

CHEMIE oder der Himmel auf Erden!

Gedanken zum Chemie-Seminar der Waldorfpädagogischen Akademie.

Chemie – der Himmel auf Erden? Der Titel mag in vielfacher Hinsicht befremdlich erscheinen – und doch hat eine Kursteilnehmerin mit genau diesen Worten den Inhalt unseres Seminars sehr treffend auf den Punkt gebracht. Begeben wir uns also auf eine Spurensuche.

Kemet, „schwarze Erde“, nannten die alten Ägypter ihre Heimat, das fruchtbare Land des Niltals - und das hat unserer *Chemie* den Namen gegeben. Chemie ist die Kunst, die irdischen Stoffe zu trennen und zu verbinden – und darin waren wohl die Ägypter die ersten Meister.

Wärme ist stets notwendig, um chemische Reaktionen auszulösen. Oft genügt schon die Wärme der Umgebung, dann können Reaktionen auch scheinbar spontan ablaufen, oft muss man aber auch ein Feuer entzünden, um nachzuhelfen. Das Feuer ist für Schüler und Lehrer gleichermaßen die wohl faszinierendste Erscheinung. Darum beginnt auch der Chemieunterricht in der 7. Klasse mit den Verbrennungsreaktionen. Alle brennbaren Substanzen, die man in der Natur findet, ausgenommen der vulkanische Schwefel, sind Kohlenstoffverbindungen und stammen aus dem Reich des Lebendigen: Blätter, Holz, Torf, Kohle, überhaupt alle fossilen Brennstoffe. Sicher, auch Phosphor ist ein brennbarer Stoff, doch in freier Form findet man ihn nirgends in der Natur, sondern nur in absolut unbrennbaren chemischen Verbindungen. Phosphorsalze werden sogar als Flammschutzmittel verwendet und phosphorsaurer Kalk (Apatit) bildet den mineralischen Hauptbestandteil unserer Knochen. Phosphorsalze können zugleich gewaltige Mengen Energie speichern. Adenosintriphosphat (ATP) ist der Hauptenergieträger in unserem Körper. Täglich produziert der Mensch 40 – 80 kg (!) ATP – und verbraucht sie in gleichem Maß auch sehr schnell wieder. Stoffe sind mehr als bloße Stoffe, sie sind vor allem auch Wärmeträger, Energieträger, sogar Lebensenergieträger, wenn man so will.

Woher stammt die Wärme, die Energie, die nötig ist, um chemische Reaktionen auszulösen, die insbesondere nötig ist, um das Leben in Gang zu halten? Sie stammt letztlich von unserer Sonne! Ohne Sonne gäbe es keine irdische Chemie, gäbe es kein irdisches Leben! So nehmen etwa die Pflanzen das Sonnenlicht auf und erzeugen durch Photosynthese aus Wasser und Kohlendioxid Sauerstoff und Traubenzucker, in dem die Sonnenenergie gespeichert wird. Mensch und Tier können diese Energie mit Hilfe des Sauerstoffs durch die Atmung wieder freisetzen. Die Atmung ist eine Art Verbrennung unter biologischen Bedingungen. Dabei entstehen zugleich wieder Kohlendioxid und Wasser, die die Pflanzen für die Photosynthese brauchen – ein wunderbarer Kreislauf, angetrieben von der Kraft der Sonne.

Bei jeder Verbrennung wird Sauerstoff verbraucht. Das konnten wir leicht zeigen. Ein flache Wanne wurde mit etwas Wasser gefüllt und eine brennende Kerze in die Mitte gestellt. Über die Kerze stülpten wir ein Becherglas. Bald ging die Kerze aus und in dem umgestülpten Becherglas stieg das Wasser um etwa ein Fünftel des Volumens hoch – entsprechend dem Sauerstoffvolumen, das bei der Verbrennung verbraucht wurde. Die Verbrennungsprodukte – Wasser und Kohlendioxid – lösten sich glücklicherweise gut im Wasser, sonst hätte der Versuch nicht funktioniert. Ein Fünftel der Luft besteht aus Sauerstoff, der die Verbrennung fördert, vier Fünftel ersticken die Flamme und wurden daher sinnvollerweise Stickstoff genannt. Genauer besehen ist Luft eine Mischung – keine chemische Verbindung - aus ca. 20% Sauerstoff, 79% Stickstoff, 1% Argon und 0,04% Kohlendioxid.

Eine *chemische Verbindung* ist mehr als eine bloße Mischung der Ausgangsstoffe. In einer Mischung bleiben die Stoffe mit ihren ursprünglichen Eigenschaften mehr oder weniger unverändert erhalten. Wenn sie sich aber zu einer chemischen Verbindung zusammenfinden, entsteht ein neuer Stoff mit völlig neuen Eigenschaften. Kohlenstoff (lat. *Carbo*), in Form des

Graphit, ist ein metallisch glänzender Feststoff, der den elektrischen Strom gut leitet. Sauerstoff (griech. *Oxygenium*) ist ein farb- und geruchloses Gas, das die Atmung fördert. Verbrennt man Graphit mit einer ausreichenden Menge Sauerstoff, so entsteht das schon genannte Kohlendioxid (CO_2), ein relativ schweres Gas, das zu Boden sinkt, die Atmung nicht fördert und auch den Strom nicht leitet. Es hat also ganz andere Eigenschaften als Graphit und Sauerstoff. Setzt man zu wenig Sauerstoff ein, so bildet sich Kohlenmonoxid (CO), das nur halb so viel Sauerstoff aufgenommen hat, und ein viel leichteres und bereits in kleinen Mengen hochgiftiges Gas ist, das die Atmung vollständig lähmt.

Ein interessantes Phänomen wird dabei deutlich. Die Stoffe verbinden sich in der Regel nur in einfachen ganzzahligen Verhältnissen miteinander. Das sollen die chemischen Formeln zum Ausdruck bringen: CO für Kohlenmonoxid und CO_2 für Kohlendioxid, das doppelt so viel Sauerstoff enthält. Wasser ist eine chemische Verbindung von Wasserstoff (griech. *Hydrogenium*) und Sauerstoff im Verhältnis 2:1 – entsprechend der geläufigen Formel H_2O . Das konnten wir leicht und anschaulich zeigen, indem wir Wasser mittels des elektrischen Stromes in 2 Volumensteile Wasserstoff und 1 Volumensteil Sauerstoff zerlegten.

Weitere wichtige Fragen drängen sich dabei auf. Sind Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff ihrerseits chemische Verbindungen, die noch weiter zerlegt werden könnten? Oder sind sie unteilbare (griech. *atomos*) reine Grundstoffe, bei denen das nicht mehr möglich ist? Hat die Teilbarkeit, die Zerlegbarkeit der Stoffe irgendwo eine Grenze oder geht das endlos weiter?

Tatsächlich hat sich nach vielen Versuchen gezeigt, dass Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und eine Reihe anderer Substanzen auch unter noch so energischen Bedingungen nicht weiter zerlegt werden können. Sie sind also chemische Grundstoffe, *chemische Elemente*. In der Natur gibt es genau 94 davon. Die Zahl der chemischen Verbindungen, die daraus gebildet werden können, ist schier grenzenlos. Heute sind knapp 100 Millionen Verbindungen genauer beschrieben und alle paar Sekunden kommt eine neue dazu. Aber das ist sicher nur die Spitze des Eisbergs. Das Wunder aller Wunder schlechthin ist aber der Kohlenstoff, der so reiche Verbindungsmöglichkeiten zulässt, das gut 98% aller chemischen Verbindungen Kohlenstoffverbindungen sind. Nur aufgrund dieses Reichtums von Kohlenstoffverbindungen ist irdisches Leben in der uns bekannten Form überhaupt möglich. Unter allen chemischen Elementen ist der Kohlenstoff der wahre „*Stein der Weisen*“.

Chemische Elemente können durch chemische Methoden weder zerlegt, noch ineinander umgewandelt werden. Warum gibt es aber gerade 94 davon? Woher stammen sie? Haben sie einen gemeinsamen Ursprung? Auffällig ist, dass viele Elemente sehr ähnliche Eigenschaften haben und auch ähnlich geartete Verbindungen bilden. So sind etwa die Alkalimetalle Lithium, Natrium, Kalium usw. alle so weich, dass man sie mit dem Messer leicht schneiden kann und zugleich so unedel, dass sie schon mit Wasser heftig reagieren und dabei ganz starke Laugen bilden, wie etwa die Kalilauge oder die Natronlauge. Mit Fluor, Chlor, Brom und Jod, den sog. Halogenen, die für sich auch wieder ganz ähnliche Eigenschaften haben, bilden sie salzartige Verbindungen, von denen das Kochsalz – Natriumchlorid – die bekannteste ist. Indem man die chemischen Elemente mit ähnlichen Eigenschaften, die periodisch immer wieder auftreten, untereinander schrieb, gereiht nach steigendem Verbindungsgewicht, offenbarte sich eine wunderbare Ordnung – das *Periodensystem der chemischen Elemente*.

Die Frage nach dem inneren Zusammenhang und einem gemeinsamen Ursprung der Elemente wurde immer drängender. Gibt es einen gemeinsamen Urstoff, von dem alle Elemente abgeleitet werden können. Ist es dadurch doch irgendwie möglich, die Elemente ineinander umzuwandeln, wie schon die mittelalterlichen Alchemisten meinten, die behaupteten, aus Blei Gold erzeugen zu können?

Nachdem Ende des 19. Jahrhunderts die Radioaktivität entdeckt wurde, war klar: schwere chemische Elemente können in leichtere Elemente zerfallen. Allerdings kann man diesen Prozess mit chemischen Methoden weder auslösen, noch aufhalten. So zerfällt etwa Radium unaufhaltsam zu Helium und - über eine Reihe von Zwischenstufen - zu Blei, wobei zugleich sehr energiereiche Strahlung freigesetzt wird. Und noch erstaunlicher: Masse verschwindet dabei – die Endprodukte sind in Summe messbar leichter als der Ausgangsstoff.

Unabhängig davon zeigte Albert Einstein in seiner 1905 veröffentlichten speziellen Relativitätstheorie, dass Masse (**m**) und Energie (**E**) äquivalent sind und ineinander umgewandelt werden können, gemäß der populär gewordenen Formel $E = mc^2$ (**c** ist die Lichtgeschwindigkeit). Energie, gefangen in einem winzigen Raumbereich, bildet die Grundlage aller Materie. Mit der 1938 entdeckten *Kernspaltung* von Uran gelang es erstmals, einen geringen Teil dieser Energie zu entfesseln. Die Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki mit ihren verheerenden Folgen haben gezeigt, welche schlafende Kraft damit geweckt wurde und wie wenig noch wir Menschen damit verantwortungsvoll umgehen können. Könnte man die gesamte Energie freisetzen, die in einem erbsengroßen Stück Tafelkreide steckt, so entspräche das etwa der Sprengkraft der zweiten, größeren Bombe, die 1945 auf Nagasaki fiel!

Energie, Hitze von Millionen Grad, Wärme, masselose Strahlung, ist der eigentliche „Urstoff“, der letztlich allen chemischen Elementen zugrunde liegt. Aus purer Energie ist alle Materie entstanden, zu einer Zeit, als es noch nicht einmal Sterne gab. Zunächst war es nur das einfachste, leichteste Element, der Wasserstoff. Dann verdichteten sich durch die Schwerkraft die Wasserstoffwolken zu sternartigen Gebilden. Durch die Verdichtung erhitze sich der Wasserstoff so stark, dass durch *Kernfusion* 4 Wasserstoffkerne zu Helium verschmolzen wurden. Helium ist leichter als die Summe der 4 Wasserstoffkerne. Die Massendifferenz wird als Energie freigesetzt. Unsere Sonne erzeugt auf diese Art pro Sekunde aus 564 Millionen Tonnen Wasserstoff 560 Millionen Tonnen Helium; die Differenz von 4 Millionen Tonnen liefert die gewaltige Energieleistung von $3,6 \cdot 10^{26}$ Watt, von der wir täglich auf Erden leben. Sterne, die wesentlich größer als unsere Sonne sind, können auch schwerere chemische Elemente aufbauen. Am Ende ihrer Lebenszeit verschenken sie in einer gewaltigen Explosion als Supernovae die Früchte ihres Sternenlebens an den Kosmos. Ihnen haben wir die chemischen Elemente zu verdanken, die wir heute auf Erden finden. Alle Energie, alles Licht, alle Wärme und alle Materie, alle chemischen Elemente, und auch alles irdische Leben haben wir dem Kosmos, dem Himmel zu verdanken – in diesem Sinn mag der Titel dieses Aufsatzes gerechtfertigt erscheinen.

Wolfgang Peter, Chemielehrer