1778-1829** Chemiker	Jöns Jakob Berzelius **1779-1848** Medizner/Chemiker — Michael Faraday **1791-1867** Chemiker
E **1803**	Berzelius	**Ce** Entdeckung von Cer (gemeinsam mit Klaproth und Hisinger)
1803	Berzelius	Elektrolyse zur Gewinnung reiner Metalle
 **1803**	Dalton	 Chemische Atomtheorie
1804	Dalton	 Gesetz der multiplen Proportionen
E **1807**	Davy	**Na** **K** Darstellung von Natrium und Kalium über Schmelzelektrolyse
1808	Gay Lussac	Gesetz der multiplen Volumina für Gase
E **1811**	**Bernard Courtois**	**I_2** Entdeckung von Iod 
1811	**Amedeo Avogadro**	Das Gesetz Avogadros zur Teilchenzahl in Gasbehältern
1815	Davy	Erfindung der Grubenlampe gegen Schlagwetter 

Epoche	1650 – 1850 (Aufklärung) – Von der Alchemie zur modernen Chemie *Seite 77 - Tafel 4*	
E 1815	Berzelius	Symbolische Kurzbezeichnung für chemische Elemente
E 1817	**Johan August Arfwedson**	**Li** Entdeckung des Elements Lithium
E 1818	Berzelius	**Se** Entdeckung des Elements Selen
E 1818	Berzelius	Erste Atomgewichtstabelle
1819	Döbereiner **1780-1849** Chemiker	Isolation von Koffein aus Kaffeebohnen 
1823	Chevreul **1786-1889** Chemiker	 Begründer der Fettchemie und der modernen Theorie der Farben. *"Recherches chimiques sur les corps gras d'origine animale"*
Cl_2 1823	Faraday	Verflüssigung von Chlor
1823 Justus von Liebig **1803-1873** / Chemiker		 Liebig und Wöhler machen die Beobachtung, dass zwei verschiedene Stoffe die gleiche Bruttoformel besitzen können (Isomerie). Knallsilber AgCNO Silbercyanat AgOCN Friedrich Wöhler **(1800-1882)** Mediziner / Chemiker
1823	Döbereiner	 Erfindung eines Feuerzeugs, bei dem sich Wasserstoff an Platinmohr entzündet, es ist das erste Beispiel für eine Katalyse
Na_2CO_3 1823	James Muspratt	Erste Sodafabrikation in Liverpool nach dem Leblanc-Verfahren
1824	Wöhler	Gewinnung von Oxalsäure aus Dicyan 
E 1824	Berzelius	**Si** Entdeckung des Elementes Silizium (in einem Bachkiesel)
1825	Faraday	 Isolation von Benzol aus Kokereigas

Epoche	1650 – 1850 (Aufklärung) – Von der Alchemie zur modernen Chemie *Seite 78 - Tafel 5*	
E **1826**	**Antoine Jerome Balard 1802-1876** Chemiker	**Br**  Gewinnung von Brom aus Meeralgen
E **1827**	**Wöhler**	Gewinnung von Aluminium aus Tonerde
E **1828**	**Wöhler**	**Be Y** Isolierung von Beryllium und Yttrium
1828	**Wöhler**	Synthese von Harnstoff, Ende der Theorie von der *"vis vitalis" -> Begründung der Organischen Chemie* 
E **1829**	**Berzelius**	**Th** Berzelius veröffentlicht die Entdeckung des Elements Thorium
E **1829**	**Wöhler**	**P** Herstellung von Phosphor aus Knochenasche
E **1829**	**Wolfgang Döbereiner**	*PSE* *"Triadenregel"* – Grundstein für das Periodensystem der Elemente
1830	**Berzelius**	Prägung des Begriffs ***"Isomerie"***  
1831	**Liebig**	*"Fünf-Kugel-Kaliapparatur"* zur Verbesserung der Elementaranalyse
H_2SO_4 **1831**	**Peregrine Phillips**	Entwicklung und Patentierung des *Kontaktverfahrens* zur spontanen Oxidation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid (Pt als Katalysator, noch keine industrielle Umsetzung)
1832	**Liebig / Wöhler**	Die gemeinsame Veröffentlichung einer Arbeit über das Benzoylradikal gilt als die Begündung der Radikaltheorie 
1833	**Faraday**	Prägung der Begriffe Kathode, Kation, Anode, Anion Entstehung des Faradayschen Gesetzes
1834 	**Friedlieb Ferdinand Runge**	 Isolation von Anilin aus Steinkohlenteer -> Begründung der Farbenchemie
1835	**Liebig**	Verfahren zur Herstellung von Silberspiegeln
1835	**Berzelius**	Prägung des Bergiffs ***"katalytische Kraft"***

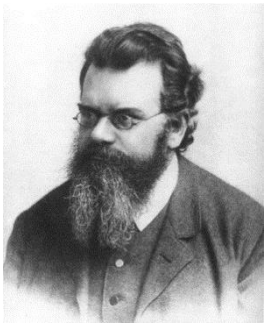
Epoche	1650 – 1850 (Aufklärung) – Von der Alchemie zur modernen Chemie	*Seite 79 - Tafel 5*
Heinrich Rose Mineraloge und analytischer Chemiker **Christian Friedrich Schönbein** Deutsch-schweizerischer Chemiker und Physiker **Julius Robert Mayer** Arzt und Physiker		**Rose 1795-1864** **Schönbein 1799-1868** **Mayer 1814-1878**
1839	**Liebig**	Einführung der praxisorientierten Chemikerausbildung in Gießen
1839 **PO**	**Charles Goodyear**	Entdeckung der Vulkanisation des Kautschuks
1840	**Liebig**	Publikation: **"*Die Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*"**
1841	**Franz Varrentrapp** **Heinrich Will**	Verbesserung von Liebigs Kaliapparat Bestimmung des Stickstoffs als Ammoniak
1842	**Julius Robert von Mayer**	Veröffentlichung einer Arbeit über die Umwandlung von mechanischer Energie in Bewegungsenergie in Liebigs ***Annalen der Chemie und Pharmazie*,** Geburtsstunde des ***ersten Hauptsatz der Thermodynamik***
1844	**Heinrich Rose**	***Niob- und Tantalsäure*** sind unterschiedliche Stoffe
 **1845**	**Schönbein**	Entdeckung der Schießbaumwolle (Nitrozellulose) 
E **1848**	**Anton Schrötter**	**P** Darstellung des roten Phosphors
Epoche	**1850 –> moderne Chemie**	
1850	**Amédée Mannheim**	 Einheitlicher Rechenschieber mit transparentem Läufer
1850	**Adolph Strecker**	Publikation der "***Strecker Aminosäuresynthese***"
1853	**Stanislao Cannizzaro**	Veröffentlichung in Liebigs *Annalen der Pharmazie*: Gewinnung des ersten aromatischen Alkohols ***("Cannizzaro – Reaktion")***
1853	**Liebig**	Erfindung des Fleischextraktes
1855	**Liebig**	***"Gesetz des Minimums"*,** nachdem der am wenigsten verfügbare Nährstoff den Ernteertrag bestimmt
1855	**Alexander Parkes**	Patent zur Herstellung von künstlichem Horn aus Schießbaumwolle und Campher ***("Zelluloid")***
1859	**A. Kekule E. Erlenmeyer**	Beginn der Strukturchemie

Epoche	1850 –> moderne Chemie	Seite 80 - Tafel 6

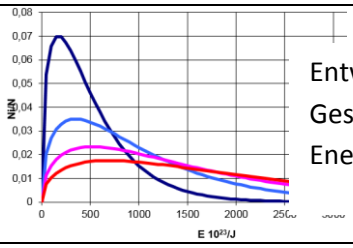
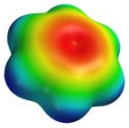
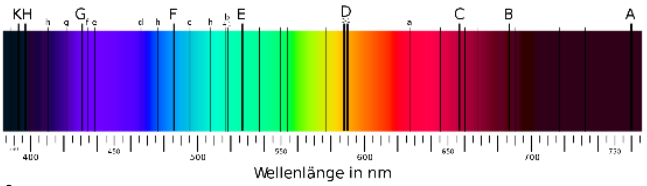
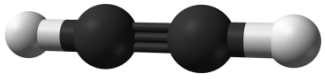
Robert Wilhelm Bunsen
1811-1899
Chemiker

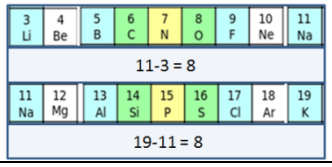
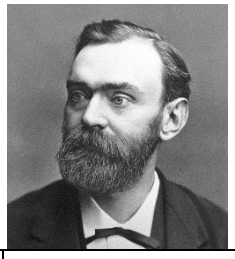
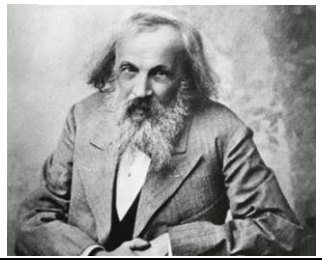
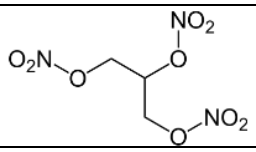
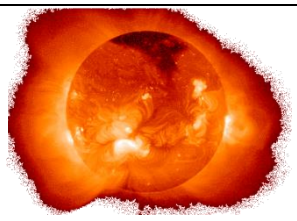
Friedrich August Kekulé
1829-1896
Chemiker

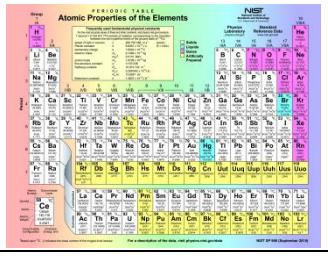
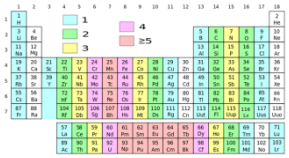
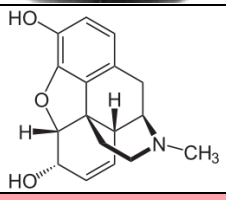
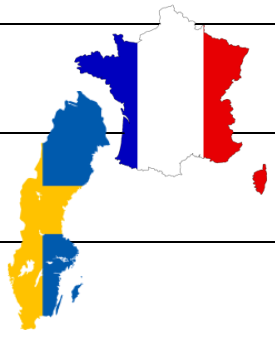
James Clerk Maxwell
1831-1879
Physiker



Ludwig Eduard Boltzmann
1844-1906
Physiker

1860	**James Clerk Maxwell** **Ludwig Boltzmann**	 Entwicklung der Maxwell-Boltzmannschen Geschwindigkeitsverteilung und Energieverteilung
1860	**Kekulé**	Initiative zum ersten "***Internationalen Chemiker-Kongress***" mit 140 Teilnehmern in Karlsruhe
1865	**Kekulé**	Veröffentlichung eines Vorschlags für die Struktur des Benzolrings, Grundlage für die Ableitung der Strukturen von aromatischen Verbindungen aus dem Steinkohlenteer 
1860	Chemische Strukturformeln von Stoffen können aus der elementaren Zusammensetzung durch gedankliche Kombination ermittelt werden	
E **1860** **1861**	**Gustav Robert Kirchhoff** **Robert Wilhelm Bunsen**	Entwicklung der Spektralanalyse Entdeckung von Cäsium und Rubidium **Cs Rb** 
1862	**Wöhler**	Calciumcarbid aus Calcium und Kohle –> Entdeckung des Acetylens 
1863	**Johan Kjeldahl**	Entwicklung einer Methode zur quantitativen Bestimmung von Stickstoff
1863	Gründung der Firma **Friedrich Bayer et. Comp.**	
1864	Schießbaumwolle in Ether/ Ethanol (1:2) gelöst (**Kollodium**) als Wundschnellverband. Im Krimkrieg diente Kollodium als Beschichtung für Wunden	

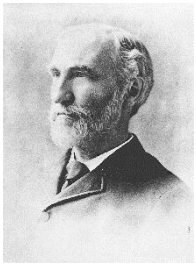
Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 81 - Tafel 6
E 1864	**John Alexander Reina Newlands**		Bei einem Intervall von 8 Elementen zeigen sich auffallende Ähnlichkeiten in den Eigenschaften -> ***"Gesetz der Oktaven"*** *PSE*
1864	**C.M. Guldberg Peter Waage**	Veröffentlichung des Massenwirkungsgesetztes	
Na_2CO_3 **1865**	Etablierung des ***Solvayverfahrens*** zur Herstellung von Soda		
1865	Gründung der **B**adischen **A**nilin und **S**oda**F**abrik (**BASF**)		
	Johann Wilhelm Hittorf **1824-1914** Chemiker 	**Alfred Nobel** **1833-1896** Chemiker 	**Dmitri Iwanowitsch Mendelejew** **1834-1907** Chemiker *PSE* 	**Henri Moissan** **1852-1907** Chemiker
1865	**Josef Loschmidt 1821-1895**	Bestimmung der Zahl an Molekülen in $1m^3$ Gas L=2,687 $\cdot 10^{25}$ m^{-3}	
E **1865**	**Johann Wilhelm Hittorf**	**P** Auskristallisation von violettem Phosphor	
1867	**Nobel**	Das Produkt Dynamit wird patentiert 	
1867	Gründung der Deutschen Chemischen Gesellschaft		
E **1868**	**Jules Janssen 1824-1907**	**He** Entdeckung der Spektralinie 587,49 nm bringt den Hinweis auf ein neues Element	
E **1868**	**Sir Joseph Norman Lockyer 1836-1920** **Sir Edward Frankland 1825-1899**	**He**  Bestätigung der Spektrallinie von 587,49 nm. Als Namen für das neue Element wurde Helium vorgeschlagen.	
1869	**John Wesley Hyatt 1837-1920**	Verbesserung des thermoplastischen Kunstoffes Zelluloid zur Produktion von Billardkugeln in Amerika. Das Elfenbein für Billardkugeln konnte ersetzt werden. Trotz dieser Entwicklung nahm die Elefantenpopulation weiter drastisch ab.	

Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 82 – Tafel 7
E 1869	**Mendelejew** **Lothar Meyer**	Entdeckung einer Periodizität bei den Elementen	 **PSE** 
1869	**Heinrich Caro** **Carl Graebe** **C. Liebermann**	Synthese des ersten natürlichen Farbstoffs - Alizarin	
E 1869	**Mendelejew**	**Sc** PSE	Voraussage des Elementes Eka-Bor mit der Ornungszahl 21 (Scandium)
E 1871	**Mendelejew**	PSE **Ga Ge**	Voraussage der Elemente Eka –Aluminum mit der Ordnungszahl 31 (Gallium) und Eka-Silicium mit der Ordnungszahl 32 (Germanium)
1871	**James Clerk Maxwell**		Veröffentlichung des Gedankenexperiments ***"Maxwellscher Dämon"***
1873	**Johannes Diderik Van der Waals** **1837-1923** Physiker		Erstellung der van der Waals – Zustandsgleichung (1910 Nobelpreis für Physik) $R \cdot T = \left(p + \frac{a}{V_m^{\,2}} \right) \cdot (V_m - b)$
1874	**Charles Romley Alder Wright**		Durch die Strukturaufklärung bei verschiedenen Alkaloiden und Terpenen gelang die Konstitutionsaufklärung von Morphin.
H_2SO_4 **1875**	Industrielles ***Kontaktverfahren*** mit Platin als Katalysator zur Schwefelsäureproduktion		
1876	**O.N. Witt**	Theorie der auxochromen und chromophoren Gruppen	
1876	**Nobel**	Herstellung von Sprenggelatine mit Glycerinnitrat und Kollodiumwolle	
E 1879	**Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran**	**Ga**	Herstellung von elementarem Gallium (***"Patriotisches Element"***) 
E 1879	**Lars Fredrik Nilson**	**Sc**	Entdeckung des Elementes Scandium (***"Patriotisches Element"***)
E 1882	**Luigi Palmieri**	**He**	Nachweis von Helium auf der Erde durch Spektralanalyse von Vesuv Lava
1883	**Hans Heinrich Landolt** **1831-1910** Chemiker		Physikalische-chemische Tabellen (***"Landolt-Börnstein"***), einbändiges Handbuch mit 280 Seiten

Epoche	1850 –> moderne Chemie	Seite 83 – Tafel 7

Hermann von Helmholtz
1821-1894
Physiologe /Physiker

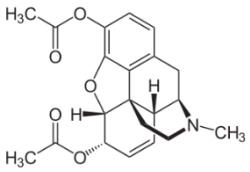
Josiah Willard Gibbs
1839-1903
Physiologe /Physiker



Svante August Arrhenius
1859-1927
Physiker/Chemiker

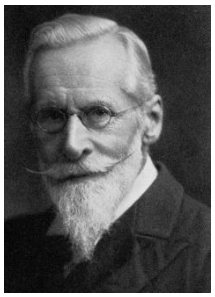
Agnes Pockels
1862-1935
Chemikerin

1876-1878	**Josiah Willard Gibbs**	Artikelserie mit dem Gesamttitel ***"On the Equilibrium of Heterogeneous Substances"***, die als eine der größten Errungenschaften in der Physik des 19. Jahrhunderts angesehen wird und als Grundlage der Physikalischen Chemie gilt -> ***"Gibbs Helmholtz-Gleichung"***
1877	**Ludwig Eduard Boltzmann**	Arbeit über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht aus dem Jahr 1877 –> ***"Boltzmannsche Entropieformel"*** $S = k_B \cdot \ln(\omega)$
1882	**Agnes Pockels 1862-1935**	Erfindung einer Schieberinne zur Untersuchung von Oberflächen (1932 Ehrendoktorwürde der Universität Braunschweig)
1882 1883	**Helmholtz**	Drei Abhandlungen über die "***Thermodynamik chemischer Vorgänge***" , Anwendung der Hauptsätze der Thermodynamik auf die Elektrochemie. Einführung des Begriffs der freien Energie ->***"Gibbs Helmholtz-Gleichung"***
E **1886**	**Clemens Winkler**	**Ge** Entdeckung des Elementes Germanium (***"Patriotisches Element"***)
1886	**Hans Heinrich Landolt**	Ausführliche Versuche zur Iodbildung über die Zeitreaktion (Landolt-Reaktion)
E **1886**	**Henry Moissan**	**F** Darstelllung des Elementes Fluor (1906 Nobelpreis für Chemie)
1887	**Henry Le Chatelier**	Gesetz zur Beeinflussung von chemischen Gleichgewichten ***Gesetz des kleinsten Zwanges***
1889	**Walther Nernst** **1864-1941** Chemiker Physiker	Nernst-Gleichung $E = E^\circ + \frac{R \cdot T}{z \cdot F} \ln\left(\frac{[Ox]}{[\mathrm{Re}d]}\right)$
1889	**Svante Arrhenius**	Arbeiten zur Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit Arrheniusgleichung $k = k_0 \cdot \exp\left(\frac{-Ea}{R \cdot T}\right)$ 1903 Nobelpreis für Chemie (für die Theorie über die elektrolytische Dissoziation)

Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 84 – Tafel 8
1891	**Nernst**	Nernstsches Verteilungsgesetz $K = \frac{c(E)}{c(R)} = \frac{n(E) \cdot V(R)}{n(R) \cdot V(E)}$	
1892	**Thomas Willson**	Erfindung einer wirtschftlichen Methode zur Gewinnung von Calciumkarbid	
1893	**Wilhelm Ostwald** **1853-1932** Chemiker / Philosoph		Einführung des Bergiffes Mol für die Stoffmenge (1909 Nobelpreis für Chemie für Arbeiten zur Katalyse)
1893	**Felix Hoffmann**	Darstellung von Diacetylmorphin (**Heroin**) aus Morphin mit Essigsäureanhydrid bei der Firma **Bayer**	
1894	Karbidlampen an Gebäuden		
1895	**Sir William Ramsay**	**He** Gewinnung von Helium aus einem Uranmineral (Zusatz von Mineralsäuren und Isolierung des Gases)	
1895	**Conrad Röntgen** **1845-1923** Physiker		Entdeckung der Röntgenstahlung (erster Physik Nobelpreis 1901)
1896	**Emil Albert Knoevenagel**	Darstellung ungesättigter Carbonylverbindungen (Knoevenagel-Reaktion)	
1896	**Bayer** entwicklt das Verahren zur Gewinnung von Diacetylmorphin und lässt das neue Pharmprodukt unter den Markennamen ***Heroin*** schützen.		
1896	Karbidlampen an Fahrrädern und anderen Fahrzeugen		
1896	**Alfred Nobel**	Veröffentlichung des Testaments von Alfred Nobel	
1897	**Sir Joseph John Thomson** **Emil Wiechert**	Nachweis des Elektrons bei der Untersuchung von Kathodenstrahlen und Pionierarbeiten zur Entwicklung des Massenspektrometers (John Thomson, 1906 Nobelpreis für Physik)	

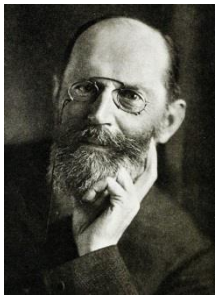
Epoche	1850 –> moderne Chemie	*Seite 85 – Tafel 8*

William Crookes
1832-1919
Physiker /Chemiker

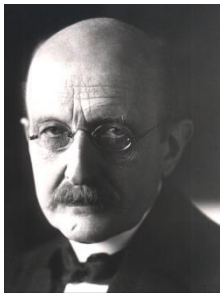


Jacobus Henricus van't Hoff
1852-1911
Chemiker

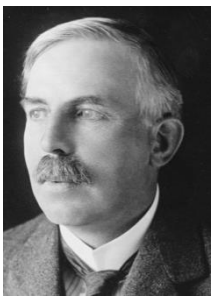
Hermann Emil Fischer
1852-1919
Chemiker

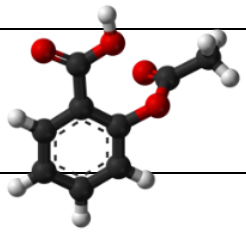


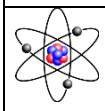
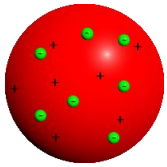
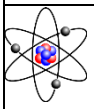
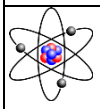
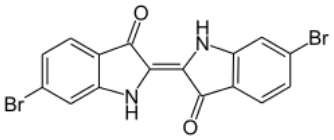
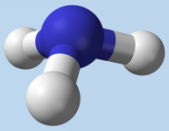
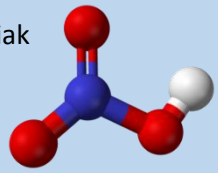
Max Planck
1858-1947
Physiker

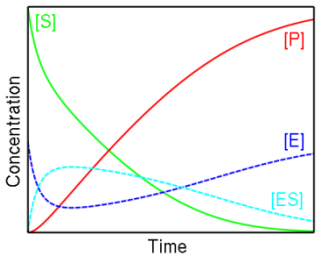
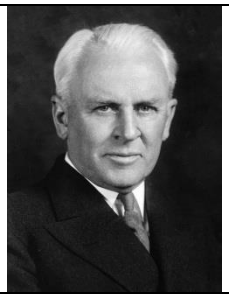
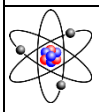
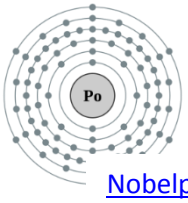
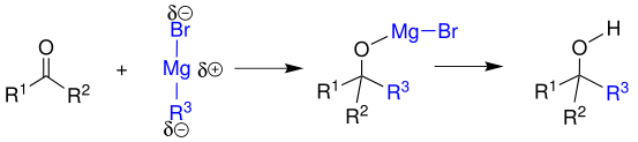


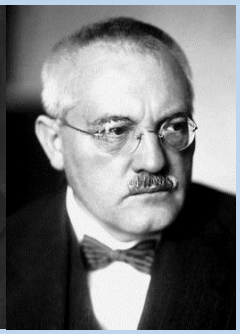
Ernest Rutherford
1871-1937
Chemiker

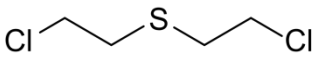
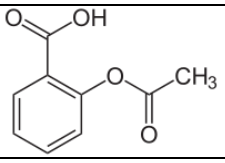
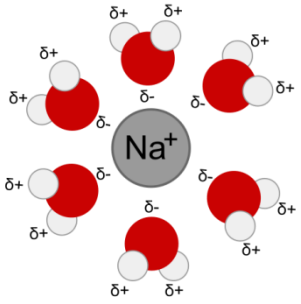
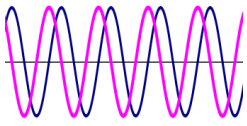


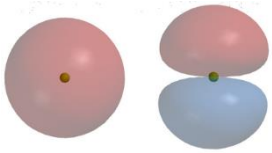
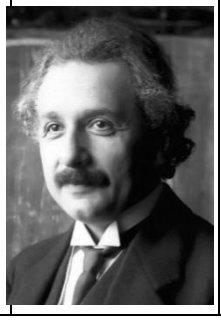
1897	**Ernest Rutherford**	Die ionisierende Strahlung des Urans besteht aus mehreren Teilchen
Cl_2 1898	Einführung der elektrolytischen Chlorfabrikation in Ludwigshafen (***Chloralkalielektrolyse***)	
1898	**Marie Curie** **1867-1934** Physikerin /Chemikerin **Pierre Curie** **1859-1906** Physiker	**Ra** Isolierung des Radiums aus Pechblende
1898	**William Crookes**	Rede vor der British Association for the Advancement of Science in Bristol. Bis zum Jahr 1918 kann die Nachfrage nach Düngemitteln nicht mehr gedeckt werden, es droht eine katastrophale Hungersnot.
1898	**Felix Hoffmann**	**Bayer**, Patent zur Herstellung von reiner Acetylsalicylsäure (Aspirin). Der tatsächliche Erfinder war vielleicht Ernst Arthur Eichengrün. 
1900	**Max Planck**	Entdeckung des Planckschen Wirkungsquantums 1919 Nobelpreis für Physik für das jahr 1918
1900	**Bayer** in Leverkusen	
1901	**Jökichi Takamine**	Isolierung des blutdrucksteigernden Wirkstoffs Adrenalin aus wässrigen Extrakten der Nebenniere
1901	**Röntgen**	Nobelpreis für Physik für die Entdeckung der Röntgenstrahlung
1901	**Jacobus Henricus van 't Hoff**	Erster Nobelpreis für Chemie. Untersuchungen zur Chiralität des Kohlenstoffs, zur Reaktionskinetik, zum Avogadrogesetz für Lösungen

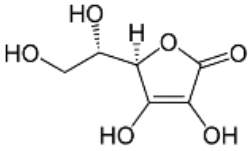
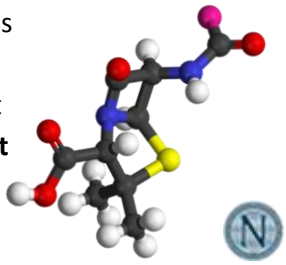
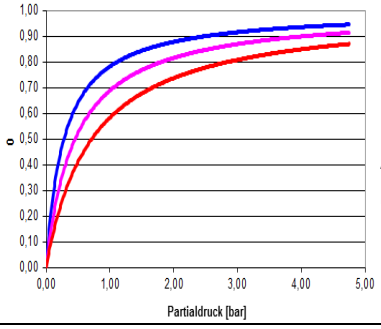
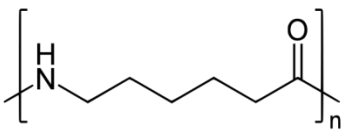
Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 86 – Tafel 9
1902	**Fischer Franz Hofmeister**	Hypothese über den Aufbau der Proteine durch Säureamidbindung	
1902	**Fischer**	Nobelpreis für Chemie, für die bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der Zuckerchemie (Fischerprojektionen), Fischer gilt als Begründer der Organischen Chemie	
 **1903**	**Joseph John Thomson 1856-1940** Physiker	 Erstes Atommodell, das den Atomen eine innere Struktur zuschreibt (Rosinenkuchenmodell)	
 **1903**	**Ernest Rutherford**	Chemische Elemente können durch radioaktiven Zerfall in Elemente mit kleinerer Ordnungszahl übergehen. Einteilung der Radioaktiven Strahlung in α-Strahlung β-Strahlung und γ-Strahlung (1908 Nobelpreis für Chemie)	
 **1903**	**Pierre Curie Marie Curie Antoine Henri Becquerel**	Nobelpreis für Physik für Arbeiten auf dem Gebiet der Radioaktivität	
1903	6,6'-Dibromindigo wurde erstmals synthetisiert (Purpur) 		
NH_3 1904	**(Nernst) Fritz Haber**	Beginn mit den Arbeiten zur Ammoniaksynthese (1918 Nobelpreis für Chemie) 	
1905	**Walther Nernst**	Formulierung des dritten Hauptsatzes der Thermodynamik (1921 Nobelpreis für Chemie für die Arbeiten zur Thermochemie)	
1907	**Walther Nernst**	Beschreibung von Diffusionsschichten (Nernstsche Diffusionsschicht)	
CAS 1907	Gründung der Chemical Abstracts Service **(CAS)**		
1908	**Rutherford**	Nobelpreis für Chemie, für die Untersuchungen zum Zerfall der Elemente	
NH_3 1908 1909	**Wilhelm Ostwald**	Großtechnische Herstellung von Salpetersäure durch Oxidation von Ammoniak (1909 Nobelpreis für Chemie (Arbeiten zur Katalyse, Gleichgewichtseinstellung und Reaktionsgeschwindigkeiten) (Patent zum Ostwaldverfahren 1902) 	
1909	**Paul Friedländer**	Bestimmung der Struktur des Purpurs als Dibromindigo	
1909	**Perrin**	Die Zahl der Teilchen in 1 mol Stoff soll als Avogadrokonstante benannt werden (Vorschlag von Perrin)	$N_A = 6{,}022\ 10^{23}\ mol^{-1}$

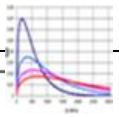
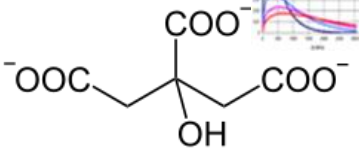
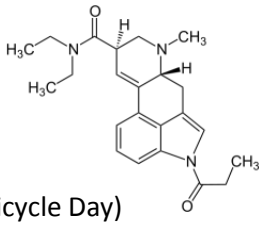
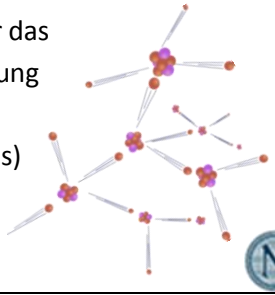
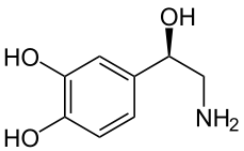
Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 87 – Tafel 9
1910	**Maud Leonora Menten** **1879-1960** Medizinerin **Leonor Michaelis** **1875-1949** Biochemiker/ Mediziner	Entwicklung der **Michaelis-Menten-Theorie** als mathematisches Modell zur Beschreibung der Enzymkinetik	$E + S \underset{k_1'}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} [ES] \xrightarrow{k_2} P + E$ 
 1910	**Robert Andrews Millikan** **1868-1953** Physiker		Bestimmung der Elementarladung (1923 Nobelpreis für Physik) $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19} C$
 **1911**	**Rutherford**		Streuversuche mit α-Teilchen auf Goldfolie. Das Atom ist fast leer. Der Durchmesser des Atomkerns ist etwa 10.000 mal kleiner als das Atom selbst - > Neues Atommodell
 E **1911**	**Marie Curie**		 **Po** Nobelpreis für Chemie, für die Entdeckung des Poloniums
1911	**Heike Kamerlingh Onnes**	Entdeckung des Phänomens der Supraleitung am Quecksilber (1913 Nobepreis für Physik)	
1912	**Louis Camille Maillard** **1878-1953** Mediziner/ Chemiker		Studien zur Reaktionen von Aminosäuren mit Zuckern - **Maillardreaktionen**
1912	**Victor Grignard** **1871-1935** Chemiker		**+ H_2O - MgBrOH**  Nobelpreis für Chmie (Grignard Reaktion)

Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 88 – Tafel 10
1913	**Niels Bohr** **1885-1962** Physiker		Bohrsche Postulate, Bohrsches Altommodell, Quantelung der Energie. (1922 Nobelpreis für Physik)
1913	**Henry Moseley** **1887-1915** Physiker	***PSE*** ***Moseleysches Gesetz***	
NH_3 **1913**	**Fritz Haber** **1868-1934** Chemiker **Carl Bosch** **1874-1940** Chemiker Techniker		Erste Anlage zur Ammoniakproduktion bei der BASF Nobelpreis für Chemie (an Haber 1918) (an Bosch 1931)
1914	**Percy Bridgman**	**P**	Entdeckung des schwarzen Phosphors
1914	**Haber**		Forschungen zum Einsatz von Giftgas als Waffe im 1. Weltkrieg
1914	**Nernst-Duisberg-Kommission**	Einsatz der Kommission zur Erforschung von chemischen Kampfstoffen und Erprobung am Gegner durch den deutschen Generalstab	
NH_3 **1914**	**Salpeter-versprechen**	In enger Abstimmung mit Carl Duisberg und Emil Fischer einigten sich ***Bosch*** (für die **BASF**) und die Oberste Heeresleitung Ende 1914 auf einen Vertrag, der Abnahmegarantien und ein Darlehen von 35 Millionen Mark seitens des Reiches vorsah, wodurch der Bau entsprechender Anlagen (Ammoniak, Salpetersäure) ermöglicht wurde.	
1914	**Clara Immerwahr** **1870-1915** Chemikerin		Die Chemikerin und Menschrechtlerin kämpft einen verzweifelten und hoffnungslosen Kampf gegen die Entwicklung und den Einsatz von Chemiewaffen. Protest gegen den Einsatz von Giftgas aus den Forschungsergebnissen ihres Mannes Haber, Selbsttötung 1915

Epoche	1850 –> moderne Chemie	*Seite 89 – Tafel 10*
1915	Theorie zur Edelgaskonfiguration und Oktettregel	
Cl_2 1915		***Gasangriff der Deutschen mit Chlorgas*** zum Auftakt der zweiten Flandernschlacht im 1. Weltkrieg
1916	**Wilhelm Lommel Wilhelm Steinkopf**	Vorschlag zum Einsatz von Senfgas als Kampfstoff  (***LOST***)
1916	**Arnold Sommerfeld**	Bohr-Sommerfeldsches Atommodell
1918	**Arthur Jeffrey Dempster**	Entwurf des ersten modernen Massenspektrometers
1919	Gründung der **I**nternational **U**nion of **P**ure and **A**pplied **C**hemistry (**IUPAC**)	
1920	**Fritz Feigl**	Promotion *"Über die Verwendung von Tüpfelreaktionen in der quantitativen Analyse"* Wegbereiter der Chromatographie
1921	Firma **Bayer** meldet ein Patent an, auf der das heutige Verfahren zur Herstellung von Aspirin beruht. 	
1921	Explosion im **Werk Oppau** der BASF , 500 Menschen kamen dabei ums Leben	
1923	**Fritz Pregl**	Nobelpreis für Chemie, für die Entwicklung der Mikroanalyse von organischen Substanzen
1923	**Peter Debye** **1884-1966** Chemiker/Physiker 1936 Nobelpreis für Chemie **Erich Hückel** **1896-1980** Chemiker/Physiker **Lars Onsager** **1903-1976** Physikochemiker 1968 Nobelpreis für Chemie  Debye-Hückel-Onsager-Theorie zu den Eigenschaften verdünnter Elektrolytlösungen	
1924	**Louis de Broglie**	Postulation der Materiewellen Welle/Teilchen-Dualismus (1929 Nobelpreis der Physik) 

Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 90 – Tafel 11
	Erwin Schrödinger **1887-1961** Physiker **Max Born** **1882-1970** Physiker **Wolfgang Ernst Pauli** **1900-1958** Physiker **Werner Karl Heisenberg** **1901-1976** Physiker Entwicklung der Quantenmechanik und Wellenmechanik		
1925	**Pauli**	Formulierung des Ausschließungsprinzips (Pauliverbot). Alle Elektronen eines Atoms unterscheiden sich voneinander, keines gleicht einem anderen (1945 Nobelpreis der Physik)	
	Friedrich Hund	Entwicklung der Hundschen Regeln	
1925		Gründung der **I.G. Farben** aus einer Vielzahl von Chemieunternehmen, **Bayer**, **BASF**……	
1926	**Werner Karl Heisenberg**	Heisenbergsche Unschärferelation: zwei komplementäre Eigenschaften eines Teilchens sind nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmbar (1932 Nobelpreis für Physik) $\Delta p \geq \frac{h}{4 \cdot \pi}$	
1926	**Erwin Schrödinger**	Entwicklung der Wellenmechanik – Schrödinger-Gleichung (1933 Nobelpreis für Physik, zusammen mit Paul Dirac)	
1926	**Max Born**	Statistische Interpretation der Quantenmechanik -> Verständnis der chemischen Bindung 1954 Nobelpreis für Physik 	
1926	**Albert Einstein** **1879-1955** Physiker 	Brief an ***Max Born***: *„Die Quantenmechanik ist sehr achtunggebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, daß das noch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns kaum näher. Jedenfalls bin ich überzeugt, daß der nicht würfelt.“* 1922 Nobelpreis für Physik (für das Jahr 1921) für die Entdeckung des Gesetztes des Photoelektrischen Effektes	

Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 91 – Tafel 11
1926	**The Svedberg**	Nobelpreis für Chemie für die Arbeiten über disperse Systeme	
H_2SO_4 **1927**	Produktion von Schwefeltrioxid nach dem Kontaktverfahren mit Vanadiumpentoxid als Katalysator (Chemico)		
1927	**Bohr** **Heisenberg** **Born**	Formulierung der ***Kopenhagener Deutung***	
1928	**Albert von Szent-Györgyi Nagyrápolt**	 Isolierung des Vitamin C (1937 Nobelpreis für Physiologie oder Medizin)	
1928	**Alexander Flemming** **1881-1955** Bakteriologe	Entdeckung des Penicillins (1945 Nobelpreis für Medinzin) zusammen mit **Howard Walter** und **Ernst Boris Chain**	
E **1931**	**Harold Clayton Urey**	Entdeckung des schweren Wasserstoffs (1934 Nobelpreis für Chemie) **H**	
1931	**Bayer** entfernt **Heroin** aus der Produktpalette		
1932	**Irving Langmuir** **1881-1957** Chemiker Physiker	 Nobelpreis für Chemie, für die Entdeckungen und Arbeiten zur Oberflächenchemie	
E **1933** **NO**	**Irene Joliot Curie** **1897-1956** Physikerin	**N** Präsentation eines neuen radioaktiven Elements, ein Isotop des Stickstofs (1934 Nobelpeis für Chemie, gemeinsam mit ihrem Mann **Frederic Joliot**)	
1935	**Wallace Hume Carothers** **Polymere**	 Der Pionier auf dem Gebiet der Polykondensationsreaktionen entwickelt das Nylon	

Epoche	1850 –> moderne Chemie		Seite 92 – Tafel 12
1935	**Erwin Schrödinger**	Gedankenexperiment “***Schrödingers Katze***“	
1935	**Henry Eyring** **1901-1981**	***Eyring-Theorie:*** Veröffentlichung der Theorie zum aktivierten Komplex bei chemischen Reaktionen	
1937	**Sir Hans Adolf Krebs** **1900-1981** Mediziner Biochemiker	 Entdeckung des Citratzyklus (1953 Nobelpreis für Physiologie oder Medizin)	
1938	**Konrad Zuse** **1910-1995** Bauingenieur Erfinder Unternehmer	Zuse stellt den Z1 fertig, die erste binär rechnende Maschine.	
1940	Dupont verkauft die ersten fünf Millionen Paar Nylonstrümpfe („N-Day“) in ausgewählten Geschäften in US-amerikanischen Metropolen. **Polymere**		
1940	**George de Hevesy**	Auflösen von Physiknobelmedaillen in Königswasser “**chemists have solutions**“	
1941	**Konrad Zuse**	 Zuse fertigt den Z3, die erste **elektromechanische, frei programmierbare Rechenmaschine** Das Angebot Zuses an die Armee einen elektronischen Rechner zu bauen, wurde abgelehnt.	
1943 **NO**	**George Hevesy**	Nobelpreis für chemie für die Methode der Isotopenmarkierung	
 1943	**Albert Hofmann** **1906-2008** Chemiker	 Entdeckung des LSD (19.04.1943 Bicycle Day)	
1945	**Otto Hahn** **1879-1968** Chemiker	 Nobelpreis für Chemie (für das Jahr 1944) für die Entdeckung der Kernspaltung (radiochemischer Nachweis)	
1946	**Ulf Svante von Euler-Chelpin**	Entdeckung von Noradrenalin als chemischer Informationsübermittler in den Nervenfasern	

1947

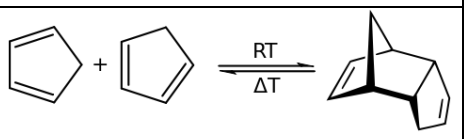
IG-Farbenprozess vor einem US-amerikanischen Mititärgericht - Bayer, BASF.....
Anklagepunkte: Kriegsverbrechen, Verbrechen gegen den Frieden, Einleitung und Führung von Angriffskriegen, Verbrechen gegen die Menschlichkeit im dritten Reich. Die IG-Farben setzte während des Krieges KZ-Häftlinge aus Auschwitz zur Zwangsarbeit ein.

1949

Gründung der **G**esellschaft **D**eutscher **Ch**emiker (**GDCh**)

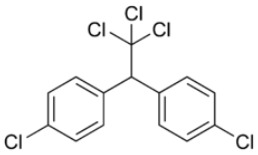
1950

Otto Diels
1876-1954
Chemiker
Kurt Alder
1902-1958
Chemiker

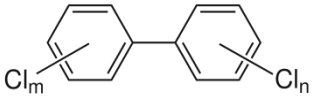


Nobelpreis für Chemie, für die [4+2]-Cycloaddition
(Diels-Alder-Reaktion)

1950-1960



Produktion vieler schwer abbaubarer Chlorverbindungen
DDT (Insektizid)



PCB (gehört zu den "*dreckigen Dutzend*")

1950

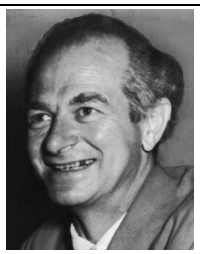
Neuaufbau von **Bayer**

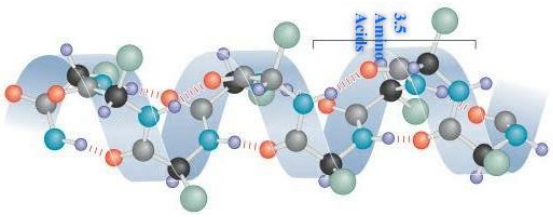
E 1950

Nb **IUPAC** legt den Namen Niob für das Element ***Columbium*** fest.

1950

Linus Carl Pauling
1901-1994
Chemiker





Entdeckung der α-Helix bei Proteinen durch Röntgenstrukturanalyse (1954 Nobelpreis für Chemie)

E 1952

Es

Entdeckung des künstlichen Elements Einsteinium nach dem Test der ersten amerikanischen Wasserstoffbombe

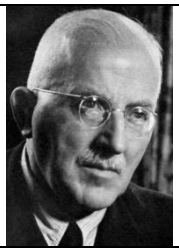
1952

Stanley Miller
H.C. Urey

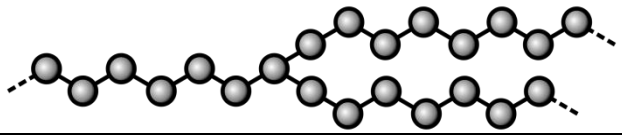
Miller Urey-Versuch, künstliche Uratmosphäre zur Synthese von organischen Molekülen

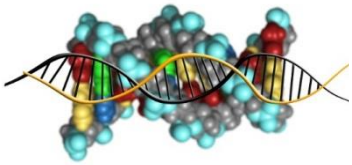
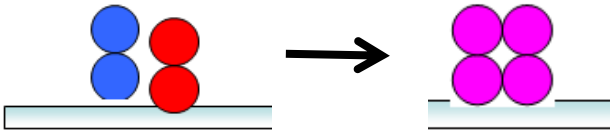
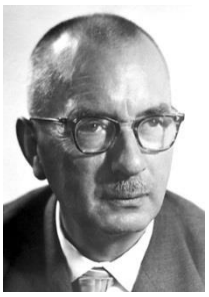
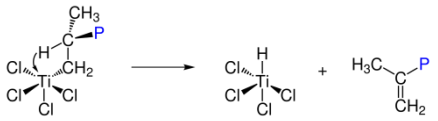
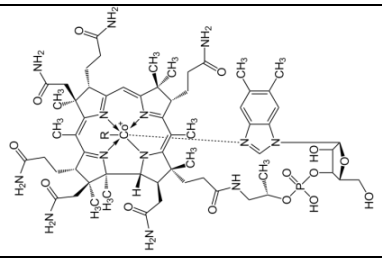
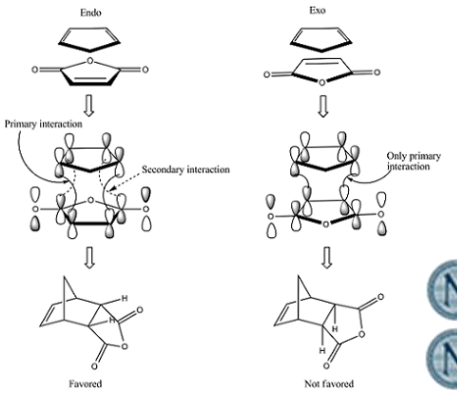
1953

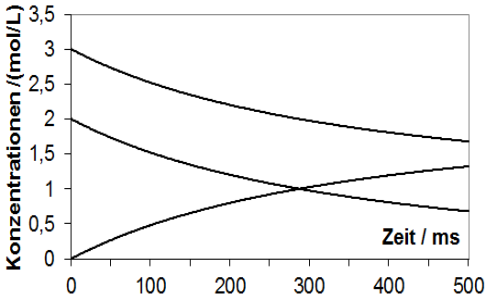
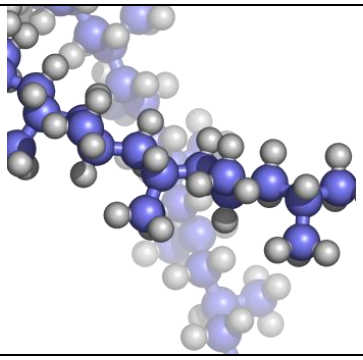
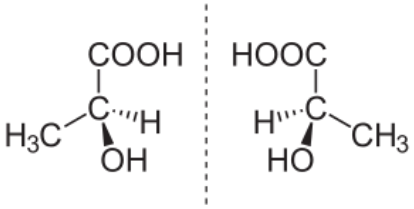
Hermann Staudinger
1881-1965
Chemiker
Polymere

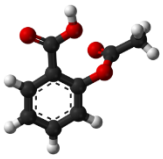
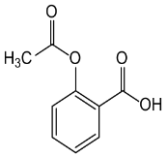
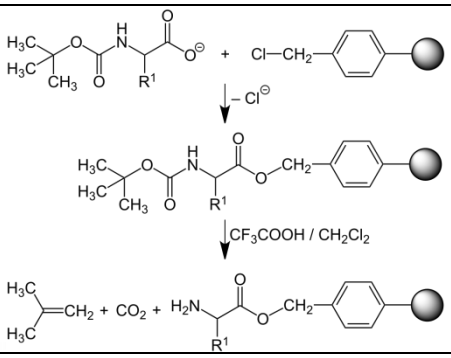
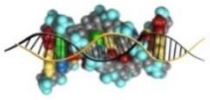
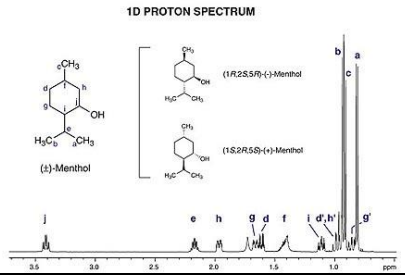
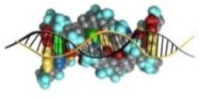


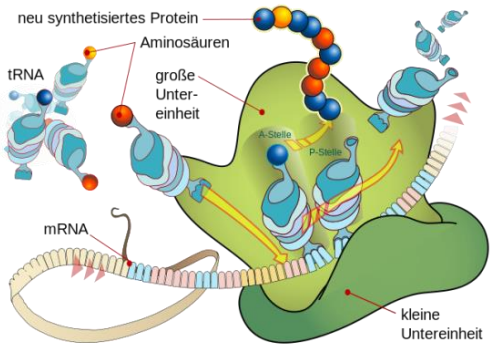
Nobelpreis für Chemie, für die Entdeckungen auf dem Gebiet der makromolekularen Chemie



Epoche	1850 –> moderne Chemie	*Seite 94 – Tafel 13*
1953	**Francis Crick** **James Watson** **Maurice Hugh** **Frederick** **Wilkins**	 Veröffentlichung der Molekularstruktur der Desoxyribonukleinsäure (1962 Nobelpreis für Medizin oder Physiologie)
1956	**Cyril Norman** **Hinshelwood** **1897-1967** Chemiker	Nobelpreis für Chemie zusammen mit Semenov, für die Erforschung der Mechanismen chemischer Reaktionen 
1959	**Jaroslav** **Heyrovský** **1890-1967**	Nobelpreis für Chemie, für die Entwicklung der Polarographie
Cl_2 **1960**	**Bayer** Material Science zählt zu einer der weltweit größten Chlorproduzenten	
1961	**Marshall** **Warren** **Nirenberg** **Har Gobind** **Khorana**	Poly-U-Experiment (erste Identifikation eines genetischen Codes) (1986 Nobelpreis für Physiologie oder Medizin)
1963	**Karl Ziegler** **1898-1973** Chemiker **Giulio Natta** **1903-1979** Chemiker **Polymere**	  Nobelpreis für Chemie, für die Reaktionen zur Chemie der Hochplolymeen (Ziegler-Natta-Verfahren)
1964	**Dorothy** **Crowfoot** **Hodgkin** **1910-1994** Chemikerin	Nobelpreis für Chemie, für die röntgenologische Analyse und Strukturaufklärung von Vitamin B12 
1965	**Robert Burns** **Woodward** **1917-1979** Chemiker **Roald** **Hoffmann** **1937** Chemiker	1965 Nobelpreis für Chemie **Robert Burns Woodward** 1981 Nobelpreis für Chemie **Roald Hoffmann** mit **Fukui Ken'ichi** Woodward-Hoffmann-Regeln 

Epoche	1850 –> moderne Chemie		*Seite 95 – Tafel 13*
1967	**Manfred Eigen** **R. George Wreyford Norrish** **G. Porter**		Nobelpreis für Chemie, für die Untersuchungen zu schnellen chemischen Reaktionen
1967		Der erste elektronische, tatsächlich handflächengroße Taschenrechner wurde 1967 von Texas Instruments entwickelt.	
1970		Einführung der SI-Einheit Watt in der BRD für die Leistung, benannt nach James Watt (1736-1819), dem schottischen Erfinder, der eine erhebliche Verbesserung des Wirkungsgrades von Dampfmaschinen erzielte.	
1971	**John Wesley Hyatt** **1837-1920**		Aufnahme in die Hall of Fame des Billard Congress of America Für die Entwicklung der Billardkugeln aus Zelluloid
1971	Einführung des Mol als letzte SI-Basiseinheit		
1974	**Paul Flory** **1910-1985** **Polymere**		Nobelpreis für Chemie, für die grundlegenden Leistungen in der physikalischen Chemie der Makromoleküle, sowohl theoretisch als auch experimentell.
1974		Vor allem Hewlett Packard und Texas Instruments entwickelten ab 1974 auch programmierbare Taschenrechner	
1975	**Vladimir Prelog** **1906-1998** Chemiker		Nobelpreis für Chemie, für die Forschungen in der Stereochemie organischer Moleküle und Reaktionen“

Epoche	1850 –> moderne Chemie		*Seite 96 – Tafel 14*
1977	**Ilya Prigogine** **1917-2003** Chemiker	Nobelpreis für Chemie, für den Beitrag zur irreversiblen Thermo-dynamik, insbesondere zur Theorie der “dissipativen Strukturen“	
1977	Aspirin wird in die Liste der unentbehrlichen Arzneimittel aufgenommen	 	
1984	**Robert Bruce Marrifield** Chemiker		Nobelpreis für Chemie, für die einfache und geniale Methode zur Herstellung von Peptiden und Proteinen“ (Merrifield-Synthese)
1990		Start des Humangenomprojektes	
1990	**Elias James Corey** **1928** Chemiker	*Nobelpreis für Chemie für die Entwicklung der Theorie und Methodik der Synthese organischer Verbindungen – Retrosynthese*	
CAS **1990**	**CAS** (**C**hemical **A**bstracts **S**ervice) *10 Millionen registrierte chemische Verbindungen*		
1991	**Richard Robert Ernst** **1933** Chemiker		Nobelpreis der Chemie, für die Beiträge zur Entwicklung der hochauflösenden Kernresonanzspektroskopie, einer Methode zur Analyse von Molekülstrukturen
E **1997**	Benennung des chemischen Elementes mit der Ordnungzahl 109 als Meitnerium, nach **Lise Meitner** **Mt**		
Na_2CO_3 **1997**	*Die weltweite Sodaproduktion beträgt 39 Millionen t/a*		
CAS **2000**	**CAS** 22 *Millionen registrierte chemische Verbindungen*		
2003		Vollständige Entschlüsselung des menschlichen Genoms	
Cl_2 **2006**	Die weltweite Chlorproduktion beträgt 58.9 Millionen t/a		

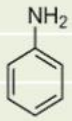
Epoche	1850 –> moderne Chemie		*Seite 97 – Tafel 14*
NH_3 **2007**	**Gerhard Ertl** Physiker Chemiker	Nobelpreis für Chemie, für die Entwicklung der Oberflächenchemie, unter anderem der Aufklärung des Mechanismus zur Ammoniaksynthese	
2008	Der **Landolt-Börnstein** umfasst 350 Bände		
CAS **2008**		**SciFinder** eine von **CAS** entwickelte angebotene Datenbank ist im web präsent.	
H_2SO_4 **2009**	Die Schwefelsäureproduktion beträgt weltweit mehr als 200 Millionen Tonnen pro Jahr Schwefelsäure ist die am meisten produzierte Chemikalie der Welt *“das Blut der Chemie“*		
2009	**Ada Yonath** Strukturbiologin	Nobelpreis für Chemie zusammen mit **Venkatraman Ramakrishnan** und **Thomas A Steitz**. Für die Studien zur Struktur und Funktion des Ribosoms.	
CAS **2011**	**CAS / SciFinder** 60 *Millionen registrierte chemische Verbindungen*		
NH_3 **2013**	Die weltweite Ammoniakproduktion beträgt 140 Millionen t / a		
2014	**Stefan Hell** Physiker **Eric Betzig** Physiker **William E. Moerner** Physiker Chemiker		Nobelpreis für Chemie Entwicklung superauflösender Fluoreszenzmikroskopie
CAS **2015**	**CAS / SciFinder** 101 *Millionen registrierte chemische Verbindungen, 66 Millionen Nukleotidsequenzen, 62, 5,8 Milliarden Datensätze zu den registrierten Stoffen*		
2016	**Jean- Pierre Sauvage** **Fraser Stoddart** **Ben Feringa**	Nobelpreis für Chemie für den Entwurf und die Synthese molekularer Maschinen	
CAS **2017**	**CAS / SciFinder**: täglich werden 15.000 neue Substanzen registriert		

Registrierte chemische Verbindungen
Chemical Abstracts Service

1990 10 Millionen
2000 22 Millionen
2008 40 Millionen
2012 70 Millionen
2015 100 Millionen

Jahr	USA / %	Japan /%	Westeuropa / %	BRD / %
1930	6	0	0	
1941	21	0	0	
1950	50	0	4	2
1960	88	4	58	50
1965	94	74	68	61
1971	96	93	91	91

1834 Runge Anilin aus Steinkohle



Anteil der Petrochemie an der Gesamtzahl organischer Chemikalien

Chemikerin und Menschenrechtlerin

1914 Clara Immerwahr

Von der Alchemie zur modernen Chemie

Renaissance

1850

Antike | Mittelalter | 1650 | moderne Chemie

Aristoteles
384-322 v. Chr.
Elementelehre

600 -1200 Alchemie in Arabien ->

1100 Alchemie in Europa

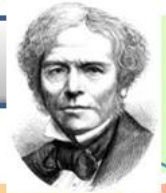
1700

1800 Entwicklung der chemischen Industrie

1913 BASF Haber-Bosch

400 600 800 1000 1200 1400 1500 1600 1800 1900 2000

ALCHEMIE (100-1800)



1898 Curie Entdeckung des Radiums

100 Anfang der Alchemie in Ägypten
200-900 Alchemie in China ->
900 Chinesisches Feuer ->

1100 Presbyter Schriftensammlung

1655 Glauber erste Chemiefabrik

1815 Davy und Faraday/Grubenlampe
1823 Döbereiner/Feuerzeug

400 v.Chr. Demokrit erstes Atommodell

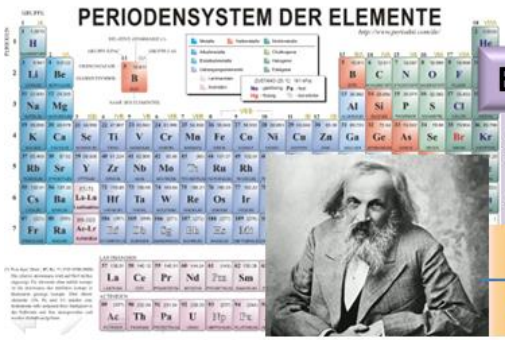
800 Book of Kells

1450 Gutenberg Erfindung des Buchdrucks

1452-1519 Leonardo da Vinci

1710 Böttger Porzellan

1927 Quantenmechanik Orbitalmodelle Theorie der Bindungen



Elementelehre

384-322 v. Chr. Aristoteles

1643-1727 Isaac Newton Physiker / Alchemist

1803 – 1873 Justus v. Liebig Entwicklung der modernen Chemie

1843-1907 Mendelejew

1743-1794 Antoine Laurent de Lavoisier
Beginn der Chemie als moderne Wissenschaft

1778-1850 Gay-Lussac
Entdeckung von Bor und Iod
Gasgesetze

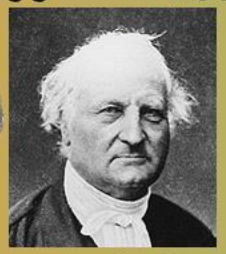
Renaissance | von der Alchemie zur modernen Chemie | moderne Chemie

1650 1700 1800 1850 1900 2000

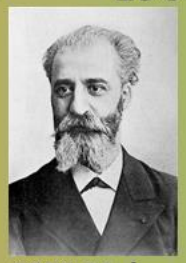
1772 Lavoisier
Erhaltung der Masse bei Chemischen Reaktionen

1789 LeBlanc
Herstellung von künstlichem Soda

1802 Gay Lussac
Gasgesetz



1826 Balard
Gewinnung von Brom



1886 Moissan
Darstellung von Fluor

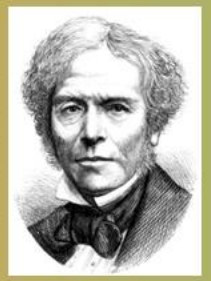
1911 Curie
Nobelpreis für Chemie
Für die Entdeckung des Poloniums

1668 Newton
Entwicklung des Spiegelteleskops

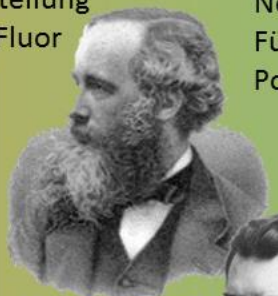
1766 Cavendish
Entdeckung von Wasserstoff

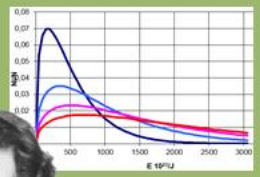
1799 Gründung der Royal Institution

1807 Davy
Darstellung von Natrium



1823 Faraday
Verflüssigung von Chlor





1860 Maxwell
1902 - Boltzmann-
Verteilung

1709 Böttger
Erfindung des Porzellans

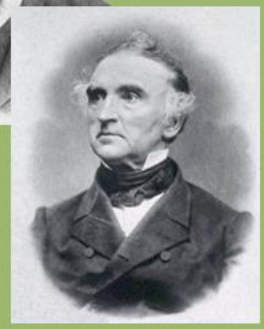
1655 Glauber
Gründung der ersten Chemiebetriebe

1774 Scheele
Gewinnung von Chlor

1799-1804 von Humboldt
Amerikanische Forschungsreise

1803 Berzelius
Elektrolyse zur Gewinnung reiner Metalle

1828 Wöhler
Harnstoffsynthese



1855 Liebig
Gesetz des Minimums

ERKLÄRUNGEN ZU DEN SYMBOLEN UND FARBEN IN DEN ZEITTAFELN:

Entdeckung, Darstellung, Namensgebung und Einordung von Elementen

Atomtheorie, chemische Bindung, Radioaktivität

Entdeckungen und Entwicklungen, bei denen der Zufall eine Rolle gespielt hat

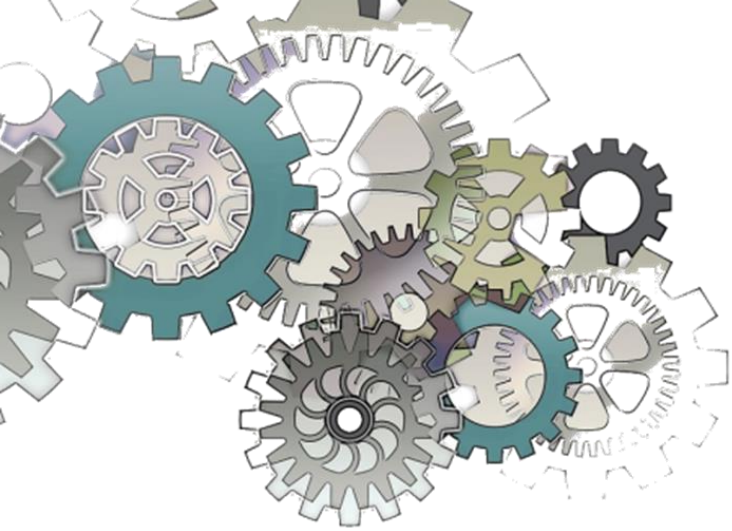
Nobelpreise / Nobelpreisverleihungen

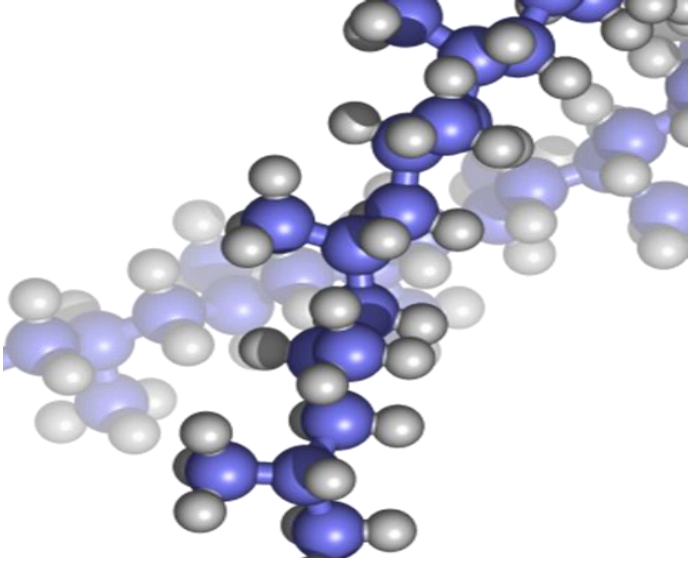
Zeitliche Epochen

Ur- und Frühgeschichte	**1,5 Mio v. Chr. – 330 v.Chr.**	
Antike	**800 v. Chr. - 600**	
Mittelalter	**600 - 1400**	
Renaissance	**1400 - 1650**	
Geburtsstunde der Chemie (Aufklärung)	**1650-1850**	
Chemie bis zur Moderne	**1850->**	

Entdeckungen, Synthesen und Verfahren zu den folgenden Produkten

Soda	**Na_2CO_3**	
Schwefelsäure	**H_2SO_4**	
Ammoniak	**NH_3**	
Chlor	**Cl_2**	





Verwendung, Urheberreche und Lizenzen

Die **Geschichte der Chemie, vom Feuer bis zu molekularen Maschinen** unterliegt keiner Lizenzbeschränkung. Die Seiten dienen der Wissensverbreitung und können für jede nicht kommerzielle Nutzung im privaten Bereich, in Schulen, Instituten, Behörden und Hochschulen zur Vermittlung und Veranschaulichung der Chemiegeschichte oder chemischer Sachverhalte verwendet werden.

Sie sollen eine kostenfreie Möglichkeit darstellen, sich schnell einen Überblick über die historischen Entwicklungen in der Chemie verschaffen zu können. Diese kurze Übersicht zur Chemiegeschichte ist zu dem Zwecke entstanden, Interesse an der Chemie und ihrer Geschichte zu entfachen oder zu vertiefen. Mit den in der Geschichte enthaltenen faszinierenden Themen soll sie einen leichten Einstieg in die Wissenschaft der Chemie unter historischen Gesichtspunkten aus verschiedenen Blickwinkeln bieten.

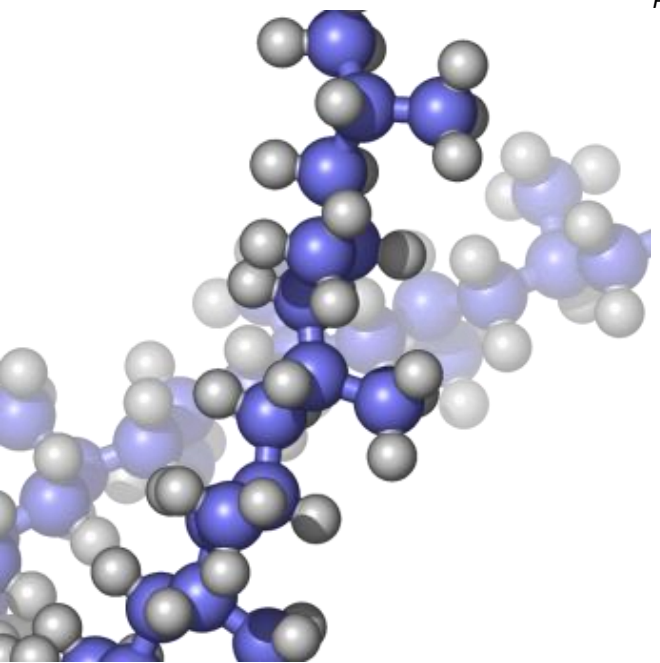
Alle Bilder entstammen Dateien, die unter **freier Nutzung** verfügbar sind. Bilder die für die Bildcollagen verwendet wurden und die Bildcollagen selbst unterliegen keiner Lizenz-beschränkung. Die Seiten dürfen frei aber nicht kommerziell verwendet werden und nur nach Genehmigung des Autors auf einer Internetseite veröffentlicht werden.

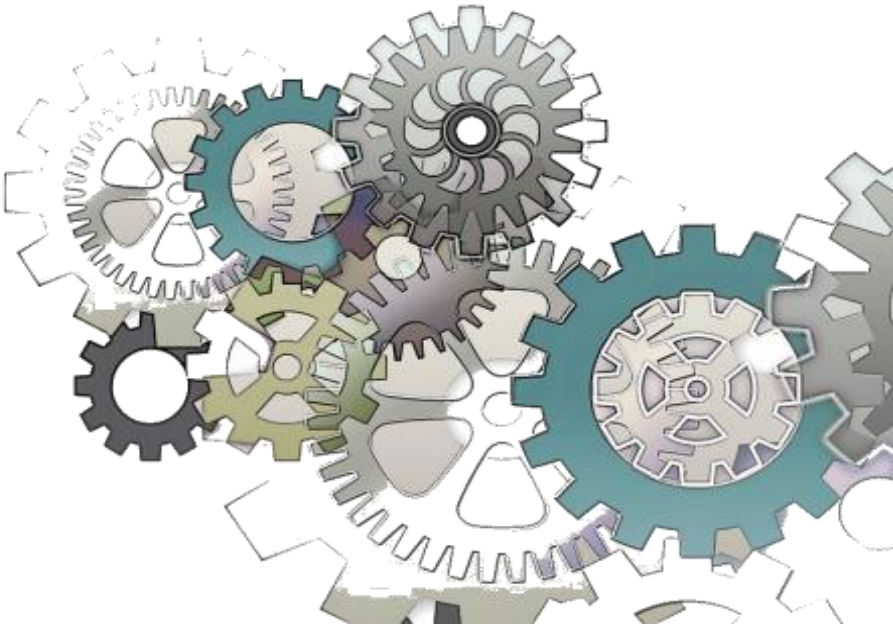
Danksagung

Herrn Dipl. –Ing. (FH) Andreas Sroka danke ich für die Suche nach "Fehlerteufeln". Meinem Freund Dr. Paolo Bondioli und meinen Kollegen Frau Prof. Dr. Veronika Hellwig, Herr, Prof. Dr. Jendrzejewski und Herrn Dr. Dirk Tuma gilt mein Dank für die vielen interessanten Diskussionen, Anmerkungen und Literaturhinweise zum Thema "Geschichte der Chemie".

Zuletzt geht ein großer Dank an Herrn Herbert Swidersky und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Harald Swidersky. Der intensive Austausch im Bereich der Naturwissenschaften mit den vielen wertvollen Gedanken hat mich bis heute geprägt.

Peter Swidersky 16.09.2018





Prof. Dr. rer. nat. Peter Swidersky
Physikalische Chemie
Reaktionstechnik
Peter.swidersky@th-luebeck.de

TECHNISCHE HOCHSCHULE LÜBECK

Fachbereich
Angewandte Naturwissenschaften

Studiengänge

Angewandte Chemie B.Sc.

Technische Biochemie M.Sc.