

Siegfried Engels

Faszination Feuer. Von Prometheus bis Lavoisier.

1. Einleitung

Mit diesem Beitrag soll versucht werden, einen Überblick über den jahrtausendlangen Weg des Menschen im Ringen um das Verständnis dessen zu geben, was schließlich im 18. Jahrhundert durch ANTOINE LAVOISIER zu einer Umwälzung in der Chemie führte: Gemeint ist letzten Endes die Aufklärung der Oxidation und damit die der Funktion des Sauerstoffs im Prozeß chemischer Reaktionen.

Dieses Ringen war über lange Zeiträume ein unbewußtes; die Beschäftigung und Auseinandersetzung mit chemischen Sachverhalten (im weitesten Sinne) trug dabei keineswegs die Grundmerkmale, die allen Wissenschaften eigen sind [1]:

- Abstraktheit und Verallgemeinerbarkeit
- Allgemeingültigkeit und Intersubjektivität
- Nachprüfbarkeit, Rechtfertigung und Begründbarkeit der Erkenntnis.

Wenngleich es in der Geschichte der Philosophie zu verschiedenen Bestimmungen und Definitionen des Begriffs Wissenschaft, ihrer Ziele, Grenzen, Aufgaben, Methoden und damit auch Klassifikationen kommt, ist es für das Selbstverständnis der "Einzelwissenschaft Chemie" durchaus wichtig, daß

"die naturwissenschaftliche Tätigkeit ... nicht erst von dem Zeitpunkt an gerechnet werden ... kann, an dem naturwissenschaftliche Theorien aufgestellt, sondern von dem Tage an, an dem naturwissenschaftliche Prozesse in der Produktion des materiellen Lebensunterhalts angewandt wurden. Das theoretische Wissen spielte dabei zunächst keine Rolle, sondern wichtig war jeweils die Tatsache, daß die Zusammenhänge erkannt werden, die nötig sind, um naturwissenschaftliche Prozesse auszunutzen" [2]

Und weiter:

"... die chemische Tätigkeit ... ist so alt wie der homo sapiens und immer auf das gleiche Ziel gerichtet: Stoffumwandlungen zu erzielen" [2].

Bei der Darstellung des Stoffes wollen wir uns - ausgehend von der **Frühzeit** - vorrangig aus chemischer Sicht - mit Aussagen, und damit Leistungen, **griechischer Naturphilosophen** [3] des 6. und 5. Jh. v. Chr. (und danach) sowie mit Theorien und chemischen Tatbeständen in den **arabischen Kalifaten** vorrangig des 9. und 10. Jh. beschäftigen. Nach einer kurzen Behandlung von Ergebnissen der praktischen Alchemie des **europäischen Mittelalters** gelangen wir dann in das **18. Jahrhundert**, das für die Herausbildung und Etablierung der Chemie als Wissenschaft von größter Bedeutung war, vgl. dazu z. B. [4].

2. Frühzeit

Fragt man nach einem der potentiellen Ursprünge der Chemie, so ist dieser zweifelsohne in der Beherrschung des Feuers durch den Menschen zu sehen, z. B. [5]. Schon frühzeitig stellte dieser das Feuer in seinen Dienst (Tab. 1). Hinsichtlich dessen Funktion als Waffe sei neben [5] besonders auf die unter [6] zitierte Arbeit verwiesen.

- Das Phänomen "Feuer" fesselte den Menschen von Anbeginn; beispielhaft seien genannt: Der *Feuerkult der Parsen*, d. h. der Anhänger des altiranischen Priesters und reformatorischen Propheten ZARATHUSTRAS, der in den Zeitraum zwischen etwa 1000 und 600 v. Chr. einzuordnen ist. Die Feuerverehrung erfolgte ursprünglich auf offenem Felde, später in Feuertempeln. Das Feuer galt als Element der Reinheit, und es mußte daher vor aller Verunreinigung bewahrt werden. Es vertrieb die Dämonen und diente somit zur Reinigung der Welt.
- Aus der Vielzahl von *Göttern im Hinduismus*, einer der ältesten Religionen (im engeren Sinn seit etwa 8. Jh. v. Chr. [7]), ragen als Hauptgötter VISHNU, der Gott der Liebe, und SHIVA, der Gott der Zerstörung, heraus. SHIVA ist die Verkörperung kosmischer Energie, ist Licht und Feuer. In bildlichen Darstellungen sehen wir ihn vierarmig, mit fliegenden Locken und gerahmt von einem Flammenkranz.
- ZEUS und WODAN (WOTAN, nord. ODIN) herrschten mit Blitz und Donner. VOLCANUS, der italienische Gott des Feuers, wurde mit dessen ungezähmter Natur (z. B. der von Vulkanen) in Verbindung gebracht. Aus Sicherheitsgründen stand der ihm geweihte Tempel stets außerhalb der Stadt. Allmählich wurde VOLCANUS mit dem griechischen Gott des Feuers und der Schmiedekunst, HEPHAISTOS, identifiziert. Dessen Schmiede glaubte man schließlich unter dem Aetna gelegen.

Tabelle 1: Feuer: Erste Beherrschung einer Naturkraft Potentieller Ursprung der Chemie	
♦ Älteste menschliche Feuerstellen (Auswahl)	
1 800 000 - 1 000 000 v. Cr. →	Swartkransker Höhlen (Südafrika)
500 000 v. Chr. →	Choukoutien (SW von Peking)
450 000 v. Chr. →	Vértesszöllös (N-Ungarn)
350 000 v. Chr. →	Bilzingsleben (südl. des Kyffhäusergebirges)
♦ Funktion: Kälteschutz	
Nahrungsmittelzubereitung	
Waffe, Schutz vor Feinden	
Beleuchtung (Altamira, Lascaux; Foz Coa*, Combe d'Arc)	
♦ Phänomen: Feuerkult der Parsen (ZARATHUSTRA)	
Hinduismus: Gott SHIVA	
BUDDHAS Feuerpredigt	
HIPPOKRATES (460 - 377 v. Chr.):	
"Inneres Feuer"	
ARISTOTELES (384 - 322 v. Chr.): Himmlisches Element	
VESTA-Kult	
Olympisches Feuer	
"Ewige Flamme"	

- * Die Höhlenzeichnungen von Foz Coa (rd. 400 km NO von Lissabon; 1992 entdeckt, Ende 1994 bekanntgegeben) sind über 3 km verstreut. Sie werden von der UNESCO als die bedeutendsten Felszeichnungen Europas eingestuft.
- * Die in einer Höhe von Combe d'Arc (nördlich von Avignon; entdeckt: 18.12.1994, erstmals begangen: 24.12.1994) gezählten etwa 300 Tiergemälde sind möglicherweise älter als die Höhlenmalereien von Altamira und Lascaux.

- Nach biblischen Schilderungen wurde JAHVE (Gott, Herr) ursprünglich als ein Naturgott vorgestellt, der sich im Rauch, Gewitter und Erdbeben sowie in vulkanischen Erscheinungen manifestierte [7]. Und JAHVE erschien dann MOSE im brennenden Busch (2. Mos. 3: "... und er sah, daß der Busch mit Feuer brannte und ward doch nicht verzehrt", 2. Mos. 3.2.) und sprach zu ihm: "Ich werde sein, der ich sein werde." BUDDHA (geb. um etwa 560 v. Chr.) setzte in seiner *Feuerpredigt* das Leben mit einer Flamme gleich, die immer weiterbrennt, weil sie durch die drei Kardinalfehler Begierde, Haß und Verleumdung immer neue Nahrung erhält.
- HIPPOKRATES konnte mit seiner Vorstellung, daß in Lebewesen ein inneres Feuer wirkt, viele Vorgänge im Organismus (z. B. Wachsen des Embryos im Uterus; Verdauung) erklären: Feuer ist Leben, und Leben ist Feuer. Im übertragenen Sinn hat sich diese suggestive Gleichung bis in unsere Zeit erhalten: Ein Mensch mit "feurigem" Temperament, ein "feuriges" Pferd.
- ARISTOTELES lehrte, das Feuer "strebe" nach oben, so wie die Erde nach unten "strebe", und sei deshalb ein himmlisches Element.
- Weiterhin sei das Wirken der *Vestalin* erwähnt, d. h. der römischen Priesterinnen der Göttin VESTA. Jene mußten nach althergebrachtem Brauch das ewige Feuer im Vestatempel (am Forum Romanum gelegen) hüten. Im Vestafeuer erblickte man ein Unterpfand für das Heil des römischen Staates.

Weitere Beispiele der Feuerverehrung bieten das "*Olympische Feuer*" und die "*Ewige Flamme*" bei Toten- und Heldengedenkstätten.

In der griechischen Sage war es PROMETHEUS, der das von ZEUS den Menschen vorenthaltene Feuer vom Himmel stahl, es ihnen zur Erde brachte und damit - wie es seinerzeit gesehen wurde - Handwerk und Künste ermöglichte. PROMETHEUS wurde in der Folgezeit zum Symbol des menschlichen Fortschritts und der Feuerraub ein Sinnbild des Glaubens an Wissenschaft und Zukunft. Aus literarischer Sicht "... ordnete sich ... das Prometheus-Symbol schließlich ... dem Gedanken zu, daß der Mensch dasjenige Gottesgeschöpf ist, das selbst an der schöpferischen Potenz partizipiert" [8].

Und weiter:

"... der antike Kulturheros ist ... das Urbild der Weisheit, die ihrerseits die Entstehung von Individualität im Menschen ermöglicht" [8, S. 109].

Kehren wir zum "Phänomen Feuer" zurück. Im Bemühen des Menschen um ein näheres Verständnis der ihn umgebenden "Natur" spielte das Feuer seit jeher eine große Rolle. Die bemerkenswerten Leistungen der *griechischen Naturphilosophie* des 6. und 5. Jh. v. Chr. (und Folgezeit, Abschn. 3) bieten hierfür wesentliche Belege. Aber noch 1775 - 1777, d. h. rund 2400 bis 2300 Jahren danach, versuchte CARL WILHELM SCHEELE, mit seiner Schrift "*Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer*" die Natur des Feuers zu ergründen [9]. Und es sei vorweggenommen: 1771 hatte er mit seinen Arbeiten den Sauerstoff entdeckt (Abschn. 6). Und IMMANUEL KANT (1724 - 1804) beschrieb in der Abhandlung "De igne" (Über das Feuer), mit der er am 12. Juni 1755 an der Philosophischen Fakultät der Universität Königsberg promovierte, daß das Feuer noch immer ein nicht erklärbares Element sei. Es trage in sich die Merkmale der flüssigen Materie und habe ursprünglich in einem anderen Zustand vorgelegen. Doch kehren wir in frühere Zeiten zurück.

Die Beschäftigung des Menschen mit chemischen Sachverhalten war in früheren Zeiten u. a. durch die Gewinnung von *Metallen* und *Legierungen* (vgl. dazu [4]; [10]) gekennzeichnet (Tabellen 2 und 3). Hierfür sowie zur Herstellung von *Keramiken* und *Gläsern* waren vergleichsweise hohe Temperaturen erforderlich. So erfolgte der Brand von *Keramiken* (älteste Nachweise: 6./5. Jhstd. v. Chr., Mesopotamien) anfangs am offenen Feuer. Erste Ofen"konstruktionen" sind aus dem 5. Jhstd. v. Chr. bekannt. Die Luftzufuhr basierte auf der Nutzung von Hangwinden (Ofen in Hanglage), später kamen das Blasrohr und seit etwa 1600 v. Chr. der Blasebalg hinzu. Wie verschiedene Versuche gezeigt haben, konnten in mykenischen Brennöfen bis zu 1000 °C erreicht werden.

Die Anfänge der Herstellung von Glas im weitesten Sinne seiner Definition reichen bis in das 5./4. Jahrtausend v. Chr. zurück (Mesopotamien, Ägypten, Syrien, Iran).

3. Griechische Naturphilosophie

Auf dem Weg zu den Vertretern der ionischen Naturphilosophie müssen wir einen großen zeitlichen Schritt vollziehen, der an Hand von Zeittafeln erfolgen soll. Ausgehend von der *Mittleren Steinzeit* (Tab. 2), überleitend zur *Jungsteinzeit*, *Gentilordnung* bis zur *Ausbildung der Klassengesellschaft* sind wesentliche Fortschritte in der Entwicklung der Produktivkräfte (z. B. Pflug, Weberei, Rad) sowie in der Entwicklung verschiedener Schriften (Sumer, Ägypten, babylonisch-assyrischer Raum) zu verzeichnen. Im Hinblick auf sich anbahnende Entwicklungen im Bereich der späteren Chemie sei besonders auf die Aspekte der Metallgewinnung hingewiesen. In diesem

Zusammenhang soll erwähnt werden, daß die ältesten Bleifunde aus der Zeit um 6500 v. Chr. (ägäischer Raum) stammen. Sie deuten darauf hin, daß Blei nach dem "Röstreaktionsverfahren" noch vor dem Kupfer verhüttet worden ist. Daneben war in der Frühzeit unbewußtes chemisches Schaffen auch auf andere Bereiche gerichtet (z. B. Bier-, Weinbereitung; kalkhaltiger Mörtel).

Tabelle 2: Synoptische Zeittafel: Vor 4500 bis 2500 v. Chr				
Mittlere Steinzeit	Jungsteinzeit	Gentilordnung		Klassengesellschaft
Werkzeuge Töpferei Kultisches Denken	Pflug Band/Schnur keramik	Bilderschrift- zeichen in Sumer Weberei in Ägypten	Töpfer- scheibe (Kleinasien) Rad	Staatenbildg Bilderschrift (Ägypten) Babyl.-assy Keilschrift.
4500	4000	3500	3000	2500
Kaltverarbeitung von Cu und Au	Schmelzen u. Schmieden von Cu und Au	Cu aus carbonatischen Erzen Cu-Leg. Erste Bronzen	Gezielte Herstellung von Zinn-bronzen	Bier- und Weinbereitung. Gebrannter Kalk

Und anschließend an die Zeitmarke 2500 v. Chr. (Tab. 3) gelangen wir über die *Bronzezeit* in Kleinasien, den *kretisch-mykenischen Kulturkreis*, das *Troia-Reich* in das *antike Griechenland* mit seinen Vertretern der *Naturphilosophie*.

Auf chemisch-praktischem Gebiet erfolgten u. a. wesentliche Fortschritte in der Metallurgie, der Textilfärberei sowie der Glasverarbeitung. Auf "theoretischem" Gebiet sollen die Ausbildung der *Vier-Elemente-Lehre* (s. u.), die *Begründung der Atomlehre* durch LEUKIPPOS aus (offenbar) Milet (Mitte und zweite Hälfte des 5. Jh. v. Chr.; um 480/460 v. Chr.?) und die Ausarbeitung des ersten durchgebildeten Systems des Atomismus durch DEMOKRIT aus Abdera (um 460 - 370 (360) v. Chr.) hervorgehoben werden.

Darnit sind wir bei den Anfängen der griechischen Wissenschaft, die in Landstrichen entstand, wo der Einfluß der älteren Kulturen noch sehr spürbar war. Hier soll nicht im einzelnen der Frage nachgegangen werden, *warum* Philosophie in Griechenland entstand. Dies ist beispielsweise von SEIDEL ausführlich erörtert worden [11, S. 35 - 57]. Reizvoll ist es jedoch nachzulesen, wie schon sehr frühzeitig hierauf eine Antwort gegeben wor-

den ist. So schreibt WILHELM VON OCKHAM (um 1285/90 - um 1347/49), Literat, Theologe, Logiker und einer der großen Philosophen des Mittelalters, daß "... der Zweck ... dieser Wissenschaft (gemeint ist die Naturphilosophie, S. E.) jene Absicht ist, aufgrund derer diese Wissenschaft erlernt und produziert wird, ohne die es diese Wissenschaft nicht gäbe" [12, S. 14]. Und er fährt fort: "Das Gesagte betrifft die Ursachen dieser Wissenschaft im strengen und eigentlichen Sinne von Ursache, das heißt also als dasjenige, von dem das Vorhandensein oder Entstehen abhängt." Erwähnt sei noch, daß OCKHAM der Naturphilosophie vier Ursachen zuordnet [12, S. 14 - 15]: Materialursache (causa materialis), Formalursache (causa formalis), Wirkursache (causa efficiens) und Zweckursache.

2500	2000	1500	1000	500
Bronzezeit in Kleinasien Blasebalg Stonehenge	Gesetzes- sammlung (HAMMU- RABI) Kretisch- mykenische Kultur	Buchstaben- schrift (Phönizier) Troia-Reich Bernstein- handel (Europa- Vorderasien)	Griechen- land: SOLON, HOMER; olymp. Spiele Ioni- sche Natur- philosophie	Griech. Skla- venhalter- demokratie, Römisches Reich: CAESAR, CICERO HORAZ
Anfänge der Fe-Herstell Reines Ag	Cu aus sul- fid Erzen. Sn (China, Japan). Glasflüsse Textilfärb.	Fe (Renn- verfahren) Sn, Zn in Indien	Purpurfärb. Alaunbeize Treibprozeß zur Ag-Gew	Geblasenes Glas Atomtheorie Vier- Elemente- Lehre

Die Anfänge der griechischen Wissenschaften fallen in eine Zeit, in der "die Tradition nicht sehr hoch geschätzt ... wurde, dagegen konnten neue Antworten auf alte Fragen auf Gehör rechnen. Der große Wert der frühesten Periode des griechischen Denkens lag in dem Versuch, alle Fragen einfach und konkret zu beantworten" (BERNAL [13]). Und es ist das große historische Verdienst des THALES von Milet, daß er "als erster den Versuch unternahm, ein der bisherigen mythischen Vorstellungswelt entgegengesetztes Weltbild zu schaffen" (11, S. 39). Er steht in der Reihe der griechischen Naturphilosophen an erster Stelle (Tab. 4). Der Ausgangspunkt in seiner rationalen Erkenntnis der Gesetzmäßigkeiten der Natur war die Frage "nach dem Urgrund und dem allgemeinen Substrat aller Dinge". Dieses "Urelement" hat Thales im Wasser, im Feuchten gesehen. Wie er zu dieser

Aussage kam, können wir nur vermuten, da von ihm keine Aufzeichnungen auf uns überkommen sind. ARISTOTELES schreibt hierzu u. a.: "Er (d. h. THALES, S. E.) kam zu dieser Annahme wahrscheinlich deshalb, weil er sah, daß die Nahrung aller Dinge feucht ist und selbst das Warme aus dem Feuchten entsteht und durch das Feuchte lebt; bei allem aber ist das, woraus es entsteht, seine Quelle" [14].

NIETZSCHE, dessen Geburtstag sich am 15. Oktober 1994 zum hundertsten Male jährte, würdigte THALES' Leistung in einer für den Naturwissenschaftler bestechenden Diktion [15, S. 813]: "*Die griechische Philosophie scheint mit einem ungereimten Einfalle zu beginnen, mit dem Satze, daß das Wasser der Ursprung und der Mutterschooß aller Dinge sei: ist es wirklich nöthig, hierbei stille zu stehen und ernst zu werden? Ja, und aus drei Gründen: erstens weil der Satz etwas vom Ursprung der Dinge aussagt und zweitens, weil er dies ohne Bild und Fabelei thut; und endlich drittens, weil in ihm wengleich nur im Zustande der Verpuppung der Gedanke enthalten ist: alles ist eins. Der erstgenannte Grund läßt Thales noch in der Gemeinschaft mit Religiösen und Abergläubischen, der zweite aber nimmt ihn aus dieser Gesellschaft und zeigt uns ihn als Naturforscher, aber vermöge des dritten Grundes gilt Thales als der erste griechische Philosoph.*"

Dieser elementare Materialismus des THALES findet seine Fortsetzung bei den nachfolgenden Vorsokratikern (Tab. 4). Sie führten weitere bestimmte, sinnlich faßbare "Elemente" (Prinzipien) als Urstoffe an, um die Vielfalt der Naturerscheinungen erklären zu können: *Luft, Feuer bzw. Erde* HERAKLEITOS, der Philosoph einer stetigen Veränderung der Dinge (*pantha rhei*, griech.: alles fließt), lehrte ebenfalls, daß "*aus Allem Eins und aus Einem Alles*" wird. Dieses Ein-und-Alles sah er im *Feuer*, das er sich als materielle Substanz und Verkörperung eines stetigen Werdens und Vergehens vorstellte, wobei "... *alles Geschehen ... infolge eines Gegensatzes ... erfolge*": "*Alles ist Austausch des Feuers und das Feuer Austausch von allem, gerade wie für Gold Waren und für Waren Gold eingetauscht wird*" [16].

Tabelle 4: Griechische Naturphilosophie: Vier-Elemente Lehre	
Vorsokratiker	Ur-Element
- THALES von Milet (um 625 - um 545 v. Chr)	<i>Wasser</i>
- ANAXIMENES von Milet (um 585 - 525 v. Chr.)	<i>Luft</i>
- DIOGENES von Apolloneia (Phrygien oder Kreta?) (499/498 - 428/427 v. Chr.)	<i>Luft</i>
- HERAKLEITOS von Ephesos (um 544/540) - 480 v. Chr.)	<i>Feuer</i>
- XENOPHANES aus Kolophon (um 570 - um 480)	<i>Erde</i>
- ANAXIMANDROS aus Milet (um 611 - um 546)	<i>Luft, Rauch</i> (d. „Mittlere“)
EMPEDOKLES von Akragas(Agrigent)/Sizilien (um 495 (483) - 435 (423) v. Chr.)	Vier Wurzeln der Dinge <i>Erde, Feuer,</i> <i>Luft, Wasser</i>

EMPEDOKLES, der mit seiner Lehre an die materialistische Naturphilosophie unmittelbar anknüpft, setzte die vier qualitativ unterschiedlichen "Elemente" Erde, Feuer, Luft und Wasser als die einzigen Grundkörper voraus. Er nennt sie *Wurzeln*. Die Grundannahme des EMPEDOKLES war dabei, "... daß das Seiende nicht aus dem Nichts entstehen und sich nicht in ein Nichts auflösen kann. Deshalb entsteht und vergeht alles durch Mischung und Entmischung von unveränderlichen Elementen" [17, S. 95].

Diese "Wurzeln" sind unveränderlich, in kleinste Teile zerlegbar, und die Mannigfaltigkeit möglicher Verbindungen erfolgt durch *Variation der quantitativen Verhältnisse*. Damit hat EMPEDOKLES "... als erster den Gedanken des Aufbaus der physischen Welt aus einer beschränkten Zahl von Elementen in die Vorgeschichte der Wissenschaft eingebracht" [18, S. 234].

PLATON, der Begründer der idealistischen Linie in der Philosophie, übernimmt die Vorstellungen des EMPEDOKLES und modifiziert sie im Sinne seiner Ideenlehre, wonach die Ideen nicht nur die ruhenden Abbilder aller materiellen Dinge, sondern auch deren Ursache und Zweck sind. Die vier Elemente sind die stofflichen Träger der Erscheinungswelt, und die Vielfalt der Dinge, die die Natur kennzeichnen, sind nichts anderes als die Modifikationen dieser vier Prinzipien.

In seinem spätesten Dialog, dem "Timaios", gibt PLATON eine mit Religion und Mystik verbundene *Erklärung der Natur durch geometrische und Zahlenproportionen*. Aus der durch die Tätigkeit eines "Gottes" (Demiurg, urspr. jemand, der öffentliche Werke durchführt (Handwerker, Künstler), dann: Weltschöpfer) geformten gestaltlosen Urmaterie entstehen mathematische Gebilde (zusammengesetzt aus Dreiecken, so auch das Quadrat), die den vier Elementen zugeordnet werden (Tab. 5). Diese sind *variabel* und *modifizierbar*, und PLATON drückt das wie folgt aus (zitiert u. a. nach [19], S. 24):

"Wir müssen uns erinnern, daß es vom Feuer viele Arten gibt; zum Beispiel die Flamme und jene Ausströmung aus Flammen, die zwar brennt, aber den Augen kein Licht gibt, und jene, die in der glühenden Asche zurückbleibt, wenn die Flamme erloschen ist ...

... und ebenso ist es mit der Luft. Die reinste ist diejenige, die man Äther nennt, und die trübste ist Nebel und Dunst, und so gibt es noch andere Arten der Luft, die keinen besonderen Namen haben - sie alle entstehen aus der Ungleichheit ihrer <<Dreiecke>>"

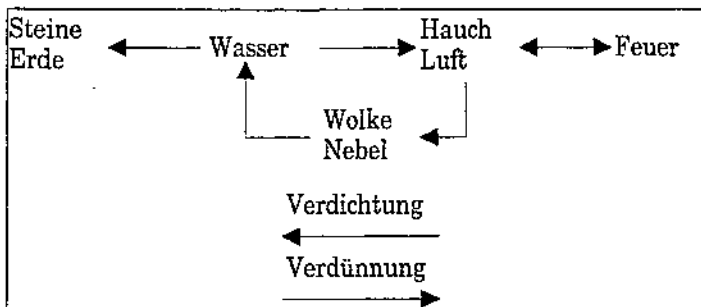


Abb. 1 Elementumwandlung nach PLATON („Timaios“)

Nach Platon ist eine *Umwandlung der Elemente* durch die *Umlagerung der Dreiecke* möglich. Hierbei fällt der *Verdichtung* und *Verdünnung* eine wichtige Rolle zu (Abb. 1).

Im "Timaios" heißt es (zitiert nach [20], S. 93):

"Was zunächst den Stoff anlangt, den wir soeben als Wasser bezeichneten, so sehen wir, daß, wenn er sich verdichtet, wie wir annehmen, er zu Stein und Erde wird; wenn sich der nämliche Stoff dagegen lockert und löst, dann wird er zu Hauch und Luft; die Luft aber, wenn erhitzt, wird zu Feuer, und umgekehrt nimmt das Feuer, wenn es zusammengeballt wird und erlischt, wieder die Gestalt der Luft an, und wenn die Luft wiederum sich zusammenzieht und verdichtet, so wird sie zu Wolke und Nebel, und verdichten

sich diese noch stärker, so entwickelt sich aus ihnen strömendes Wasser und aus dem Wasser abermals Erde und Steine, und so wandeln sie sich denn im Kreislauf ineinander und eben darin besteht, wie es scheint, das Werden."

Tabelle 5: PLATON (427 - 347 v. Chr.): Naturerklärung

- Elementpartikeln: Geometrische Gebilde

Erde: Quadrate → Würfel

Feuer: Dreiecke → "Pyramide", entspr. dem Tetraeder

Luft: Dreiecke → Oktaeder

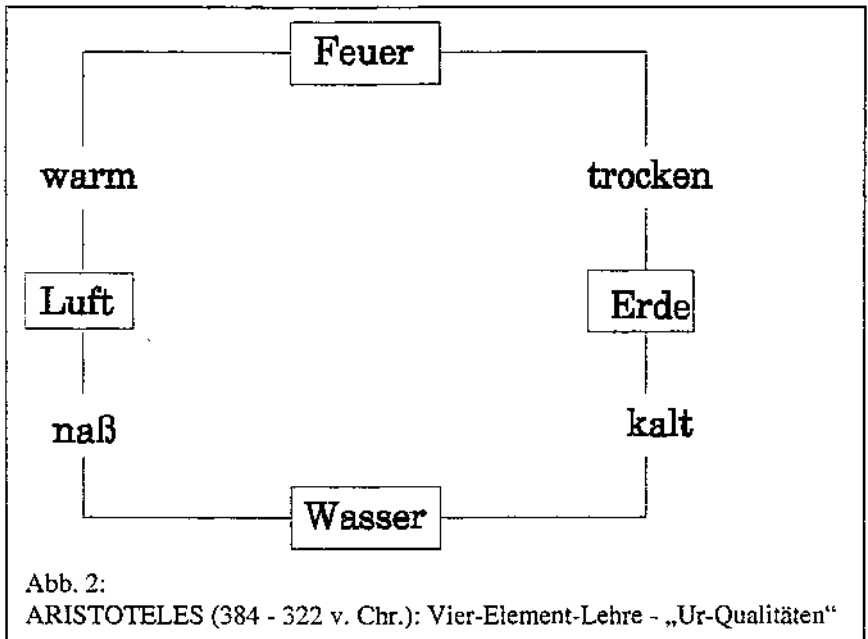
Wasser: Dreiecke → Ikosaeder

- Elemente: Variabel und modifizierbar

- Umwandlung der Elemente durch Umlagerung der Dreiecke

Wertet man die oben insgesamt nur kurz angedeuteten großartigen Leistungen der Griechen auf naturphilosophischem Gebiet, so müssen trotzdem gewisse kritische Anmerkungen getroffen werden. Wenngleich die Naturphilosophie ein beeindruckendes Bild vom Entstehen und von der Entwicklung des Kosmos, vielfach basierend auf der "Elemente-Lehre" zeichnete, die ohne Götter auskam, "*... lag ihre fundamentale Schwäche ... in der Unbestimmtheit und dem rein beschreibenden und qualitativen Charakter*" [13]. Und weiter: "*Ihre Elemente hatten zwei unvereinbare Funktionen zu erfüllen. Einerseits vertraten sie die damals bekannten Stoffe und die Vorgänge in der Welt; sie sollten ... das ganze Panorama von Land und Meer, Sonnenschein und Sturm erklären. In diesem Sinn sprechen wir ja heute noch vom Wüten der Elemente. Andererseits bezeichneten die Elemente auch Eigenschaften, wie z. B. Wärme und Kälte, Feuchtigkeit und Trockenheit, Leichtigkeit und Schwere, die allen Dingen zukommen können. Das einzelne Element war auch nicht an einen bestimmten Stoff gebunden, wie etwa die chemischen Elemente des 19. Jahrhunderts.*"

Und schließlich sei angemerkt, daß zu dieser Zeit eine starke Abneigung gegen das Experiment (im Sinne der Überprüfung bereits vollzogener Überlegungen sowie als Ausgangspunkt im Prozeß der Theoriebildung und -entwicklung) bestand. Und es kam nicht von ungefähr, daß bereits in der Antike "*banautos*" (grch., Handwerker; urspr.: Ofenheizer) abwertend gebraucht wurde. Denn schließlich verachtete der Freie, der sich geistigen Tätigkeiten widmen konnte, praktisch jegliche Handarbeit (und damit auch das Experiment).



Es blieb aber ARISTOTELES, dem Philosophen der Erfahrungswelt, vorbehalten, im Rahmen seiner Elemente-Lehre gerade dem Wirken der arabischen Alchemisten (Abschn. 4) sowie den lateinischen Alchemisten des Mittelalters (Abschn. 5) eine "theoretische" Begründung für ihre Arbeit gegeben zu haben.

In seiner Lehre, die die Existenz einer qualitativ einheitlichen Urmaterie beinhaltet, ordnete er allen Stoffen bestimmte sinnlich faßbare Eigenschaften zu:

"Es gibt vier elementare Eigenschaften, und diese Vielzahl läßt sich zu sechs Paaren kombinieren. Gegensätze aber können nicht gepaart werden, denn es ist unmöglich, daß ein Ding gleichzeitig heiß und kalt oder naß und trocken sein kann. So ist es klar, daß es nur vier Paare elementarer Eigenschaften gibt: Warm und trocken, warm und naß, kalt und trocken und schließlich kalt und naß. Diese vier Paare sind den Elementen zugeordnet. ... Denn das Feuer ist warm und trocken, Luft hingegen warm und naß, und Wasser ist kalt und naß, während schließlich Erde kalt und trocken ist. So sind die verschiedenen elementaren Qualitäten vernünftig und der Theorie gemäß auf die Elemente verteilt." Mit anderen Worten: Auf Grund der genannten Gegensätze ist die Urmaterie qualitativ wandelbar.

<p>Tabelle 6: ARISTOTELES: Vier-Elemente-Lehre</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die 4 Elemente und somit alle Stoffe sind nur eine "Form" ("Manifestation") ihrer Eigenschaften ("Qualitäten") - Die Qualitäten sind untereinander austauschbar, d. h.: Die Elemente sind ineinander überführbar - Isolierung der Qualitäten: "<i>Qualität an sich</i>" <p style="text-align: center;">⇓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p style="text-align: center;">"Theoretisch-philosophischer Ausgangspunkt" des <i>Transmutationsgedankens</i></p> </div>
--

Wichtig an dieser Lehre war weiterhin die Aussage, daß derartige *Qualitäten untereinander austauschbar* seien (Tab. 6) und folglich die Elemente ineinander überführt werden können. Und schließlich sollte es danach auch gelingen, diese Qualitäten (stofflich) zu *isolieren* und sie *auf andere Stoffe zu übertragen*. Damit war den Vertretern nachfolgender Generationen, die sich mit chemischen Sachverhalten beschäftigten, das theoretische Rüstzeug dafür geliefert, die *Transmutation* von Stoffen im "chemischen" Experiment anzustreben. Hieraus resultierten - trotz aller Auswüchse der Goldmacherei durch Alchemisten späterer Jahrhunderte - zahlreiche bedeutsame Entdeckungen auf chemischem Gebiet. Es ist JUSTUS VON LIEBIG zu verdanken, auf diesen Sachverhalt mit Nachdruck verwiesen zu haben [21]:

"Die Alchemie ist niemals etwas anderes als die Chemie gewesen; ihre beständige Verwechslung mit der Goldmacherei des 16. und 17. Jahrhunderts ist die größte Ungerechtigkeit. Unter den Alchemisten befand sich stets ein Kern echter Naturforscher ... Die Alchemie war die Wissenschaft."

Verlassen wir den Zeitraum der Antike und wenden uns Aspekten der *angewandten Chemie und der Naturphilosophie in den arabischen Kalifaten* vorrangig des 9. und 10. Jh. zu. Die Tabellen 7 und 8 vermitteln diesen Übergang an Hand ausgewählter Daten zu kulturellen und geschichtlichen Ereignissen in Beziehung zur Entwicklung chemischer Kenntnisse und Fertigkeiten.

4. Arabische Kalifate: Naturphilosophie

Die Leistungen einer Vielzahl von Völkern in den arabischen Kalifaten auf geistig-kulturellem Gebiet haben auch der Chemie wichtige Impulse für ihre Weiterentwicklung vermittelt. Die nach dem Tode MOHAMMEDs einsetzenden Eroberungszüge (Tab. 9) führten zu einem Riesenreich, in dem das reiche Kulturerbe einer Vielzahl von Völkern (Araber; Syrer und

Hochblüte römischer Kultur	Fensterscheiben aus <i>Glas</i> (China, um 60)
Geozentrisches Weltbild (PTOLEMÄUS, um 90 - um 160)	<i>Seifenherstellung</i> nachweislich bekannt
Beginn der germanischen Völkerwanderung (um 375)	<i>Talg-/Wachskerzen</i> (um 200)
Teilung des Römischen Reiches (395)	Einfache <i>Destillationsverfahren</i> Alchemistische Vorstellungen zur <i>Transmutation der Metalle</i>
Ende des weström. Reiches (476)	
Maya-Kultur in Mittelamerika "Klassische Zeit": 4. - 9. Jh. Sinustafeln, negative Zahlen (China)	ZOSIMOS von Panapolis (um 400 (350? - 420?)); Erster historisch belegbarer Vertreter der alexandrinischen Alchemie

Untergang des Ostgotenreiches nach dem Tod THEODERICHS (526)	Anfänge der (<i>Weich-</i>) <i>Porzellanherstellung</i> (China, nach 600)
Antike Medizin (durch Klosterschulen nach Mitteleuropa) Holzplattendruck (China, nach 600)	<i>Rennfeuer</i> in Europa (nach 600)
Herausbildung des Islam Buddhismus in Japan	"Griechisches Feuer" als Kriegswaffe (ab Ende 7. Jh.)

Ägypter; Perser, Tadshiken, Usbeken, Turkmenen, Juden u. a.) unter den Bedingungen der Kalifate weiterentwickelt wurde:

"Dem Islam verschaffte die Eingliederung des Herzstücks der bewohnten Welt in die Kalifatherrschaft die erforderliche staatliche Basis ... Allerdings waren die Kalifen dagegen gefeit, ihre beträchtliche politische Macht zur Zwangsbekehrung ihrer christlichen, zarathustrischen und hinduistischen Untertanen zu benutzen. ... Zahler von Extrasteuern waren den mohammedanischen Herrschern lieber als Bekehrte; am Ende bestanden die nichtmohammedanischen Untertanen des Kalifats selbst darauf, die Religion ihrer Väter mit dem Islam zu vertauschen" [22, S. 632].

Tabelle: 9: Eroberungen der Araber

MUHAMMAD (MOHAMMED), um 570 (Mekka) - 632 (Medina)

Eroberungszüge: Syrien (635 Damaskus)

Palästina (637 Jerusalem)

Ägypten (639 - 642)

Nordafrika (644 - 709)

Spanien (711 - 718)

Samarkand (712): Vorstoß nach Indien bis zum Indus

In diesem historisch sehr bedeutsamen Zeitraum erfolgte eine intensive Beschäftigung mit antiker, vorrangig naturwissenschaftlicher und medizinischer Literatur. Zahlreiche Werke antiker Autoren wurden in das Arabische übersetzt, und dem Bibliothekswesen widmete man größte Aufmerksamkeit. So besaß der Kalif AL-AZIZ in Kairo etwa 120000 bis 160000 Bände (Titel), wovon 6500 mathematischen und 18000 philosophischen Inhalts waren [23]. Um das Jahr 1000 zählten die Bibliotheken Cordobas 140000 Handschriften (zum Vergleich: Dombibliothek zu Konstanz (9. Jh.): 356 Bände, die zu Bamberg (1130): 96 Bände; die Vatikanische Bibliothek - die größte des christlichen Europas - hatte zu Beginn des 11. Jh. etwa 1000 Handschriften in ihrem Bestand).

Durch die Bewahrung und Weiterentwicklung der antiken, insbesondere der aristotelischen sowie persischen, indischen und chinesischen Naturphilosophie gelangte man in den arabischen Kalifaten u. a. zu weitreichenden Aussagen hinsichtlich der "Bildung" von Metallen (s. u.), der Erweiterung der aristotelischen Qualitätenlehre (Abschn. 3) und der Entwicklung einer Art Element- und Verbindungsbegriff: Gebilde 1. Ordnung (die 4 "Ur"elemente), zweiter Ordnung (Quecksilber, Schwefel), dritter Ordnung (Metalle) und höherer Ordnung (pflanzliche und tierische Stoffe). Die Klassifizierung und das Ordnen der Stoffe wurde nach physikalischen und chemischen Merkmalen vorgenommen: Metalle, "Geister" (Stoffe, die bei erhöhter

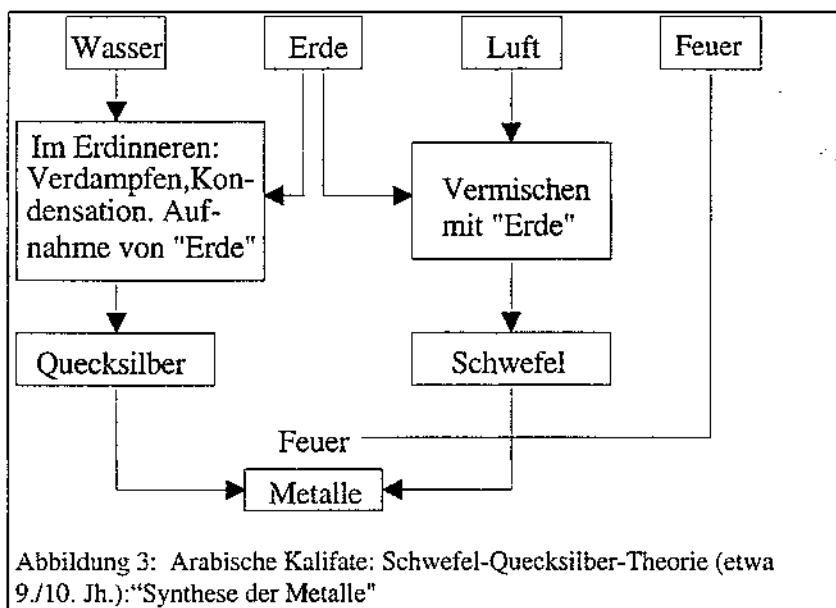
Temperatur sich verflüchtigen: Arsensulfide, Schwefel, Quecksilber, Ammoniumchlorid) und Steine (zunächst ohne weitere Differenzierung).

Tabelle 10: Arabische Kalifate: Angewandte Chemie
<p>Theoretische Vorstellungen - Experiment - Wirtschaftliche Nutzung</p> <ul style="list-style-type: none"> - Weiterentwicklung der <i>Destillationstechnik</i>: u. a. Destillationsbatterien (Duftwässer, Pharmazie) - <i>Pharmazie</i>: u. a. Salben (+ ZnO, Hg-haltig) Zucker für medizinische Zwecke - <i>Papierherzeugung</i> (ab etwa 760; allg. Verw. 850)¹⁷ - <i>Metallurgie</i>: Messing ("sabah": "neues Metall") seit 900; Damaszener Stahl - <i>Chemie</i>: Pottasche, Soda (aus Pflanzenasche) <p>Eisen"vitriol", Alaun (→ Textilfärberei); Glaserzeugung, Seifenproduktion</p>
¹⁷ Erste Papiermühlen 794 in Chorosan und Bagdad; zum Vergleich: in Deutschland 1290 (Ravensburg), 1390 (Nürnberg).

Darüber hinaus erfolgte eine *Weiterentwicklung der chemischen Experimentierkunst* und deren Anwendung auf neue, der Praxis dienende "Technologien" (H. W. PRINZLER). Besonders soll in diesem Zusammenhang die enge Verflechtung von Theorie - Experiment - wirtschaftliche Nutzung der Ergebnisse hervorgehoben werden (Tab. 10). Hinsichtlich der Fortschritte auf dem Gebiet der Destillationstechnik vgl. [24]

Entsprechend dem Hauptanliegen des vorliegenden Beitrags soll nachfolgend vorrangig auf die Leistungen des Philosophen BALINÂS (arabisierter Name des (Pseudo-)APOLLONIUS VON TYANA; ausgehend 1. Jhtsd., aus Kappadokien stammend) und des arabischen Gelehrten GABIR IBN HAYYÂN (9./10. Jh., nach anderen Quellen 8./9. Jh., z. B. um 725 bis um 810) eingegangen werden.

BALINÂS, Autor einer in arabischer Schrift abgefaßten Kosmologie ("Buch der Ursachen") gilt als Schöpfer der *Schwefel-Quecksilber-Theorie* (Abb. 3).



Danach sind die Metalle über die Zwischenstadien "Quecksilber" und "Schwefel" unter dem Einfluß der Planeten hervorgegangen: Quecksilber entstünde als Produkt der Aufnahme von Erde durch Wasser, und Luft würde beim Vermischen mit Erde zu Schwefel. Unter dem "regulierenden" Einfluß des Feuers vereinigen sich Quecksilber und Schwefel zu den Metallen. Geschehe dieses unter "optimalen" Bedingungen (z. B. hinsichtlich der "Reinheit"), so entstehe das Gold. Wie dies von IBN SINA (s. u.) in der traditionellen Erklärung der Metallbildung gesehen wurde, sei durch folgendes Zitat belegt [25, S. 66/67]:

"Gold bildet sich z. B. dann, wenn der Schwefel edel und rein sowie feurig und färbend ist und das Quecksilber rein ist. Wenn das Quecksilber rein ist und der Schwefel weder schmutzig ist noch brennend wirkt, entsteht Silber. Ist der Schwefel dagegen unrein und dehnbar, erhält man Kupfer ... Blei entsteht aus schlechtem, stinkendem Schwefel und schlechtem, schwerem tonartigen Quecksilber, und seine Verdichtung hat sich nicht vollendet".

Die Anschauung, wonach alle Metalle aus Schwefel und Quecksilber bestehen sollten, entsprach zweifelsohne der damaligen Vorstellung, daß das Schmelzen der Metalle als Übergang in Quecksilber aufgefaßt wurde, zum anderen der Beobachtung, daß Schwefel (als Bestandteil sulfidischer Erze) bei der Metallherstellung eine Rolle spielen mußte.

	Äußere Qualitäten	Innere Qualitäten
Gold	warm, naß	kalt, trocken
Silber	kalt, trocken	warm, naß

Elixier
Silber → Gold
(Herauskehren der inneren Qualitäten)

Abbildung 4: GABIR-Schriften: Erweiterung der aristotelischen Qualitätslehre

GABIR IBN HAYYÂN, Haupt einer religiösen Sekte und Begründer der arabischen Alchemie, vertrat, basierend auf der Vier-Elemente-Lehre (Abschn. 3), ebenfalls die oben genannte Theorie. Diese wurde in seinen Schriften unter Beachtung der "äußeren" und "inneren" Qualitäten der Metalle weiterentwickelt (Abb. 4). Danach hat Gold die äußeren Qualitäten warm und naß, beim Silber ist es umgekehrt. Eine Transmutation von Silber in Gold habe somit die "inneren Qualitäten" des Silbers herauszukehren. Hierzu sei das *Elixier* (von griech. xerion = Streupulver → arab. el iksir) erforderlich.

Eine Würdigung der philosophischen Leistungen der Völker der arabischen Kalifate muß das Wirken zweier weiterer Gelehrter einschließen, deren Lehren u. a. auch für die europäische Kultur (in derem weitesten Sinne) von außerordentlicher Bedeutung waren: IBN RUSCHD (ROSCHD) ABUL WALID (lat. AVERROËS, 1126 (Cordoba) bis 1198 (Marrakesch)) und IBN SINA (Tab. 11). Ersterer, Mediziner, Schriftsteller und Philosoph, widmete sich in seinem philosophischen Schaffen vornehmlich der Lehre des ARISTOTELES, und über dessen Philosophie schlug er eine Brücke zwischen Islam und Christentum.

Für die Geschichte der Chemie interessiert uns IBN SINA, der beispielsweise das Quecksilber unter die Metalle einordnete: "... *Das Quecksilber gehört zu den schmelzbaren Körpern und ähnelt den Stoffen, die sich hämmern lassen*" [26]. Wenngleich er, wie wir oben gesehen haben, zur Frage der Metallbildung auch den Standpunkt der Schwefel-Quecksilber-Theorie vertrat, lehnte er "... *die in den des "Corpus Gabirianum" und in den Werken von Razi (AR-RÂZÎ, 865 - um 925, persischer Arzt, Philosoph und Naturwissenschaftler; bedeutender Vertreter der arabischen Alchemie und Medizin; S.E.) enthaltenen Ausführungen über die Gewinnung eines Elixiers zur Verwandlung von Metallen in Gold... als puren Unsinn ab*" [25, S. 68]. Hierin und in der generellen Ablehnung der Alchemie (mit ihren negativen Auswüchsen) kann IBN SINAs Hauptbeitrag zur Entwicklung der Chemie gesehen werden.

Tabelle 11: IBN SINA (AVICENNA)

980 (Afschana, b. Buchara) - 1037 (Hamadan, W-Iran) [25]

Arzt, Philosoph, Naturwissenschaftler, Mathematiker, Musiktheoretiker

Philosophischer Standpunkt:

- Experiment in den Naturwissenschaften
- Selbständige Existenz der Materie; Gesetzmäßigkeit des Naturwirkens
- Unabhängigkeit materiellen Geschehens von überirdischem Einfluß
- Ewigkeit der Welt
- Vertreter des Nominalismus
- Erkennbarkeit der Welt

Ordnete Quecksilber unter die Metalle ein.

Skepsis gegenüber dem Transmutations-Gedanken:

"... aber in all diesen Prozessen bleibt die wesentliche Natur unverändert."

Trotz der oben skizzierten und zahlreicher weiterer Leistungen auf "chemischem Gebiet" muß aber auch für den historisch bedeutsamen Zeitraum der arabischen Kalifate eingeschätzt werden, daß man in der materiellen und ideellen Auseinandersetzung mit den "Elementen" der griechischen Naturphilosophie, und dabei u. a. mit dem Phänomen "Feuer" und dem materiellen "Stoff" Luft nicht vorangekommen war. Aussagen zur Natur der Erscheinung Feuer und zur stofflichen Zusammensetzung der Luft konnten nicht getroffen werden. Schließlich war das Streben der arabischen Alchemisten nicht darauf gerichtet, die Chemie (oder genauer das, was wir auch rückschauend zur Chemie rechnen) in eine rationale Wissenschaft zu verwandeln. Diese Aussage muß auch für den Zeitraum des Mittelalters getroffen werden.

5. Zum chemischen Wissen des Mittelalters

Oftmals herrscht noch die Meinung vor, daß im Zeitraum des europäischen Mittelalters (Tab. 12) keine wesentlichen Entwicklungen auf chemischem Gebiet zu verzeichnen waren.

Tabelle 12: Europäisches Mittelalter

Entwicklungsabschnitt zwischen Altertum (Ende des Weströmischen Reiches, 476) und Neuzeit ("Wieder"-Entdeckung Amerikas, 1492)

Klostergründungen (ab 10. Jh.);

Kloster-/Domschulen; ab 12. Jh. → Universitäten

Italien: Nach arabischem Vorbild und dem Muster der Medizinschule von Salerno (aus vorarabischer Zeit) → Universitätsgründungen

1119 Bologna	1224 Neapel	1386 Heidelberg
1150 Paris	1230 Salerno ¹⁾	1388/92 Erfurt
1167 Oxford	1287 Lissabon	1409 Leipzig
1184/1289 Montpellier	1347/48 Prag	1419 Rostock
1209 Cambridge	1364 Krakau	1456 Greifswald
1222 Padua	1365 Wien	

¹⁾ Erhebung zur Universität, 1811 durch NAPOLEON I. aufgehoben

Dieser Einschätzung muß nachdrücklich widersprochen werden. An dieser Stelle seien hervorgehoben:

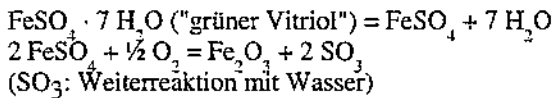
- *Erfindung des Schießpulvers* (13. Jh.); sie führte zu einer generellen Umgestaltung der Militärtechnik und (zwangsläufig) zu gesellschaftlichen Veränderungen [5, 6].

- *Verbesserung der Destillationstechnik* durch Einführung der *Wasserkühlung* (12. Jh.) durch salernitanische Ärzte: Ein abwärts gerichtetes Dämpferrohr führte durch ein mit Wasser gefülltes Gefäß; bald darauf kamen Dämpferrohre in Spiralförmigkeit („Serpentina“ - Schlangenköhler) in Gebrauch [24]. Durch die Wasserkühlung war es auch möglich, leicht flüchtige Stoffe (z. B. den (Ethy)alkohol: "aqua ardens" - brennendes Wasser; "aqua vitae" - Lebenswasser) zu erfassen. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß dieser Umstand auch die zur *Iatrochemie* führende Entwicklung unterstützte; und es sei weiterhin auf die enge Verknüpfung der Entwicklung der Destillationstechnik mit der (ständig steigenden) Alkoholgewinnung bis etwa in die Mitte des 19. Jh. (Aufkommen der Erdölindustrie) hingewiesen.

- *Entdeckung der Mineralsäuren* (13. Jh.). Gerade ihre Entdeckung hat der Chemie in ihrer Entwicklung große Impulse vermittelt. Um 1250 beschreibt

VINCENTIUS BELLOVACENSIS (VINCENZ VON BEAUVAIS, 1190 - 1254/56 (?), Dominikanermönch und Prinzenerzieher am Hofe des französischen Königs LUDWIG IX.) erstmals die Herstellung der Schwefelsäure und deren (metall)auflösende Wirkung ("... *Kraft des destillierten Alauns* ...").

Für die Gewinnung beispielsweise der Schwefelsäure wurden nachfolgende zwei, im Prinzip schon seit der Antike bekannte, Möglichkeiten genutzt: Thermische Zersetzung (Calcination) von "Vitriolen" bzw. "Alaun", z. B.:

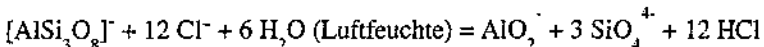


sowie die Verbrennung von Schwefel.

Die Calcination von Vitriolen im Gemisch mit "Salz" diente schon frühzeitig zur Reinigung von Gold (teilweise festkörperchemisches Freisetzen von SO_2/SO_3 im Gemisch mit Chlorwasserstoff). Hierüber berichtete PLINIUS d. Ä. (GAIUS P. SECUNDUS, 23/24 - 79) im XXXIII. Buch der "Naturalis historia":

"Gold wird geröstet mit dem doppelten Gewicht an Salz und dem dreifachen an Vitriol und wieder mit zwei Teilen Salz und dem Stein, den man "schiston" (Alaunschiefer) nennt; so gibt es ... seine Unreinigkeiten in die mit ihm verbrannten Stoffe ab".

Nach PRINZLER [19, S. 136 ff.] ist es denkbar, daß die Reinigung von Gold "auf trockenem Wege", ein bereits im Alten Ägypten bekanntes Verfahren zur oxidativen Abtrennung von Silber und weiteren Goldbegleitern, dann im Mittelalter unmittelbarer Anlaß zur Entdeckung von Mineralsäuren war. Diese Reinigung beruhte auf der thermischen Behandlung von Rohgoldblättchen mit einem Ziegelmehl-(Koch)salz-Gemisch. Hierbei entsteht in einer Festkörperreaktion Chlorwasserstoff (vereinfacht):



Dieser greift lediglich die im Rohgold vorliegenden unedlen Metalle an und bewirkt somit auch eine Gold-Silber-"Trennung".

Wenngleich man noch längere Zeit nach der Entdeckung der Mineralsäuren diese oft in denkbar schlechten Ausbeuten herstellte und vielfach auch keine Unterscheidung zwischen den einzelnen Säuren traf (bzw. treffen konnte), war doch der Aspekt ihrer praktischen Nutzung unbestritten. Beispielhaft seien genannt:

- die Verwendung von Salpetersäure zur Gold-Silber-Scheidung (etwa 15. Jh.)

- der - allerdings seiner Zeit weit vorausseilende - Vorschlag des "Chymisten" JOHANN RODOLF GLAUBERS (1604 - 1670), Mineralsäuren zum Erzaufschluß zu nutzen, sowie

- die Verwendung von Säuren zur Herstellung von Produkten für die Beizenfärberei (SnCl_4 -Bedarf für Cochenille, 1630) bzw. dann später als Sulfurierungsmittel (Indigo-Sulfurierung, 1744).

Die Nutzung der Mineralsäuren brachte zugleich eine wesentliche Ausweitung der bis dahin bekannten "*Arbeitstechniken*" (Tab. 13).

Damit wurde schließlich wichtiges experimentelles Material für die Ausarbeitung theoretischer Vorstellungen in den folgenden Jahrhunderten gelegt: Durch die nun mögliche Auflösung von Metallen (in Säuren) unter Salzbildung ("Erden") und ihre Wiedergewinnung aus derartigen Lösungen ergaben sich auch Anstöße zur Auseinandersetzung mit folgenden Themenkomplexen:

- *Unzerstörbarkeit der Stoffe*

- Ausarbeitung der *Korpuskulartheorie* (17. Jh.). Wichtigste Vertreter: P. GASSEND(I) (1592 - 1655), R. DESCARTES (1596 - 1650), R. BOYLE (1627 - 1691) [27]; in Deutschland: D. SENNERT (1572 - 1637), J. JUNGIUS (1587 - 1657).

- Konkretisierung des *Elementbegriffes*

- Lehre von der *Affinität der Stoffe* (vorrangig der Metalle bzgl. Säuren; 17./18. Jh.).

Tabelle 13: Arbeitstechniken der (Al-)Chemie

- BOLOS von Mendes/Nildelta (Pseudo-DEMOKRITOS), um 300 v. Chr., ältester bekannter Vertreter der ägyptisch-hellenistischen Alchemie
→ *Feuer*, "Festkörperreaktionen"

- MARIA die Jüdin, um 300 v. Chr., syrisch-ägyptischer Raum, älteste bekannte Alchemistin → *Destillation*; Kerotakis-Geräte¹⁾

- ZOSIMOS von Panopolis/Oberägypten, um 400 (350? - 420?)
→ *Destillation*, *Sublimation*

- *Mittelalter*

→ *Mineralsäuren*; *durch Auflösen von Metallen* → *Arbeiten in wässrigen Lösungen*

¹⁾ Zylinder- oder kugelförmige Geräte zur Umsetzung verschiedener Substanzen mit verdampfbaren Stoffen (z. B. Schwefel, Arsensulfide, Quecksilber) [4].

Im Zusammenhang mit dem Hauptanliegen des vorliegenden Beitrags sei noch auf das wohl wichtigste Werk von ROBERT BOYLE, "The Sceptical Chemist" hingewiesen [28], s. a. [27]. Es ist für die Entwicklung der Chemie in zweifacher Hinsicht von Bedeutung. Zum einen kommt BOYLE aufgrund seiner Experimente zu der Ansicht, daß die Stoffe aus kleinsten Partikeln bestehen, die sich zu größeren "Clustern" vereinigen, wobei ein Element ein derartiges Agglomerat sei. Gleichermaßen bedeutsam dürfte jedoch der stete Hinweis BOYLES darauf sein, "... wie nach den unveränderlichen Bestandteilen der zusammengesetzten Stoffen gesucht ..." werden sollte [28, S. 104]. Ausgangspunkte hierfür waren Prüfung und Kritik der "Lehren" der griechischen Naturphilosophen (Abschn. 3), des PARACELSUS' (1493 - 1541; tria prima: Sulphur, Mercurius und Sal(z)) und der gängigen (Schein)Theorien der Alchemie an Hand von fünf Fragen [28, S. 104]:

1. Ist das Feuer der "allgemeine Analysator" aller Körper?
2. Sind die Erhitzungsprodukte, die man so erhält, wirklich Elemente oder Prinzipien?
3. Ist die Zahl der Produkte, die man als Elemente oder Prinzipien anspricht, wirklich drei oder vier oder fünf?
4. Gibt es wirklich das, was man Element Salz, Element Schwefel, Element Quecksilber nennen könnte?
5. Gibt es überhaupt wirkliche Elemente oder Prinzipien?

Wenngleich auch die (vollständige) Beantwortung der fünf Fragen seinerzeit offen bleiben mußte, da der exakten experimentellen Überprüfung zu jener Zeit zwangsläufig Grenzen gesetzt waren, so hat BOYLE mit seiner klaren Aufgabenstellung an die Chemiker, gezielt nach den "unveränderlichen Bestandteilen der zusammengesetzten Stoffe" zu suchen, jeder Willkür im experimentellen Arbeiten der Alchemisten den Boden entzogen.

6. Die Chemie des 18. Jahrhunderts

So beeindruckend auch die Denkansätze und gewisse Fortschritte auf bestimmten Gebieten der angewandten Chemie waren, "... sollte ... die Weiterentwicklung der Chemie während des größten Teils des 18. Jh. auf ganz anderen Wegen erfolgen. Man versuchte nicht, rationale Methoden auf die Chemie anzuwenden, die auf mechanischen Modellen beruhten, welcher der außerordentlichen Verschiedenheit der chemischen Erscheinungen nicht Rechnung trugen, sondern gewann mit zunehmender rationaler Durchdrin-

gung der ursprünglich magischen und animistischen Vorstellungen neue Erkenntnisse. Obgleich diese zu Anfang unvermeidlich vage waren, wiesen sie eine Elastizität auf, die es dem praktisch arbeitenden Chemiker ermöglichte, die mannigfaltigen chemischen Operationen zu erfassen und sie in einige wenige verbale Verallgemeinerungen einzuordnen" [13].

Die großen Fortschritte in der Chemie des 18. Jahrhunderts resultieren aus einem wissenschaftsstrategisch äußerst bedeutsamen Umstand: Die Hauptfragestellungen wurden lediglich auf *ein* zentrales Problem gerichtet, nämlich auf die Verbrennung und die Wirkung der "Feuerluft". Man begann zu erfragen, was mit den brennbaren Stoffen geschah, wenn sie an der Luft "verbrannten". Für eine Reihe von ihnen (z. B. Holz, Schwefel, Kohle) war die Antwort leicht gegeben: Sie gingen in "Flamme und Rauch" auf und hinterließen Asche. Was geschah aber mit den Metallen beim Erhitzen an Luft? Gab es bei der Umsetzung der verschiedenen Stoffe mit Luft nicht etwas Gemeinsames, und welche Rolle spielte hierbei die Luft?

Den indirekten Anstoß zu einer Entwicklung, die letzten Endes die Chemie als Wissenschaft begründete, gab GEORG ERNST STAHL (1659 - 1734) [29] durch die Aufstellung der *Phlogistontheorie* (griech. phlox = Flamme; eigentlich "das Verbrannte"), erstmals publiziert 1697 in "Zymotechnia fundamentalis seu fermentationis theoria generalis, Halae 1697" [30]. Zu dieser Zeit war STAHL 2. Professor der Medizin an der 1694 gegründeten Universität in Halle, wo er auch chemische Vorlesungen hielt.

Das Anliegen STAHLs in seinen Arbeiten war es, vertiefte wissenschaftliche Erkenntnisse von Prozessen der chemischen Gewerbe zu gewinnen. Er leitete seine Lehre u. a. aus der Praxis der Erzverhüttung als Theorie der Reduktion her; und erst danach wurden die Fragen des "Verkalkens" (Verbrennens) der Metalle behandelt.

STAHL konnte sich bei der Ausarbeitung seiner Lehre u. a. auf die Arbeiten des Chemikers, Mathematicus und Arztes JOHANN JOACHIM BECHER (1635 - 1682) stützen, der eine Erweiterung der "Vier-Elemente-lehre" (Abschn. 3) vorgenommen hatte. Nach BECHER waren die Ur-Elemente "Luft" und "Wasser" zu keiner Umsetzung fähig. Dagegen sei die "Erde" der eigentliche Urstoff alles Irdischen, und sie bestehe aus drei "Teil-Urhebungen" ("Erden") mit unterschiedlichen Wirkungen ("Verantwortlichkeiten"):

- "*Merkurialische*" Erde → Schmelzbarkeit der Metalle
- "*Glasartige*" Erde → glasartige Schlacken

- "Fettige"/"ölartige" Erde: *terra pinguis* → Prinzip der Brennbarkeit; Ursache der "Verkalkbarkeit" der Metalle.

Von enormer Tragweite war die Aussage BECHERs, wonach "Verkalten" (der Metalle) und "Verbrennen" (z. B. von Schwefel) *gleichartige* Prozesse seien, die im Verlust der *terra pinguis* bestehen. STAHLs grundlegendes Postulat bestand nun darin, eine in allen brennbaren Stoffen vorhandene spezifische Substanz, nämlich das *Phlogiston*, anzunehmen (Tab. 14). Die Verbrennung von z. B. Schwefel und die Calcination (das "Verkalten") der Metalle wurden in Anlehnung an BECHER als *Zerlegung* von Stoffen angesehen, bei der das *Phlogiston* freigesetzt wurde.

Tabelle 14 Die Phlogiston-Theorie: Ein Irrtum

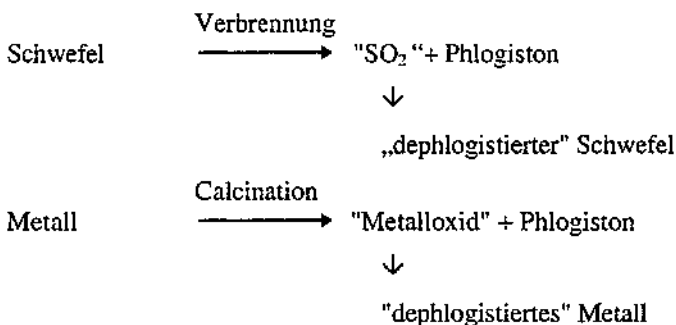
Der Sauerstoff war noch nicht entdeckt.

STAHL: *Phlogiston*: Eine in allen brennbaren Stoffen enthaltene Substanz

Bei "Oxidation": *Abgabe* von Phlogiston

Bei "Reduktion": *Aufnahme* von Phlogiston

Beispiele:



Das Neue an der STAHLschen Lehre war, daß sich bei der "Reduktion" von Metall "kalken" (Metalloxiden) das *Phlogiston* mit diesen unter Metallbildung verbindet. Hierbei spielt die Kohle (ein sehr "phlogistonreicher" Stoff) eine wichtige Rolle; beim Schmelzen "... durch und unter die Kohlen ... wurde wirklich etwas Körperliches zu dem Metall beigetragen bzw. beigefügt" [31].

Wenngleich STAHLs Lehre die Vorgänge der Oxidation und Reduktion genau umgekehrt darstellte (Oxidation: Zufuhr des (erst 1771 entdeckten) Sauerstoffs, Reduktion: Sauerstoff-Entzug), ist der Nutzen der Phlogiston-

Theorie für die weitere Entwicklung der Chemie im 18. Jahrhundert von herausragender Bedeutung gewesen (vgl. dazu in [29] speziell S. 66 - 71; Tab. 15). Diese Theorie "koordinierte" eine große Anzahl sehr unterschiedlicher Phänomene; sie kann als ein Paradebeispiel für konsequentes Denken auf der Grundlage eines Irrtums angesehen werden. Sehr wichtig war, daß sie die *erste* chemische Theorie überhaupt darstellte, die den *Prozeßgedanken* bei chemischen Reaktionen und deren Umkehrbarkeit erfaßte.

Tabelle 15 Bedeutung der Phlogiston-Theorie

- Erstmals wurde eine *chemische Umwandlung* auf korpuskular-mechanistischer Basis als ein *Prozeß* begriffen und verstanden. *Umkehrbarkeit* von Reaktionen.
- Zusammenhang von Oxidation und Reduktion; damit Erfassen von "*Red-Ox-Vorgängen*": → *Neue theoretische Grundlage der Chemie*
- Versuche zur Isolierung des "principium Phlogiston" (→ Gase allgemein)
- Wissenschaftliche Einsichten in gewerblich-chemische Prozesse. *Rückwirkung der Theorie*
- Endgültige Trennung der Alchemie als "Goldmacherkunst" von der Chemie
- Theoretische Basis für die Umgestaltung des Theoriengebäudes der Chemie durch A. L. LAVOISIER ab 1772

Aus den Versuchen, das "principium Phlogiston" zu isolieren, resultierten ganz allgemein auch auf dem Gebiet der *Gaschemie* große Fortschritte (*pneumatic revolution*). Diese hatte zuvor wesentliche Impulse durch den Naturforscher, Chemiker, Arzt und Philosophen JOHANN (JEAN) BAPTIST VAN HELMONT (1577 - 1644) und den Naturforscher STEPHEN HALES (1677 - 1761) erhalten. Ersterer ist der eigentliche Begründer der Gaschemie. Er entdeckte um 1640 das Kohlendioxid, und mit seinen Untersuchungen bahnte er eine exaktere begriffliche Trennung von Luft, Wasserdampf und Gas (griech. chaos). HALES erfand 1727 die "pneumatische Wanne", wodurch erst das eigentliche "Auffangen" von Gasen ermöglicht wurde. Er stellte durch Erhitzen der verschiedensten pflanzlichen, tierischen und mineralischen Stoffe zahlreiche Gase her. Doch unterzog er keines der Gase einer genauen Untersuchung, da er alle für atmosphärische Luft hielt, die lediglich durch andere Stoffe "abgewandelt" (verunreinigt) sei. Auch andere Forscher nach ihm teilten noch jahrzehntelang seine Ansichten über die Natur der Gase.

Dies änderte sich dann - beginnend mit der Entdeckung des *Wasserstoffs* durch den Chemiker und Physiker HENRY CAVENDISH (1731 - 1810) im Jahre 1766. Er bewies in seiner Veröffentlichung "Experiments on Factitious Air", daß es von der Luft völlig verschiedene Gase gibt und teilte dazu u. a. mit, daß bei Einwirkung von Säuren auf verschiedene Metalle "*brennbare Luft*" entstehe. In ihr sah er das reinste Phlogiston. Und es ist bemerkenswert, daß dann in dem erstaunlich kurzen Zeitraum von etwa 20 Jahren die Entdeckung und Analyse wesentlicher Gase, darunter vier von (wirklich) elementarer Natur, erfolgte (Tab. 16; vgl. auch [32]).

Tabelle 16 Entdeckung/Analyse von Gasen	
1766	<i>Wasserstoff</i>
1771	<i>Chlor</i> , 1774 veröffentlicht
ab 1771	<i>Sauerstoff</i>
1772	<i>Stickstoff</i>
1773/76	"Lachgas" (N_2O)
1774/75	Chlorwasserstoff, NH_3 , SO_2 isoliert
1776	H_2S isoliert (Zusammensetzung: 1785), Sumpfgas (CH_4)
1780	Wassergas (CO/H_2 -Gemisch)
1781	CO_2 (aus Verbrennung von Kohle): analysiert
1783	Erste genaue Luftanalyse (20,83 Vol.-% O_2 , 79,17 Vol.-% N_2)
	$\text{Wasserstoff} + \text{Sauerstoff} \xrightarrow[\text{Funken}]{\text{elektr.}} \text{Wasser}$
	$H_2O\text{-Dampf} \xrightarrow[\text{Eisen}]{\text{erhitztes}} \text{Wasserstoff (+Eisenoxide)}$
1785	$\text{Luft} \xrightarrow[\text{Funken}]{\text{elektr.}} \text{"Stickoxide" (+ } H_2O: HNO_3)$ (inaktiver "Luft"rest: Edelgase, ab 1894)

Neben dem Wasserstoff war es weiterhin der *Sauerstoff*, der 1771 (s. u.) von dem in Stralsund geborenen späteren Apotheker und Chemiker CARL WILHELM SCHEELE (1742 - 1786) entdeckt wurde. 1772 veröffentlichte dann der Schotte DANIEL RUTHERFORD (1749 - 1819) seine medizinische Doktorarbeit, in der er von der "*giftigen Luft*" (*Stickstoff*) berichtete.

Im selben Jahr erhielt auch CAVENDISH den Stickstoff ("mephitische Luft"), nachdem er das beim Überleiten von Luft über glühende Holzkohle gebildete Kohlendioxid an "Ätzkali" band. Er unterließ es jedoch, seine Ergebnisse sogleich zu publizieren. Schließlich veröffentlichte 1774 SCHEELE die Ergebnisse von Untersuchungen aus dem Jahr 1771, wonach beim Behandeln von Braunstein mit "muriatischer Säure" (Salzsäure, von lat. muria = Salzlake) "*dephlogistierte muriatische Säure*" (Chlor) entsteht.

Und abschließend sollen von den Angaben der Tabelle 16 noch zwei Versuche aus dem Jahr 1783 hervorgehoben werden: CAVENDISH stellte im Frühling jenes Jahres die *Vereinigung* von "dephlogistierter Luft" (Sauerstoff) mit "brennbarer Luft" zu Wasser fest, und ANTOINE LAURENT LAVOISIER (1743 - 1794) *zersetzte* Wasser an hochoberhitzten Oberflächen von Eisen (spiralförmiges Eisenrohr, gefüllt mit Eisenspänen). LAVOISIER berichtete darüber am 15. April 1784 in der Pariser Akademie.

Die von CAVENDISH und LAVOISIER gemachten Beobachtungen waren neben dem jeweils reinen Versuchsergebnis insofern von größter Bedeutung, als sie den endgültigen experimentellen Beweis dafür erbrachten, daß das "Ur-Element" Wasser (Abschn. 3) ein zusammengesetzter Stoff sei. Und ein gleiches "Schicksal" der Streichung in der Liste der überlieferten "Ur-Elemente" war der "Luft" beschieden.

Damit kommen wir zurück zur *Entdeckung des Sauerstoffs* und der Aufklärung seiner Rolle im Verbrennungsprozeß, zwei für die Herausbildung der Chemie als Wissenschaft nicht hoch genug einzuschätzende Ergebnisse.

Der Weg von der "Feuerprobe" bis zur Entdeckung dieses "Schlüsselements" ist nicht frei von richtigen Annahmen und Beobachtungen sowie Fehleinschätzungen und grundlegenden Irrtümern, z. B. [9, 32]. Bereits im 13. Jh. erwähnte Pseudo-GEBER, ein in der Person (jedoch nicht in seinen bedeutsamen Schriften) weitgehend unbekannter Vertreter der lateinischen Alchemie, die Gewichtszunahme beim "Verkalten" der Metalle. Weitere Beobachtungen gleichen Ergebnisses wurden nachfolgend u. a. bei Quecksilber/Amalgamen (1490), Blei (1553), Antimon (1618) und Zinn (1630) gemacht. Der Trugschluß bei der Deutung dieser Ergebnisse lag in der Annahme, daß die gebildeten "Kalke" (Metalloxide) *Bestandteile* der Metalle seien. Um 1640 äußerte sich VAN HELMONT, daß das "Feuer" kein Element sei. Andererseits tauchte im 16./17. Jh. mehrfach der Gedanke auf, daß der "Feuerstoff" eine wägbare Substanz sein müsse. Um 1630 führte der französische Arzt JEAN REY die von ihm beobachtete Gewichtszunahme beim "Verkalten" von Metallen auf die Adsorption von Luftbestandteilen zurück. Der Engländer JOHN MAYOW (1643 - 1679) beschrieb 1674 die Metallkalke zwar als Verbindungen der Metalle mit "*Salpeterluft*"

("spiritus nitro-aerius"), seine Ansichten über andere Verbrennungsvorgänge waren aber weniger schlüssig. Der Bezug auf "Salpeterluft" war insofern verständlich, als der englische Physiker ROBERT HOOKE (1635 - 1703) vermutet hatte, daß der an der Verbrennung beteiligte Bestandteil der Luft im Salpeter (auch) enthalten sei. Diese der Wahrheit sehr nahe kommenden Ansichten bzw. Ergebnisse konnten jedoch nicht verhindern, daß J. REY und J. MAYOW "... isolierte Vortäufel waren, die die allgemeine Denkweise in der Chemie nicht zu beeinflussen vermochten" [13]. Ein gleiches kann auch für MICHAEL VASIL'EVIC LOMONOSSOV (1711 - 1765) gesagt werden, der 1748 zu der richtigen Annahme kam, daß bei der Verbrennung keine Aufnahme von "Feuermaterie" (Wärme) durch die Wände der Reaktionsgefäße erfolge, sondern daß die beobachtete Gewichtszunahme beim Erhitzen von Metallen wohl aus deren "Vereinigung" mit Luftteilchen herühren sollte.

Trotz aller dieser genannten Erkenntnisse sollte die eigentliche Wende aus einer ganz anderen Richtung kommen. 1771 entdeckte SCHEELE den Sauerstoff (Tab. 17; vgl. dazu besonders [9], aber auch [33]). Anderen Forschern gelang - unabhängig von SCHEELE - wenig später ebenfalls diese Entdeckung, ohne daß auch sie sich der ganzen Tragweite des Ergebnisses bewußt waren: PIERRE BAYEN (1725 - 1797, Pharmazeut und Chemiker), JOSEPH PRIESTLEY (1733 - 1804, Prediger, Sprachlehrer, Bibliothekar und Naturforscher). Bereits am 1. November 1772 hinterlegte nämlich LAVOISIER bei der Französischen Akademie der Wissenschaften eine (versiegelte) Mitteilung des Inhalts, wonach Schwefel und Phosphor beim Verbrennen "schwerer" werden, und er nahm an, daß die Gewichtszunahme der Metalle beim Verbrennen die gleiche Ursache haben kann. In einem am 11. November 1774 vor der Akademie gehaltenen Vortrag unter dem Titel "*Über das Verbrennen von Zinn in geschlossenem Raum und über die Ursache der Gewichtszunahme der Metalle*" kommt er u. a. zu dem Schluß, daß diese Gewichtszunahme gleich dem Gewicht der "adsorbierten" Luft sei. In diesem Jahr war LAVOISIER durch BAYEN mit der Frage konfrontiert worden, was denn bei der thermischen Zersetzung von Quecksilberchlorid entstehe. Dieser sah in der betreffenden Reaktion eine Möglichkeit, reines Quecksilber zu erhalten. Und es war PRIESTLEY, der als Privatsekretär des EARL OF SHELBURNE im Oktober 1774 in Paris weilte, wo er auch LAVOISIER traf und diesem seine Entdeckung der "*dephlogisticated air*" mitteilte.

Tabelle 17: Entdeckung des Sauerstoffs

C. W. SCHEELE ab Juni 1771	$\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2$ "Vitriolluft", später "Feuerluft"
P. BAYEN Februar 1774 bis Februar 1775	$\text{HgO} \rightarrow \text{Hg} + \frac{1}{2} \text{O}_2$
J. PRIESTLEY 1. August 1774 bis März 1775	$\text{HgO} \rightarrow \text{Hg} + \frac{1}{2} \text{O}_2$
A. L. LAVOISIER März/April 1774 bis Februar/März 1775	zuerst nach $3 \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2 \text{Fe}_3\text{O}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2$, dann: $\text{HgO} \rightarrow \text{Hg} + \frac{1}{2} \text{O}_2$
C. W. SCHEELE November 1775	$\text{HgO} \rightarrow \text{Hg} + \frac{1}{2} \text{O}_2$

C. W. SCHEELE, "Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer. Nebst einem Vorbericht von Tobern Bergman ..." (Eingereicht Dezember 1775 an den Verleger SWEDERUS in Up(p)sala; erschienen: Sommer 1777. Zur Problematik der verspätet erfolgten Publikation, vgl. speziell in [9] S. 55 ff.)

Basierend auf den Resultaten seiner *quantitativen* Experimente und ausgestattet mit diesen Informationen führte LAVOISIER in einem Vortrag vom 26. April 1775 aus, daß sich seine Untersuchungsergebnisse dadurch erklären ließen, wenn man bei der Verbrennung (*statt der Abgabe von Phlogiston*) die Aufnahme von Sauerstoff annahm. PRIESTLEYS und BAYENS Namen erwähnte er dabei nicht, ein - zweifelsohne - sehr kritikwürdiges Verhalten, das bei ihm leider keinen Einzelfall darstellte (hierzu vgl. man speziell [34, S. 26 - 38]).

In den folgenden Jahren sicherte dann LAVOISIER seine Ergebnisse durch zahlreiche Versuche; aber erst 1783 erklärte er in seiner Veröffentlichung "Bemerkungen über das Phlogiston. - Eine Entwicklung der 1777 bekannt gemachten Theorie des Verbrennens und Verkalkens" die STAHLsche Lehre rund heraus für falsch [35]. Im selben Jahr gelang LAVOISIER auch die Zerlegung des bis dahin für ein "Element" gehaltenen Wassers (s. o.).

Durch seine Untersuchungen war nun erwiesen, daß die Verbrennung von Stoffen auf deren Umsetzung mit Sauerstoff beruht, daß die Metalle keine Verbindungen, die "Metallkalke" dagegen aus Metallen und Sauerstoff zusammengesetzt sind und daß das Wasser kein "Element" ist.

Es lag nahe, "... daß diese Feststellungen zu völlig neuen Erkenntnissen über die Zusammensetzung fast aller damals bekannten Stoffe und damit zu einer Umwälzung der gesamten Chemie führen mußten. Solche entscheidenden Veränderungen konnten sich natürlich nicht ohne Widerstand vollziehen, und es war klar, daß LAVOISIER bei den nun folgenden Auseinandersetzungen und Veränderungen eine führende Rolle zukam. Er unternahm sich dieser ungeheuren Aufgabe mit viel Geschick und Energie" [32].

So definierte er den *Elementbegriff* entsprechend den Forderungen nach analytischer Genauigkeit:

"Verbinden wir aber mit der Bezeichnung Elemente oder Grundstoffe den Begriff der letzten Grenze, bis zu der die Analyse vordringen kann, dann sind alle Substanzen, die wir noch auf keine Weise haben zerlegen können, für uns Elemente, ... und wir dürfen sie nicht eher für zusammengesetzt halten, als bis die Erfahrung und Beobachtung uns den Beweis dafür liefern" (zitiert nach [36]).

LAVOISIER ergänzte die bestehende Liste von Elementen durch den Sauerstoff (ursprünglich "oxigine", 1787 durch die Nomenklatur-Kommission der Pariser Akademie der Wissenschaften in oxigène umgeändert), der zusammen mit dem Wasserstoff (hydrogène) das "Ur-Element" Wasser bildet sowie durch den anderen Bestandteil der Luft, den das Leben nicht erhaltende Stickstoff (azote).

Der nächste

"und vielleicht wichtigste Schritt (...LAVOISIERS) bei seiner Reform der Chemie" [32]

war die in Angriff genommene Aufstellung einer *neuen Nomenklatur*, wobei er die Unterstützung seiner Akademiekollegen L. B. GUYTON DE MORVEAU (1737 - 1816), C.-L. BERTHOLLET (1748 - 1822) und A. F. DE FOURCROY (1755 - 1809) fand. Die chemische Nomenklatur erschien in Buchform (314 Seiten) im Jahre 1787 [37].

Und schließlich legte LAVOISIER seine Ansichten über die Chemie in Form eines Lehrbuches dar [38], das mehrere Auflagen und Übersetzungen erreichte und mit dem er den Siegeszug seiner "Oxidationstheorie" einleitete. Seine Lehre setzte sich in der Fachwelt unverhältnismäßig schnell durch,

wenngleich einige ältere Wissenschaftler, so auch PRIESTLEY, bis zu ihrem Tode an der Phlogistontheorie festhielten. *

Literatur

- [1] A. Ullig, Lexikon der philosophischen Begriffe, Eltville 1993.
- [2] W. Strube, Der historische Weg der Chemie. Von der Urzeit bis zur industriellen Revolution. Leipzig 1976.
- [3] J. Rehmke, F. Schneider, Geschichte der Philosophie. Unter dem Titel "Grundriß der Geschichte der Philosophie" 1959 im Athenäum-Verlag Junker und Dünnhaupt KG., Bonn, erschienen. W. Kranz, Die griechische Philosophie, Leipzig 1941, 2. Aufl. 1986. I. Rozánski, Wissenschaften in der Antike, Moskau, Leipzig, Jena, Berlin 1980. A. S. Bogomolov, History of Ancient Philosophy, Moskau 1985. W. Durant, Die großen Denker, Bergisch Gladbach 1987, Lizenzausgabe Bindlach 1992.
- [4] Autorenkollektiv, ABC - Geschichte der Chemie, hrsg. von S. Engels. R. Stolz (federführende Herausgeber), W. Göbel, F. Nawrocki, A. Nowak, Leipzig 1989.
- [5] H. W. Prinzier, Pyrobolia, Leipzig 1981.
- [6] Kh. Lohs, Feuer als Waffe im Umweltkrieg. Studie im Rahmen des Projektes "Waffenwirkung und Umwelt"; durchgeführt in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum, Institut für Friedenssicherungsrecht und Humanitäres Völkerrecht, 1994.
- [7] H. v. Glasenapp, Die fünf Weltreligionen, München 1992, S. 14.
- [8] J. Villwock in: Propyläen Geschichte der Literatur, 3. Bd. Renaissance und Barock, Frankfurt am Main Berlin 1988.
- [9] H. Cassebaum, Carl Wilhelm Scheele, Leipzig 1982.
- [10] S. Engels, Zur geschichtlichen Entwicklung der anorganischen Festkörperchemie, Wiss. Z. Techn. Hochschule "Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg 27 (1985) 1, S. 21 - 32; in: Anorganische Festkörperreaktionen, 2. Aufl., Akademie-Verlag Berlin 1989.
- [11] H. Seidel, Von Thales bis Platon, Berlin 1982.
- [12] Wilhelm von Ockham, Kurze Zusammenfassung zu Aristoteles' Büchern über Naturphilosophie. Aus dem Lateinischen. Herausgegeben und übersetzt von H.-U. Wöhler, Leipzig 1983.
- [13] J. D. Bernal, Die Wissenschaft in der Geschichte, Berlin 1967.
- [14] Aristoteles, Metaphysik. Aus dem Griechischen übersetzt von F. Bassenge, Berlin 1960.
- [15] F. Nietzsche, Nachgelassene Schriften 1870 - 1873, im Band 1 der "Kritischen Studienausgabe" Herausgegeben von G. Colli u. M. Montinari, München - Berlin/New York 1988.

* Der Beitrag basiert auf Ausarbeitungen des Verfassers zur SCHORLEMMER-Vorlesung (Technische Hochschule Merseburg, 30.9.1986), zu einem Vortrag an der Universität Oldenburg, Fachbereich Chemie (12.7.1990) sowie zur Vorlesungsreihe "Geschichte der Naturwissenschaften/Chemie" an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Fachbereich Chemie.

- [16] Heraklit, "Vielwisserei bringt noch keinen Verstand" in: Die Vorsokratiker. Die Fragmente und Quellenberichte. Übersetzt und mit einer Vorbemerkung versehen von W. Capelle. Berlin 1958.
- [17] Enzyklopädie der Philosophie. Gruppo Editoriale Fabbri Bompiani Sonzogno Etas S.p.A. Deutsche Ausgabe: Augsburg 1992.
- [18] F. Tomberg in: Philosophenlexikon, Autorenkollektiv; herausgegeben von E. Lange und D. Alexander, Berlin 1982.
- [19] H. Prinzer, Hortulus Alchimiae, Leipzig 1979.
- [20] D. Lübke, Platon, Leipzig Jena Berlin 1984.
- [21] J. v. Liebig, Chemische Briefe, 4. Aufl., Heidelberg 1859.
- [22] A. J. Toynbee in: Propyläen Weltgeschichte. 2. Bd. Hochkulturen des mittleren und östlichen Asiens. Berlin - Frankfurt am Main 1962.
- [23] H. Mohr, W. Waade, Byzanz und arabisches Kalifat, 4. Aufl., Berlin 1984.
- [24] H. W. Prinzer, Summa Destillationis, Leipzig 1983.
- [25] B. Brentjes, S. Brentjes, Ibn Sina (Avicenna), Leipzig 1979.
- [26] M. Y. Haschmi, J. Dtsch. Morgenländ. Ges. 116 (1966) S. 44 - 59.
- [27] S. Engels, Wiss. Z. Techn. Hochschule "Carl Schorlenner" Leuna-Merseburg 33 (1991), S. 423 - 428.
- [28] "Der skeptische Chemiker" von ROBERT BOYLE, Verkürzt herausgegeben und übersetzt von EDUARD FÄRBER und MORITZ FÄRBER. OSTWALD's Klassiker der exakten Wissenschaften, Akademische Verlagsgesellschaft M.B.H., Leipzig 1929. Reprint der 1. Ausgabe, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig 1983.
- [29] I. Strube, Georg Ernst Stahl, Leipzig 1984.
- [30] In dt. Übersetzung: Zymotechnia fundamentalis oder Allgemeine Grunderkenntnis der Gärungskunst. Frankfurt/Leipzig 1734, Stettin/Leipzig 1748.
- [31] G. E. Stahl, Zufällige Gedanken und nützliche Bedenken über den Streit von dem sogenannten Sulphure ... Halle 1718, Halle 1747. In franz. Übersetzung: Traité de soufre. Paris 1766.
- [32] S. Engels, A. Nowak, Auf der Spur der Elemente, 1. Aufl., Leipzig 1971, 3. Aufl. 1983. Übersetzung ins Tschechische (Prag 1977), Russische (Moskau 1983) und Finnische (Helsinki 1992).
- [33] G. Lockemann in: G. Bugge, Das Buch der großen Chemiker, 1. Bd., Verlag Chemie GmbH. 1929. Unveränderter Nachdruck, Weinheim/Bergstr. 1961, S. 274 - 290.
- [34] F. Szabadváry, Antoine Laurent Lavoisier, Leipzig 1987.
- [35] M. Speter in: G. Bugge, Das Buch der großen Chemiker, 1. Bd., Verlag Chemie GmbH. 1929. Unveränderter Nachdruck, Weinheim, Bergstr. 1961, S. 327 - 328.
- [36] D. McKie, Antoine Lavoisier, Scientist, Economist, Social Reformer, London, New York 1952.
- [37] Méthode de Nomenclature Chimique Proposée par M. M. de Morveau, Lavoisier, Berthollet, de Fourcroy, Paris 1787.
- [38] A. L. Lavoisier, Traité élémentaire de chimie ..., Bd. 1 und 2, Paris 1789