

Für eine vernunftgemäße Chemie

„Der Verständige findet fast alles lächerlich,
der Vernünftige fast nichts.“ (Goethe, MuR)

Die Chemie ist zum Gespenst geworden – jedenfalls bei allzu vielen Zeitgenossen. Ihnen ist sie synonym mit Lebensferne, Naturfeindlichkeit, Öko-Verschmutzung und blankem Materialismus geworden. Kauft man im Supermarkt ein Getränk, fragt sich jeder, wieviel „Chemie“ darin ist: Ascorbinsäure, Farbstoffe, Emulgatoren, „naturidentische“ Aromastoffe etc. Das ist nicht immer so. In der Klassenlehrerchemie der Waldorf-Mittelstufe sind die Kinder noch von der Chemie begeistert. Aber in der Oberstufe, wo es um die zeitgenössische Weltbegegnung naturwissenschaftlich und gesellschaftlich geht, wird die Chemie zumeist bestenfalls zum Kuriosum. Man nenne mir die vielen Waldorfschüler, die nach Beendigung ihrer geliebten Schulzeit Chemie studieren und engagierte Chemiker oder begeisterte Chemielehrer geworden sind. Wo sind sie? Spricht etwa ihr Fehlen nicht sogar für die positive Güte der Waldorfkultur? Denn so die latente Stimmung: Heutige Chemie zu betreiben, ist doch kein lebensfreundlicher Beruf, sondern – oft gedacht – ahrimanisch!

Dass die Naturwissenschaften und so auch die Chemie extrem materialistisch geworden sind – nämlich mit dem Totalanspruch aufs Erklärungsmonopol -, liegt, historisch gesehen, nicht an ihnen selbst, sondern nach Rudolf Steiners Analyse im Jahre des Konzils von Konstantinopel, indem von 869 an, für die weitere europäische Kulturentwicklung wirksam, von der Geistseite des Menschen immer weniger gesprochen wurde. Bei all den stürmischen, großartigen Entdeckungen der erwachenden Naturwissenschaften seit dem 16. Jahrhundert wurde gerade diese von den Vertretern des „Geistes“, den Geistlichen, im Stich gelassen. Auf ihr starres Glaubensvokabular fixiert, konnten beide Kirchen nicht nur die zunehmende Erklärbarkeit der Natur im allgemeinen nicht verkraften, sondern besonders nicht die Wandlungsfähigkeit der Welt und damit den Evolutionsgedanken. Da Gott doch allmächtig und gut ist, muss er doch die Welt vollkommen erschaffen haben; wieso musste sie sich denn dann noch aus einem unvollkommenen Zustand weiterentwickeln? Das durfte nicht sein. Es wurde gar nicht gehant, dass lebendiger, wirksamer Geist gerade im Werden lebt. Wer noch heute das Denken in Metamorphosen ablehnt und somit die Evolution auf formalem Wege aus ewigen Typen (konfessionell: Gott, philosophisch: die fertige Ideenwelt) ableitet, bezeugt damit heute seine Geistferne. Der Vatikan sah sich 1870 so nur noch im Unfehlbarkeitsdogma gerettet. Das betreffende Oberhaupt, Pius IX., wurde kürzlich am 3.9.2000 auch noch selig gesprochen. Die Naturwissenschaften jedenfalls wurden geistig allein gelassen. Starre Vertreter des Geistes bewirken dadurch, ohne dass sie es in ihrem eigenen Horizont bemerken, selbst den Materialismus (Steiner GA 93a: 72;

↳ vermüteten ↳ überhaupt

GA 293:150). Denn dadurch wurden die Naturwissenschaftler selbst oft halsstarrig, und die Gegenposition – die Ablehnung allen Geistes – wurde von ihnen ebenso leicht eingenommen. Steiner aber waren geistvolle Materialisten immer noch lieber als geistlose Spiritisten (Steiner 1917: 217). An den Naturwissenschaften selbst liegt das Problem nicht: „Nicht immer die Naturwissenschaftler, aber die Naturwissenschaft ist voll des guten Geistes.“ (Steiner). Fallen wir also nicht auf die sich gegenseitig nur eskalierenden Lagerpositionen herein. Die gegenseitig sich bekämpfenden Alleswisser beider Seiten zeigen bei näherem Zusehen nur das gleiche Unvermögen. Das als Vorlauf zu unserem Thema, außer Unverstand und Verstand auch die Vernunft in die Chemie einzubringen.

Es gibt drei Blickrichtungen in allen Naturwissenschaften. Die Bestandsaufnahme nimmt immer das gegenwärtig Vorfindbare voll an. Wir möchten alle aber auch verstehen, wie das Vorfindbare geworden ist, aus seinem eigenen Werden hervorgegangen ist. Also suchen wir – retrospektiv in die Vergangenheit den Frageblick wendend – nach den kausalen Ur-Sachen. Doch auch das genügt uns nicht. Wir wollen den Weltverlauf auch in die Zukunft hinein vorausverfolgen können. Also fragen wir prospektiv ebenfalls danach, was man damit in Zukunft machen kann: Wir rufen nach Vorhersagbarkeit und Reproduzierbarkeit, allerdings mit der Gefahr, dass dabei die Zukunft nur als weiterrollende Vergangenheit aufgefasst wird, siehe unsere technische Zivilisation, die die Kausalgesetze final verwendet und meint, das wäre schon alles, was man tun kann. Immerhin ist damit deutlich, dass diese Form von Wissenschaftsverständnis immer schon den Vorteil hat, unser Weltverhältnis über das bloße Aufgehen im Augenblick zeitlich auszudehnen, zu temporalisieren, auch wenn die Auffassung von Zeit dabei eine lineare (also doch nur räumlich vorgestellte) bleibt.

Ein Viertes aber ist eine übergreifende Temporalisierung, die die Gegenwart so voll annimmt, dass Vorlauf und Nachlauf mit in das überschauende Blickfeld kommen und Nachhaltigkeit, eben die Langzeitverträglichkeit erreicht wird. Denn es gibt nichts Praktischeres als die Überwindung der zeitlichen Froschperspektive und die Gewinnung der zeitintegralen Vogelschau. Wir haben damit einen zweiten Ausgangspunkt für das Folgende erreicht. Nun zum Thema im engeren Sinne.

Chemie ist existentiell tief mit dem eigenen Menschsein verwachsen. Sie vollbringt ihre Höchstleistungen in den Organgebieten, die am weitesten von unserem Bewusstsein entfernt liegen: in Eiweißaufbau, Hormonsynthese und -ausschüttung, Immunchemie, Muskelstoffwechsel – oder nehmen wir die höchste Form der Leibeschemie: die embryonale Leibesausbildung selber. Wer weiß schon etwas davon, wenn ~~es~~ im Gange ist, außer aus Büchern?

Alles Unbewusste erfahren wir ganzheitlich. Um es mit Bewusstsein zu erfassen, müssen wir es aus seiner Gänze herauslösen und Analyse betreiben. Darum stand und steht im zweiten Anlauf zur Chemie als Wissenschaft immer ihre „Scheidekunst“. Die Elementaranalyse ermittelte die chemischen Elemente quali- und quantitativ. Die Frage war bald: Was bleibt, wenn man genug getrennt hat, weiter zu tun? Die Gegenbewegung stand an, als man vor der Fülle der Elemente die Übersicht verlor. Welche Elemente gehören laut ihrem Chemismus näher zusammen: die

✓ diese Leibeschemie

Metalle oder auch die Nichtmetalle, Basenbildner oder die Säurebildner? Goethe war höchlichst daran interessiert. Schon in der Farbenlehre ordnete er die Pole der chemischen Farben in die rotgebenden Säuren und blaugebenden Basen. Von Heinrich W. F. Wackenroder (1798–1854) versprach er sich noch zuletzt wichtige Aufschlüsse über die physiologische Chemie der Pflanzensäfte in der Stufenreihe der Blattabwandlungen der einzelnen Blütenpflanze (an Wackenroder, 21.1.1832).

Gezielt berief Goethe 1810 Johann Wolfgang Döbereiner (1780–1849) an die Universität Jena, ließ sich bald von ihm die Verzuckerung von Stärke und die katalytische Wirkung von Platin vorführen sowie die stöchiometrischen Gesetze erklären. Goethe förderte ihn, wo er nur konnte. „Ich habe seit mehreren Jahren manchen vorzüglichen jungen Mann [...] auf diesem Wege gesehen, aber keinen, der mich so sehr gefreut, der mir nach meiner innigsten Überzeugung so viel Hoffnung gegeben hätte.“ (an F. A. G. von Ende, 28.4.1812). Auf die Bitte Goethes hin, den von ihm 1817 an der Dornburg gefundenen Cölestin zu analysieren, findet Döbereiner 1829 die erste Triade Calcium/Strontium/Barium und legt mit seiner Triadenregel das Fundament zur schrittweisen Entdeckung des Periodensystems (van Spronsen 1969: 1; Krätz, 1992: 207). Wie hätte sich Goethe gefreut, wenn er noch die von J. A. R. Newlands (1838–1889) 1864 entdeckte Oktavenregel mitbekommen hätte: Im jeweils achten Element klingt wieder der gleiche chemische Grundton auf.

Beide Entdeckungen Döbereiners, die Platinkatalyse und die Elementtriaden, sollten ungeahnte Folgen haben. Die ganze Biochemie ist ohne den Katalysebegriff nicht denkbar: Stoffe wirken, ohne dass sie verbraucht werden! Die Krönung der Triadenregel war die spätere Entdeckung des Natürlichen Periodensystems der Elemente: Die Materie besitzt tatsächlich eine natürliche Ordnung. In der Philosophie steht das Staunen am Anfang, so sahen es Plato und Aristoteles. Steiner empfiehlt umgekehrt: „Beim Unterrichten muss man das Staunen am Ende eines Kapitels erregen. [...] Man muss ihnen [den Schülern] begreiflich machen, dass es etwas ist, vor dessen Großartigkeit selbst ein Novalis auf den Knien liegen würde.“ (Steiner, GA 300/11: 42/43)

Es gibt zwei Seiten des Materialismus. Die eine ist seine berechnete. Sie macht auf die Stoffeswelt empirisch aufmerksam und erforscht sie mit den Mitteln aller sinnesgebundenen Naturwissenschaften. Die andere ist der Allgemeingültigkeitsanspruch, es gäbe nur Materie. Sie ist mit diesem Anspruch Ideologie wie jeder Totalanspruch. Zur Klarstellung der letzteren Seite ist jeder Anthroposoph in berechtigter Weise immer bereit. Zur Klarstellung jener ersten Seite muss man noch immer Rudolf Steiner selbst zitieren:

„Kann man sagen, daß die Materialisten mit ihren Behauptungen recht haben? Ja, über die Materie und ihre Gesetze werden sie vielleicht außerordentlich Nützliches und Wertvolles zutage fördern können.“ (Steiner, GA 151, 21.1.1914; GA 237, 4.8.1924)

Der Materialismus ist für ihn eine von zwölf berechtigten Anschauungsweisen, die Welt zu betrachten. Wir sollten immer deutlich zwischen ideologischem und methodischem Materialismus unterscheiden. (Schad 2004)

Zur Hauptgruppen-Ordnung des Periodensystems

Das letzte Zitat gilt sicherlich für das Periodensystem, eine der bedeutendsten und fruchtbarsten Entdeckungen der Chemie. Eine sinnvolle Chemie ist ohne diese gefundene Ordnung seitdem nicht lebensfähig. Wo Vorhersagbarkeit über die Grundeigenschaften der Elemente gefragt ist, gibt der Einblick in die Gesetzmäßigkeiten des Periodensystems jedem Chemiker in Hülle und Fülle die ersten Antworten. Welche Wertigkeiten, welche Übergangslage zwischen den drei Hauptbindungsarten, welche Stellung zwischen Basizität und Azidität, welches elementare Erscheinungsbild etc. sind möglich? Mendelejeff konnte rasch vieles vorhersagen, sowie er den ersten großen Durchblick 1869 hatte. Auch die Zeitabläufe chemischer Umsetzungen sind danach vielfach abschätzbar. Wir wollen aber nicht nur hervorheben, welches Herrschaftswissen sich daraus ableiten lässt, sondern mit Goethe'schem Blick die qualitativen Ordnungen erfahren.

Man kann zum Beispiel lohnend die Frage an das Periodensystem stellen, welche Elemente in welchen Perioden und Gruppen für das Leben besonders tauglich sind. Leben besteht beobachtbar immer in der zeitaktiven Spannung von Antagonismen, so zumindest immer in energetischen Niveaudifferenzen, die nie – solange etwas lebt – zum Ausgleich kommen, denn das wäre der Tod. Die chemisch deutlichste polare Spannung ist die zwischen Alkali und Halogenen, der ersten und siebten Hauptgruppe. Die Alkali bilden starke Basen, die Halogene heftige Säuren. Schon bei mittleren Konzentrationen sind sie lebensfeindlich. Das Leben braucht gemäßigte, aber nie ausgeglichene Verhältnisse. Starke Basen und Säuren zerstören es. Hinzu kommt, dass im Leben die geringgewichtigen Elemente aus den ersten Perioden quantitativ vorherrschen. Nicht die schweren, sondern die leichten Elemente werden vorgezogen. Jenseits des Zinks (Ordnungszahl 30) gibt es nur noch wenige lebenswichtige Elemente (s. Zeeck 1997: 16ff). Das geht so weit, dass im zentralsten biochemischen Vorgang auf der Erde, bei der Photosynthese, das leichtere $^{12}\text{CO}_2$ dem schwereren $^{13}\text{CO}_2$ aus dem natürlichen Verhältnis vorgezogen wird.

So wird aus den Grundeigenschaften der Lebensvorgänge zweierlei verständlich, nämlich dass weniger in den Extremgruppen, sondern gerade in der mittleren (vierten) Hauptgruppe und dazu in ihrem leichtesten Vertreter, eben im Kohlenstoff, der biochemische Grundstoff der organischen Chemie gegeben ist. So wurde die organische Chemie als die Chemie der Kohlenstoffverbindungen charakterisiert (obgleich jede lebende Zelle aus weit mehr Wasser besteht, wenn man dieses über seine Hydrathüllen wenigstens nicht auch zu den hydrophilen Kohlenstoffverbindungen dazugehörig auffasst). Schon Eugen Kolisko sah in der Stellung des Kohlenstoffes innerhalb der zweiten Periode das Goethe'sche Gesetz der Steigerung zwischen den Polaritäten, diesen „beiden Triebrädern der Natur“ bei Goethe (HA 13: 48).

Auch das nächstschwerere Element zum Kohlenstoff in der gleichen Hauptgruppe, das Silicium, ist eine physiologisch oft verwendete Substanz, die aus löslichem H_2SiO_3 leicht zu Opal wird (amorphes SiO_2) und dabei leicht der Gestaltung des Zellplasmas folgt. Man betrachte nur schon die Kieselgerüste der Kieselpon-

gien, Radiolarien, Silicoflagellaten und besonders der Diatomeen, oder den Opaleinbau in die Gerüststruktur aller Schachtelhalme, der Leitbündelscheiden des Adlerfarns, der Gräser (Blattränder und Grannen), der Brennhare der Brennesseln etc.

Noch deutlicher wird der Umfang des Siliciumvorkommens in den stofflichen Vorgängen der Erdrinde. Ihr größter Teil besteht aus Silikaten, so alle Tiefengesteine (Granit, Gneise, Gabbro) und ein erheblicher Teil der Vulkanite, besonders des Kompressionsvulkanismus (Schmutz 1986: 12ff). In der Elementhäufigkeit der Erdrinde (bis 16 km Tiefe) stehen Silicium (25,75 %) und Sauerstoff (49,52 %), jeweils gebunden, mit zusammen 75,27 % weit an der Spitze. Das Silicium – allerdings dabei immer in oxidiert Form – ist vergleichsweise der „Kohlenstoff“ im Aufbau und im Stoffwechsel der uns zugänglichen Erde. Die alten Plutonite selbst enthalten im Mittel 3 % Kohlenstoff als Graphit (Pflug 1984: 127). Damit befindet sich mehr Kohlenstoff in der Erdrinde als in der gesamten Biosphäre der Erde in ihren Organismen. Andererseits ist das Siliciumdioxid zwar auch in allen Organismen biogen vorhanden, aber hier nun gegenüber dem Kohlenstoff in der Minorität. So nahe verwandt miteinander beide Elemente sind, so komplementär stehen sie sich gegenüber als Repräsentanten des Einzelorganismus und des Erdorganismus.

Da die Basizität bei den Elementen der ersten Hauptgruppe mit dem einfachen Verbindungsgewicht (Atommasse) zunimmt, die Azidität in der siebten Hauptgruppe hingegen abnimmt, sind Francium und Chlor die größten Gegensätze in dieser Hinsicht (Fluss-Säure bleibt zu assoziiert). Alle anderen Hauptgruppenelemente stellen die stufenförmigen Übergangsglieder dazwischen dar. Diese dadurch vorhandene Ordnung macht ersichtlich, dass nicht nur die unter- oder nebeneinander stehenden Elemente chemische Ähnlichkeiten zeigen, sondern gerade auch die jeweils schräg links-oben beziehungsweise rechts-unten zueinander stehenden. Das macht die so durchgängigen „Schrägbeziehungen“ aus. Da sie geradezu ein Goethe'sches Urphänomen sichtbar machen, seien dazu die noch gelegentlich vortragenen Verständnisbarrieren abgebaut.

Ein Hauptvorwurf gegen einen Goetheanismus der chemischen Elemente ist, dass man bei den meisten doch gar nicht mit unmittelbaren Naturgegebenheiten, sondern mit vom Menschen technisch gemachten Zuständen der Stoffe zu tun habe. Nur wenige Elemente kommen von Natur aus unter normalen Umständen elementar vor, so Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel, Kupfer, Quecksilber und alle Edelmetalle wie Gold, Platin, Silber etc. und die Edelgase. Wie wenige sind es doch gegenüber der Mehrzahl innerhalb der natürlichen 92 Elemente! – Wir wollen hier nicht gleich darauf rekurrieren, wie Ernst Steiner in Landwirtschaft und Medizin in Dünger- und Heilmittelfragen den einzelnen Elementbegriff nahm, sondern allein schon auf Goethes Methodik uns beziehen:

„Möge doch jeder von uns bei dieser Gelegenheit sagen, daß Sondern und Verknüpfen zwei unzertrennliche Lebensakte sind. [...] und je lebendiger diese Funktionen des Geistes, wie Aus- und Einatmen, sich zusammen verhalten, desto besser wird für die Wissenschaften und ihre Freunde gesorgt sein.“ (HA 13: 233).

Man hat unberechtigt Goethe zumeist als den großen biophilen Synthe-

✗ auch

tiker allen Analytikern gegenübergestellt. Goethes Verfahren in der Praxis wie in der Überzeugung war, nie das eine gegen das andere, sondern beides im Wechsel zu betreiben. Seine zoologischen Studien sind sogar zumeist nicht aus der Beobachtung der lebendigen Tiere entstanden, sondern sind mehrheitlich osteologisch. Das Skelett aber ist immer ein – oft erst vom Menschen hergestelltes – Sekundärphänomen. Es – gerade als reduziertes Objekt – wieder in den größeren Zusammenhang zu stellen, geht nur, wenn man es erst einmal aus diesem anfänglich herausgelöst hat. Beides gehört für Goethe wie Einatmen und Ausatmen zusammen, „denn hatte ich doch in meinem ganzen Leben, dichtend und beobachtend, synthetisch und dann wieder analytisch verfahren, die Systole und Diastole des menschlichen Geistes war mir, wie ein zweites Atemholen, niemals getrennt, immer pulsierend.“ (HA 13: 27). Wir sollten uns nicht mehr an der fruchtlosen Polarisierung beteiligen, sondern darauf achten, dass immer beides geschieht. Es kann doch nicht so schwer sein, sich darüber zu verständigen. Die Fruchtlosigkeit der Einseitigkeiten warnt doch zur Genüge. Die bloße Analyse führt nur zu Datenfriedhöfen, die bloße Synthese zu Überfliegern ohne Tatsachensinn. Unsere Oberstufenschüler sind gegen beides empfindlich allergisch. So sind diese für den goethenistischen Lehrer oft das beste Korrektiv.

Gehen wir an die Elemente in ihren Erscheinungsweisen bei normalen Bedingungen heran und achten wir einmal nur schon auf ihr Verhältnis zum Licht, wobei wir uns vorerst wiederum an die Hauptgruppen halten. Links und nach unten sich häufend haben wir eine große Domäne der Metalle. Sie erscheinen ⁱⁿ gespiegeltem Glanz. Das heißt, dass sie das auftreffende Licht, weitgehend unverändert, zum größten Teil zurückwerfen und damit in sich selbst dunkel bleiben. Umgekehrt polar die Nichtmetalle mit ihrer Dominanz in der rechten und oberen Region der Hauptgruppen: Dort überwiegen die Gase, die – vielfach durchsichtig und farblos – das Licht nahezu unbehindert durch sich hindurch strömen lassen. Sieht man sich daraufhin die zweite Periode vom Lithium bis Fluor an, so beginnt vom Beryllium über das Bor bis zum Kohlenstoff der Metallglanz stufenweise abzunehmen bis zur glanzlosen stumpfen Schwärze der Kohle. Der Kohlenstoff zeigt aber je nach seinen Modifikationen selbst schon sichtbar feine Nuancen: Amorph als Ruß ist er am schwärzesten, der stärker mineralisierte Graphit ist grauschwarz bis glänzend, das vor kurzem erst entdeckte Fulleren (C₆₀), in Toluol gelöst, erscheint rötlichviolett und der reine Diamant völlig farblos durchsichtig. – Die weiteren sich anschließenden Elemente – Stickstoff und Sauerstoff – sind farblose Gase, so auch alle Edelgase. Fluor ist bei Raumtemperatur ein ganz schwach gelbgrünes, nahezu farbloses Gas.

In der zweiten Periode bleibt der Metallglanz vom Natrium über das Magnesium und Aluminium bis zum Silicium erhalten, auch wenn Letzteres schon vorwiegend Nichtmetalleigenschaften in seiner Chemie zeigt. Der Phosphor kann – Schrägbeziehung – wie der Kohlenstoff schwarz sein, realisiert als roter und weißer Phosphor aber ebenfalls einen farbigen Übergang, der sich in der Gelbfärbung vom Schwefel und Chlor fortsetzt.

In der dritten bis siebten Periode ^{erscheinen} ~~werden~~ zunehmend die stumpfschwarz auftre-

✱ elementär

tenden Elemente weiter nach rechts gerückt: Arsen erscheint in einer schwarzen und gelben Modifikation, Selen in einer schwarzen, dunkelroten und roten Modifikation. Besonders in der Reihe der Halogene wird eine immer stärkere Farbtiefe erreicht, bis das Jod (als Gas „veilchenfarben“) schon schwarz glänzend wird. Astatium ist zu minimal bekannt (da kurzlebig radioaktiv), als dass man seine Farbe kennt. Sie ist als metallisch-dunkel zu erwarten. Zwischen den festen Metallen und den leichtesten, gasförmigen Nichtmetallen der Hauptgruppen, zwischen voller Lichtundurchlässigkeit und voller Lichtdurchlässigkeit schimmert also ein „farbiger Saum“ auf, indem das Licht oberflächlich aufgenommen und in abgewandelter Form wieder abgegeben wird. Diese „Saumelemente“ verfügen also über eine gesteigerte Aktivität im Umgang mit dem Licht. Der reine Kohlenstoff kann, wie wir gesehen haben, alle drei Qualitäten annehmen: schwarz, farbig, farblos-durchsichtig – und ist auch darin integrierende Mitte. In den folgenden Hauptgruppen-Perioden sind die farbig erscheinenden Elemente kursiv geschrieben, um sie hervorzuheben.

H	–	–	–	–	–	–	He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cl</i>	Ar
K	Ca	Ga	Ge	<i>As</i>	<i>Se</i>	<i>Br</i>	Kr
Rb	Sr	In	Sn	<i>Sb</i>	<i>Te</i>	<i>I</i>	Xe
Cs	Ba	Tl	Pb	<i>Bi</i>	<i>Po</i>	<i>At</i>	Rn
Fr	Ra						

Wie Licht und Dunkelheit nicht nur in Gräutönen ineinander übergehen müssen, sondern der Farbreakbruch dazwischen in zahllosen Naturerscheinungen dem Goetheschen Blick deutlich ist, so auch der farbige Saum in der Grundordnung des Periodensystems.

Fluoreszierende Substanzen

Es war wohl als erster der spanische Arzt Niccolo Monardes, welcher schon 1570 die Fluoreszenz einer Flüssigkeit, vermutlich einer organischen Lösung, beschrieben hat. 1602 entdeckte der alchemistisch interessierte Schuster Vincenz Casciarolo in Bologna, dass Schwerspat (BaSO_4), gepulvert und mit Mehl (Kohlenstoff!) gegläht, nach Belichtung im Dunkeln nachleuchtete (Schulz 1975). Je nach energetischer Zufuhr unterscheidet man inzwischen unter anderem die Photolumineszenz, Thermolumineszenz, Elektrolumineszenz, Kristallolumineszenz (bei Auskristallisieren z.B. von AsCl_3) und Tribolumineszenz (bei mechanischer Reibung) von der Biolumineszenz z.B. der Leuchtkäferchen, Hallimaschpilz-Myzelien, Leuchtbakterien etc. (siehe auch Gehlig 1995). Findet das Nachleuchten statt, so spricht man traditionell von Phosphoreszenz. Der von Henning Brand 1669 entdeckte weiße Phosphor leuchtet im Dunkeln allerdings durch Oxydation an der Luft, zeigt also Chemolumineszenz, keine „Phosphoreszenz“, obgleich das

Element daher seinen Namen bekam (Phosphorus = Lichtträger).

Natürliche Lumineszenzerscheinungen sind die Polarlichter, also das Leuchten hoher Luftschichten. Sowohl Gase, Flüssigkeiten als auch feste Stoffe können also lumineszieren. Zahllose organische Substanzen zeigen solche Erscheinungen insbesondere in Lösung. So leuchtet zum Beispiel das grüne Chlorophyll rubinrot schon im normalen durchscheinenden, gestreuten Licht. Alle solche Photolumineszenz nennt man seit Stokes (1852) auch Fluoreszenz, benannt nach dem Fluorsspat = Fluorit (CaF_2). Viele im auffallenden Licht violette Fluorite zeigen nämlich im Durchlicht grünen Schimmer. Noch eindrucksvoller sind mit Schwarzlicht (UV-Licht) bestrahlte Fluorite, die oftmals intensiv blau fluoreszieren. (Kleine UV-Lampen kann man sehr billig bei „Astromedia“ erwerben.)

Wir beschränken uns hier auf die für unser Thema hochinteressanten Fluoreszenzerscheinungen von Mineralien. Gleason (1960) zählte über 210 fluoreszierende Mineralien auf, davon 31, die auch phosphoreszieren. Die wichtigsten davon sind Fluorsspat, Calzit, Apatit, Steinsalz, Zinkblende, Willemite, Scheelite, Wollastonit, Zirkon, Rubin, Diamant, Autunit.

Nun sind die Fluoreszenzfarben der Mineralien zumeist keineswegs charakteristisch für das jeweilige Hauptmineral, sondern für feinstverteilte Beimengungen. Zinksulfid, mit Spuren von Kupfer erhitzt, fluoresziert gelbgrün mit einem Optimum des Verhältnisses Cu zu Zn von 1:10 000 (Winkler 1955). Die dadurch vorhandenen Fehlstellen im Kristallgitter wie das beigegebene Metallion selbst ergeben erst zusammen die Farbwirkung. Dabei tritt ein gewichtiger Unterschied zwischen den Haupt- und Nebengruppenelementen des Periodensystems auf, weshalb wir das ganze Thema einbeziehen.

Die meisten gut auskristallisierten Mineralien, die aus reinen Hauptgruppenelementen bestehen, sind durchgängig farblos-durchsichtig. Man denke an Steinsalz (NaCl), Fluorit (CaF_2), Calzit (CaCO_3), Gips (CaSO_4), Apatit ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), Baryt (BaSO_4), Alaun ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$), Quarz (SiO_2), Korund (Al_2O_3) oder auch an den reinen Diamant (C); selbst das Weißbleierz = Cerussit (PbCO_3) kann zu klaren, farblosen Kristallen auskristallisiert sein. Durchweg sind es Verbindungen von Elementen der Metallseite mit solchen der Nichtmetallseite des Hauptgruppen-Systems. In ganz reiner Form fluoreszieren sie alle nicht, da sie das Licht ungehindert durchlassen. - Umgekehrt sind die meisten Nebengruppen-Verbindungen stark eigenfarbig (idiochromatisch) und fluoreszieren – je eigenfarbiger – auch nicht, hingegen als Ausnahmen die farblosen Verbindungen von Zink, Cadmium, Quecksilber und Zirkon. Eisen- und Manganoxid sind sogar, auch in Spuren, Fluoreszenz-Löscher; das Eisen ist eben das erdenfesteste aller Elemente (s. nächstes Kapitel) und das Mangan sein engster Verwandter im Periodensystem. - Werden aber die klaren Hauptgruppenkristalle in homöopathischen Spuren von Nebengruppenmetallionen durchsetzt, so treten zumeist Fluoreszenzfarben in aller Pracht der Regenbogenfarben je nach Element und Wertigkeitsstufe unter UV-Licht auf (Lieber 1957).

So fluoresziert der von Chromspuren rot gefärbte Korund, eben der Rubin, schon im sichtbaren Licht, und im UV-Licht noch vermehrt rot auf. Die durch Eisenspurten blau gefärbten Korunde, die Saphire, fluoreszieren wegen der Löscher-

Die Eisengruppe

Die Nebengruppen scheren aus den weiter oben genannten Regeln der Hauptgruppen weitgehend aus. Indem sie sich zwischen die zweite und dritte Hauptgruppe und zwar erst ab der vierten Periode einschieben, sind sie alle schon deshalb ☒ Metalle. Da² unter sich pro Periode chemisch ähnlicher als die Hauptgruppenelemente unter sich spielt des weiteren hier die „Horizontalverwandtschaft“ eine größere Rolle als die Vertikalverwandtschaft oder die Schrägbeziehung. Eindrucksvoll ist bei aller Ähnlichkeit untereinander ihre „Feinanordnung“. Die erste Nebengruppe sei dazu hervorgehoben, zumal sie überwiegend lebensnotwendige Spurenelemente enthält. Wir lassen die ersten zwei (Sc, Ti) und das letzte Element (Zn) der Reihe dabei weg, um die zentrale Gruppe

Vanadium, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel, Kupfer in den Blick der vergleichenden Morphologie zu nehmen. Dabei ist es durchaus sinnvoll, diese Metalle nicht nur auf ihre Metalleigenschaften hin zu beachten, sondern auf ihre Farbgebungen hin, die sie ihren wasserlöslichen Salzverbindungen geben. So ist das zweiwertige Eisen von zartem, verhaltenem Grün, wie das dreiwertige Eisen in gedämpften Gelb-, Orange-, Rot- und Brauntönen auftritt. Im niederwertigen Zustand neigt es also zu den passiven Farben, im höherwertigen zu den aktiven Farben des Spektrums. Der erstere Zug verstärkt sich beim Kobalt, dessen tiefblaue Kobaltfarbe – erst als Aquakomplex zart rosa – zweiwertig vorherrscht. Beim Nickel ist das zweiwertige Salz als Aquakomplex grasgrün, als Ammoniak-Komplex blaufarben. Das³ sich anschließende Kupfer ist zweiwertig in vielen Komplexen tiefblau, so in seinen Karbonat-Mineralien Azurit; im Malachit je nach Wassergehalt auch sattdunkelgrün. Sein Ammoniakkomplex ist tiefdunkelblau.

Außer zu den häufigen Fe(II)- und Fe(III)-Verbindungen kann man – im Gegensatz zu Co, Ni, Cu – das Eisen mit einiger chemischer Gewalt auch in die Sechswertigkeit oxidieren zu den violett-roten Ferraten. Solche hohen Wertigkeiten sind nun sehr viel mehr der natürliche Normalfall bei den leichteren Geschwistern des Eisens. Mangan kann man leicht durch alle Wertigkeiten von zwei- bis siebenwertig treiben, wobei fast alle Farben des Spektrums je nach Wertigkeit, Komplex und Korngröße auftreten können (Mohr 1954: 202f.). Die stabilsten Verbindungen neigen zur Rotseite des Spektrums, so unter den natürlichen Mineralien der Himbeerspat = Rhodochrosit (Mangankarbonat) und der Thulit (ein Mangan-Zoisit) oder tiefrotviolett das bekannte Kaliumpermanganat. Trotz der Farbenvielfalt sind diese jedoch noch immer – ähnlich dem Eisen – verhalten, gedämpft.

In den Chromsalzen, daher der Name des Elementes, nehmen die Farben eine geradezu plakative Leuchtkraft an, besonders wiederum in den höherwertigen

²) Lange galt Wismut als das schwerste stabile Element. Doch ist es nach neuesten Nachprüfungen metastabil mit einer Halbwertszeit von 2×10^{19} Jahren (Nature 422: 876–878; 24. 4. 2003)

3) ausschließlich die 3 sind

Verbindungen: den sechswertigen Chromaten und Bichromaten. Selbst dem zweiwertigen Chromalaun gibt das Element eine pfirsichblütrote Färbung. Das dreiwertige Chromperoxid wird, in Äther ausgeschüttelt, leuchtend blau. Der Großteil der Farbigkeit aller Turmaline beruht auf der Schönheit der Chromfarben in ihren verschiedensten Wertigkeiten durch das Regenbogenspektrum hindurch. Dem Chrom steht das Vanadium nahe, das auch zu höherwertigen Vanadaten neigt, ja als Vanadinpentoxid V_2O_5 besonders stabil ist. Die vorwiegenden Farben der Vanadiumerze sind gelb bis rot, wenn die Laborsalze auch alle anderen Farben annehmen (Mohr 1954: 193f.).

Der Farbenreigen der sieben Eisenverwandten, in ihren Ionen und Komplexen vor einer 11. Klasse ausgebreitet, ist ein ästhetischer Gewinn. Er zeigt, wieviel nuancierter Farbenreichtum in den doch sonst (Ausnahme Kupfer und Gold) so völlig farblos erscheinenden gediegenen Metallen steckt. Dann kommt hinzu, dass jeder der Sieben bei aller Farbenvielfalt doch eine eigene individuelle Note der Farbsättigung hat, die sehr charakteristisch ist und sich doch schwer qualitativ beschreiben lässt. Wie gedämpft sind die Farben der meisten Eisenverbindungen, wie knallig meist die der Chromverbindungen! Darin zeigen sich gerade die jeweiligen Metallindividualitäten.

Die Frage nach den metallischen Eigenschaften dieser Elemente bleibt nicht aus. Vom stumpfen Stahlgrau des reinen Vanadiums bis zum warmen Dunkelrot des Kupfers reicht das Erscheinungsbild. Die Legierungen mit Eisen sind in polarer Weise charakteristisch. Vanadium-/Chrom-/Mangan-Stahl ist besonders hart, neigt aber zu Sprödigkeit. Kobalt-/Nickel-/Kupferlegierungen des Eisens hingegen sind ausgesprochen elastisch. Im ersteren Falle hat man gute Meißel, im zweiten Falle gute Kugellager. In diese Erscheinungsbilder lassen sich nun auch die chemischen

	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
grau	←			hellglänzend			→ rötlich
hart	←			Stahllegierungen			→ elastisch
Neigung zu roten und gelben Farben	←			in Salz- und Komplexverbindungen			→ Neigung zu grünen und blauen Farben
hoch	←			Wertigkeit			→ niedrig
spröde	←			Eisenlegierungen			→ elastisch

Eigenschaften adäquat einordnen.

Das Vorkommen dieser Metalle in der Biochemie ist ebenfalls sehr aufschlussreich. Sie haben alle biokatalytische Funktionen. Kobalt sitzt in dem so notwendigen Vitamin B12. Vanadium, Eisen und Kupfer spielen besonders als Atmungs-

komplexe eine sprechende Rolle. Eisen ist bekanntlich im Häm des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin von zentraler Bedeutung (hier nur zweiwertig; die rote Farbe erbringt nämlich schon das eisenfreie Häm (= Protoporphyrin). Kupfer ist das entsprechende Atmungsmetall im Hämocyanin des Blutes der meisten Weichtiere (Schnecken, Muscheln, Tintenfische), wobei das oxidierte Blut durch das Kupfer(II)-Ion blau und das reduzierte farblos ist. Vanadium findet sich spezifisch angereichert im Blut der Seegurken (Holothurien = mit den Seeigeln und Seesternen verwandte Meerestiere und wie diese von fünfstrahligem Körperbau). Eine Holothurie, ein Wirbeltier und eine Weinbergschnecke zu vergleichen, lohnt also.

Die zentrale Stellung des Eisens kommt so im Vergleich seiner Geschwisterelemente erst ganz zum Ausdruck. Es ist die Mitte zwischen den Gegensätzen und praktisch überall vorhanden. Diese Mittelstellung verstärkt sich noch, wenn man sich das gesamte Periodensystem hinsichtlich der Beständigkeit der Elemente ansieht. Alle Beständigkeitsparadigmen, die uns von der Antike überliefert worden sind, sind in der Neuzeit dynamisiert worden. Schon 1440 war Nikolaus von Kues klar, dass die Erde nicht still steht, sondern sich dreht und die Sonne umläuft. Johannes Kepler schloss aus den Messungen Tycho de Brahes, dass die Planeten sich nicht auf Kreisbahnen mit gleichförmiger, sondern auf Ellipsen mit ungleichförmiger Geschwindigkeit bewegen. So hat schon Leibniz 1698 die Veränderungen der Organismenarten postuliert. Die Astronomen Edmond Halley (1718) und Johann Tobias Mayer (1760) hatten dann bald entdeckt, dass selbst die Fixsterne nicht fix zueinander stehen, sondern sich bewegen. So löste auch die Entdeckung der Radioaktivität 1896 durch Henri Becquerel bald die Vorstellung von der Unveränderlichkeit der Elemente auf. Und seit 1912 sprach Alfred Wegener von der beweglichen Lage der Kontinente zueinander.

Die schwersten Elemente oberhalb des Bleis^{*)} haben keine völlig stabilen Isotopen und verändern sich durch Kernzerfall langsam oder schnell in leichtere Elemente, von denen eines oft ein Edelgas ist; so auch schon das leichtere Technetium und Promethium. Die leichtesten Elemente hingegen können durch Kernfusion zu stabileren Elementen übergehen. Jedesmal – durch Kernspaltung oder Kernfusion – wird an den polaren Enden des gesamten Periodensystems Kernenergie frei und die letztlich verbleibenden Folgeelemente sind stabiler als die Ausgangselemente. Bestimmt man das jeweilige Energiepotential, so nimmt es zur „Mitte“ des Periodensystems hin ab. Als in diesem Sinne stabilstes Element hat sich das Eisen erwiesen, das damit kernenergetisch das Zentralelement des Periodensystems überhaupt ist.

Die Ordnung des Periodensystems

Die Chemie hoffte einst als Scheidekunst, die unermessliche Fülle an Stoffen durch die Rückführung auf wenige chemische Elemente einer Übersicht näherzubringen. Wenn wir heute 109 Elemente zählen, so ist das jedoch ein unerwarteter Reichtum geworden, dem man im nächsten Schritt durch die Rückführung auf drei Elementarteilchen (Proton, Neutron, Elektron) gegensteuern wollte; doch ist auch

*) Lange galt Wismut als das schwerste stabile Element. Doch ist es nach neuesten Nachprüfungen metastabil mit einer Halbwertszeit von 2×10^{19} Jahren (Nature 422: 876-878; 24. 4. 2003)

auf dieser Ebene die Entdeckungsfülle nicht ausgeblieben. Der Schüler erlebt es so als einen großen Erkenntnis-Erfolg, wenn man ihm die inhärente Ordnung des Periodensystems mathematisch aufzeigt. Wir zählen dazu die Anzahl der Elemente in allen sieben Perioden zusammen:

I	2
II	8
III	8
IV	18
V	18
VI	32
VII	19+x

Dabei stellen sich die zweite und dritte wie auch die vierte und fünfte Periode als unter sich jeweils gleich groß heraus. Denkt man sich die siebte Periode vervollständigt, so ergäbe sie mit der VI ebenfalls eine mit ihr gleichgroße Doppelperiode. Wir kommen dann zu der Zahlenreihe 2/8/8/18/18/32/32. Schon diese Zahlenfolge befriedigt unser Bedürfnis nach Ordnung, Symmetrie, Periodizität. Das steigert sich noch, wenn aufgezeigt wird, dass ihnen eine gemeinsame Gesetzmäßigkeit zugrunde liegt:

$$\left. \begin{array}{l} 2 = 2 \times 1^2 \\ 8 = 2 \times 2^2 \\ 18 = 2 \times 3^2 \\ 32 = 2 \times 4^2 \end{array} \right\} 2 \times n^2 \quad (n = 1, 2, 3, 4)$$

Die Materie ist also kein bloßes Chaos. Sie besitzt eine mathematisch formulierbare Ordnung, welche den Oberstufenschüler einer 10. Klasse gedankenästhetisch hoch erstaunt.

Es lohnt, ein solches Ergebnis nun durch die Nacht gehen zu lassen und am nächsten Morgen mit noch anderem Ansatz wieder aufzugreifen. Die Ordnung der Zahlenreihe $2 \times n^2$ ist zwar eindeutig, und doch ist sie von der Wirklichkeit nicht voll erfüllt: Am Ende bricht die letzte Periode natürlicherweise beim Element 92, dem Uran, und künstlich heute bei Element 109, dem Meitnerium, ab; 9 Elemente fehlen noch und müssten mit einem Edelgas der Ordnungszahl 118 enden. Doch sie sind nicht bekannt, und die Radioaktivität aller Elemente jenseits des Bleis lässt diese fortwährend in leichtere zerfallen.

Aber nicht nur am Ende, sondern auch am Anfang ist das Periodensystem nicht vollständig, sondern bricht ab. Denn so wie es zu $n = 2, 3$ und 4 jedesmal zwei Perioden gibt, so müsste es aus Symmetriegründen für $n = 1$ eigentlich ebenfalls zwei Perioden geben. Trotz aller durchgängiger Gesetzmäßigkeit ist das Periodensystem also nicht vollständig, sondern am Anfang und Ende offen. Die materielle Welt ist keine fertig geschlossene, in sich vollkommene Welt.] Legte ich dieses Problem einer 10. oder 11. Klasse vor, so zog sie jedesmal von sich aus einen bedeutsamen Schluss:

↙ sechsten ↘ denn

Die Welt der Materie ist nicht fertig, sondern wohl selbst in Entwicklung. So wie eine entfaltete Pflanze schon nicht mehr ihre Erstlingsblätter trägt und noch nicht ihre künftigen Triebe zeigt, so auch der materielle Kosmos. Damit hat man zum Beispiel Siebzehnjährigen ein nachprüfbares Wissen an die Hand gegeben, mit dem sie sich selbst von dem Dogma des materiellen Determinismus befreien können, da schon die Materie nicht fertig ist.

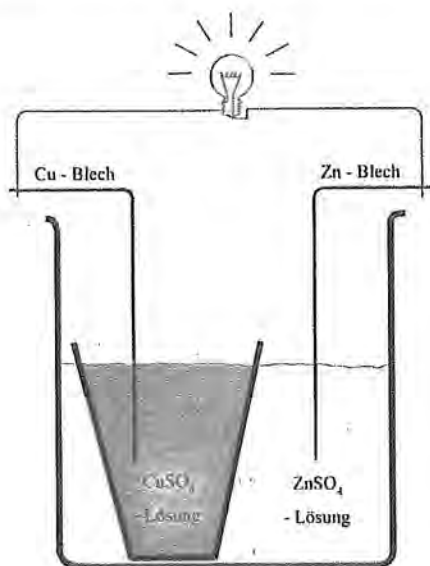
Nur schon die Denkbareit einer solchen Dynamisierung des physikalisch-chemischen Weltbildes lohnt. Es ist mir bei der Rückfrage am Ende der Epoche, was denn den Schüler/inne/n am meisten bedeutet hat, oft entgegengekommen: diese Besprechung des offenen Periodensystems. Und das auffällig unabhängig von der naturwissenschaftlichen Begabung des/der Einzelnen. Denn es ist nun das Alter, wo sich das jugendliche Bewusstsein sein eigenes Weltbild probeweise zu errichten beginnt.

Dem angeschnittenen Evolutionsthema des Periodensystems sind schon in den 50-er Jahren die anthroposophischen Physiker und Mathematiker Arnold Blickle und Ernst Bindel (*Bindel & Blickle* 1952) nachgegangen. In dem in seiner Fachkompetenz immer noch lesenswerten Artikel stellen auch sie den Zusammenhang heraus, dass es sich in den Elementzahlen pro Periode ($2/8/18/32$) um eine Vierstufigkeit handelt, die wie viele Vierstufigkeiten Ergebnis der bisher abgelaufenen vier Äonen einer siebenstufigen Gesamtentwicklung sind, wie sie Rudolf Steiner in den vier Verkörperungen des planetarischen Kosmos 1913 schilderte. Daher die vier Naturreiche, daher die vier griechischen Elemente, daher die vier Wesensglieder des Menschen. Nur lesen Blickle und Bindel die Verzeitlichung des Periodensystems im Sinne der Proust'schen Theorie, dass der Wasserstoff das älteste und damit das Grundelement aller anderen Elemente sei. Ähnlich sind ja auch die Überlegungen in der Kosmogonie der heutigen Astrophysik. Nach ihr liegt 99 % aller kosmischen Materie als Wasserstoff vor. Sieht man aber den heutigen astrophysikalischen Kosmos als einen von bisher schon vier Verkörperungen desselben an, so wird die Lesart eine viel dynamischere. Die achte und siebte Periode sind dann die letzten zerfallenden Überreste des überalterten frühesten Äons („Alter Saturn“), in welchem sie selbst wohl noch keimhaft, also auch noch leicht waren. Entsprechend sind Wasserstoff und Helium in unserem Äon der Erdenentwicklung die am keimhaftesten vorhandenen Elemente, die als Sonne dem planetarischen Kosmos die Energie zum Leben spenden. Dazwischen liegen die verschieden weit entwickelten Substanzstrukturen der zeitlich dazwischenliegenden Äonen in ihrer Stufigkeit. Hierin liegt ein sinnvoller Ansatz zu einer weiter zu bringenden, tiefergreifenden Chemie.

Zur Elektrochemie und Bindungslehre

Die Einführung der Elektrochemie ist für den empirischen Aufbau der Bindungslehre wichtig – abgesehen von der Besprechung ihrer technologischen Anwendungen (elektr. Batterie, Elektrolyse, Galvanisieren). Hier ist es tunlich, einen

formal-theoretischen Einstieg zu vermeiden und urphänomenale Experimente zu bieten. Nur aus diesem Grunde werden zwei solche geschildert. Zuerst zeigt man, dass man, ohne Elektrizität extra zur Verfügung zu haben, dieselbe aus bestimmten



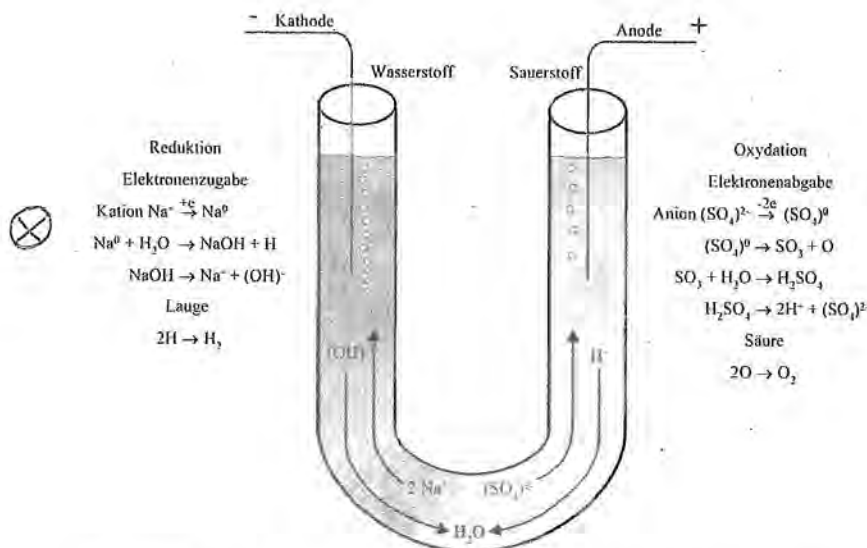
Stoffen direkt herausholen kann. Dazu baut man das „Daniell'sche Element“ auf:

Das Glühlämpchen brennt, wenn das innere Gefäß ein unten verschlossener, tongebrannter, unglasierter Blumentopf ist. In ihn gibt man eine Kupfersulfatlösung, in das Becherglas eine Zinksulfatlösung und taucht jeweils die zugehörigen Metallblechstreifen ein. Das Kupferblech wird im Verlauf schwerer, das Zinkblech leichter. Das lässt sich nachwiegen. Also geht Zink unter Abgabe von Elektrizität in Lösung, und Kupfer schlägt sich durch Aufnahme von Elektrizität metallisch nieder. Im gelösten Zustand wandern Zink, Kupfer und Sulfat in den Lösungen als ~~Leitungsträger~~ ^{*} sind also Wanderer = Ionen. Sulfationen müssen durch die halbdurchlässige Membran des Tontopfes wandern, da sie in ihm im Überschuss und außerhalb von ihm im Unterschuss anfallen. Damit kann der Stromkreis als im Kreis geschlossen überblickt werden. Auf diese Weise kann man durch Wahrnehmen und Denken die Grundbegriffe der Ionenchemie bruchlos entwickeln.

Die Umkehrung und zugleich ein phänomenologisch zusammenfassender Versuch ist die Elektrolyse von verdünntem Natriumsulfat im U-Rohr mit Platinelektroden (es geht auch kurzzeitig mit eisernem Blumendraht) und Universalindikator, nun unter aktiver Eingabe der Elektrizität von außen.

Daran lassen sich zahlreiche chemische Grundbegriffe anschließen, die durch das farbige Urphänomen von Blau bis Rot mit allen Übergangsfarben des Spek-

** Ladungsträger*



trums den urbildlichen Wert des Vorganges ästhetisch unvergesslich machen:

Natürlich ist der Universalindikator ein künstliches Gemisch verschiedener organischer Farbstoffe, ausgewählt, um möglichst jede pH-Stufe gut sichtbar zu machen. Und es gibt Indikatoren, die keineswegs den Blau-Rot-Umschlag beim Wechsel vom Basischen zum Säuren vorzeigen (Kongorot, Phenolphthalein etc.). Und doch liegt eine qualitative Berechtigung in der Sichtweite Goethes in dem Kapitel „Chemische Farben“ seiner Farbenlehre vor. „Das Gelb und Gelbrote widmet sich den Säuren, das Blau und Blaurote den Alkalien.“ Gerade die Anthozyane vieler Blütenpflanzen entsprechen dem qualitativen Farberleben der Gegensätze von Blau und Rot. Das demonstrieren gestaltlich zum Beispiel viele Blüten aus der Familie der Raubblattgewächse (Boraginaceen) wie das Lungenkraut, Vergissmeinnicht oder der Steinsame (*Lithospermum purpureo-coeruleum*): In der aktiven Phase der sich noch öffnenden Blüten ist der Zellsaft sauer und so die Blütenkrone rot. In der zur Ruhe gekommenen voll erblühten Krone wird der Zellsaft basisch und die Farbe leuchtend blau.

Im obigen Versuch werden diese Polaritäten und ihre Steigerungen (polare Ionenbildungen und dazwischen das neutrale Wasser) experimentell anschaulich. Damit ist zugleich deutlich, dass ebenso wie aus Chemikalien elektrischer Strom entstehen kann, nun umgekehrt durch elektrischen Strom auch chemische Umsetzungen hervorgerufen werden können.

Goethe verfolgte mit größtem Interesse die Anfänge der Elektrochemie. So in seinem Bericht über Döbereiner an Heinrich von Treba (7.4.1812):

„Durch die Fortschritte des Galvanismus ist die Erfahrung selbst zur Theorie geworden, und so geht alles einen sicherern und klareren Gang.“

⊗ (Diese Reaktionen verlaufen nur der Idee nach so. Die Säure- und Laugeentstehung beruht nur auf der Wasserzersetzung. Na^+ und SO_4^{2-} werden unter diesen Bedingungen nicht entladen.) (Anmerkung von D. Rohde)

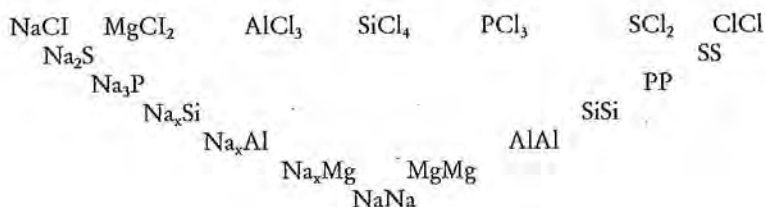
Und an Döbereiner selbst (26.12.1812):

„Verläßt man nie den herrlichen elektrochemischen geistigen Leitfaden, so kann uns das Übrige auch nicht entgehen.“

Immer schon hatte die analytische Chemie die Frage beschäftigt, welcher Art denn die chemischen Kräfte sind, die die Elemente zu Verbindungen vereinigen. Die übersichtlichste Vorgehensweise ergibt sich aus dem Periodensystem, wenn wir zum Beispiel die Elemente der dritten Periode in den folgenden Sequenzen an Hand ihrer Verbindungen betrachten (nach *Holleman & Wiberg* 1955).

Ionenbindung
(heteropolar)

Atombindung
(homöopolar)



Metallbindung

Es treten daran die drei Hauptbindungsarten hervor, von denen zugleich alle Übergänge in die Aufmerksamkeit geraten. Ja, es wird daran deutlich, dass reine heteropolare, reine homöopolare oder reine metallische Bindungen nur in den Extremfällen vorliegen. Die Zwischenzustände sind der Normalfall. Der Übergang von der Ionen- zur Atombindung wird auch an der folgenden Verbindungsreihe evident:

LiF

BeO

BN

CC

Sieht man sich den Chemismus von Lithiumfluorid, Berylliumoxid, Bornitrid und Kohlenstoff an, so wird daran die Abnahme des Salzcharakters und die Zunahme der Fähigkeit zur Polymerie deutlich. Am einen Pol verlaufen in Wasser rasch elektrisch aktiv werdende *Dissoziationsvorgänge*, am anderen besteht die Neigung zur *Assoziation* hin zu elektrisch neutralen Stoffen.

Sieht man sich das Theoriekonzept der Bindungsarten an, so fällt auf, dass so charakteristisch anorganische Verbindungen wie die Salze, Säuren und Basen, also alle Elektrolyte, noch am leichtesten mit der klassischen elektrophysikalischen Anziehung verschieden geladener Ionen deutbar sind. Die Bindung ist also durch die Abgabe und Aufnahme von korpuskular verteilten Elektronen für die Vervollständigung des jeweiligen Elektronenoktetts und die einfache elektrostatische Anzie-

hung der dadurch entstandenen Ionen interpretierbar. Je mehr aber die Bindungsart sich der Atombindung nähert und es damit zur Bildung für das Leben grundlegenden der Polymere kommen kann, hört die punktuelle Verteilbarkeit korpuskular gedachter Elektronen auf. Wie sollte eine Elektronenpaarbindung auch schon in sich zusammenhalten, wenn beide Elektronen gleichgeladen sind? Das ist nur noch quantentheoretisch deutbar, das heißt unter „Aufweichung“ der Gesetze der klassischen Physik, so dass die Unschärfen von Raumvektor und Impuls oder von Zeitachse und Energie einsetzen. Ort und Zeit sind nicht mehr genau angebbar, sondern nur noch Wahrscheinlichkeiten, also Potenzen. Die genaue Vorstellbarkeit hört auf. Es ist doch von hohem Interesse, dass solche Grenzerfahrungen unumgänglich gerade dann auftreten, wenn die dynamisierteren Denkformen sich der organischen Substanz und damit der Biochemie des Lebendigen nähern.

Das gilt noch mehr für die *Mesomerie*, die fast alle organischen Verbindungen besitzen: nämlich dass die Bindungsart zwischen zwei Formeln mit angebbaren Elektronenpaarbindungen liegt. Schon der Wasserstoff in jeder Carboxylgruppe gehört beiden Sauerstoffpartnern an. Die Einfachbindung des Wasserstoffes wird dabei gern in zwei Halbbindungen aufgelöst; wo bleibt da die Elektronenpaarbindung? Ob Elektronenpaarbildung oder Mesomerie – beide Male stehen quantentheoretische Verhältnisse an, die nicht ein Vorfindbares beschreiben, sondern nur das Mögliche an Wahrscheinlichkeiten. Die dazu verwendete Wellentheorie der Elektronen behandelt ja auch keine faktischen Wellen, sondern nur ihre Probabilistik.

Gerade die Substanzwelt des Lebens ist, wie das Leben überhaupt, nicht rationalisierbar im Sinne bloßer Addition korpuskularer Einheiten, im Gegensatz zu den das Anorganische charakterisierenden Elektrolyten. Natürlich gibt es auch hochpolymere Mineralien, besonders unter den Silikaten. Aber sie stellen dazu keinen Widerspruch dar, wenn sie als „Biochemie“ der Erde, als Geochemie des „tellurischen Lebens“ verstanden werden.

1921 hatte Rudolf Steiner jene „Aufweichung“ starrer Molekylvorstellungen auf seine Weise im Blick, wenn man von den Kristallstrukturen der Anorganik zu den inneren Konfigurationen der lebenden Substanz weitergeht:

„Aber da bilden sich immer Stoffe, denen der Chemiker nachgehen kann, die gewissermaßen nun nicht immer eine äußerliche Kristallisation haben, aber eine innere Konfiguration. Man hat sogar in der neueren Zeit diese innere Konfiguration angedeutet durch die bekannten Strukturformeln der Chemie. [...] Aber das Geheimnis besteht darin: Je organischer ein Stoffzusammenhang wird, desto weniger bindet sich chemisch das eine an das andere, desto chaotischer werden die Stoffe durcheinandergewirbelt“ (Steiner, GA 205: 88/89, 1.7.1921).

Im Leben entledige sich die bisher anorganische Substanz ihrer Kristallisationskräfte. Damit ist qualitativ der Übergang von der ionogenen zur nur noch chaos- und quantentheoretisch vertretbaren kovalenten Bindung angesprochen, deren theoretische Anerkennung an der damals zeitgenössischen Fachfront dramatisch bis in die 30er Jahre in der Diskussion war. Es ging dabei um den objektivistischen Determinismus Einsteins oder den probabilistischen Indeterminismus Bohrs. Der

Letztere siegte, und Einstein gab wenigstens zu, was William Bragg formulierte: „Alles was bereits geschehen ist, ist korpuskular, alles Zukünftige sind Wellen“ und was dessen Sohn Lawrence Bragg 1970 so kennzeichnete: „Das fortschreitende Sieb der Zeit koaguliert Wellen in Partikel zu dem Zeitpunkt Jetzt“ (Clark 1973). Daran wird deutlich, dass auch die physikalische Wirklichkeit der Stoffe nicht ohne den Einbezug der Zeit fassbar ist, da auch jene dauernd aus dem Werden zur Wirklichkeit gerinnen.

Das Problem der Schulchemie besteht an dieser Stelle darin, dass der Chemielehrer selbst in seinem Studium normalerweise keine Gelegenheit bekommen hat, inhaltlich in die Grundlagen der Quantentheorie verstehend einzusteigen. Was aber sollte gerade auch der Waldorflehrer der Oberklassen an Quantentheorie im Grundprinzip mitbekommen haben? Hier ist notwendiger Bedarf. Es hat keinen Sinn auf die Dauer, dass der Lehrer auf die nachbohrenden Fragen von 12- und 13-Klässlern nur sagen kann, dass er die Quantentheorie des Oktettbestrebens, der Atombindung, der Mesomerie und des Benzolringes auch nicht durchschaut, dass die Schüler aber zu den Prüfungen eben müssen aufsagen können, was der Sprachgebrauch ist. Und es ist gar kein Trost, dass es an diesem Punkt in der Staatsschulchemie genauso zugeht. Hier muss etwas, wenigstens im Anfänglich-Prinzipiellen für das Verständnis geschehen, denn es würde gerade im Sinne Steiners lohnen.

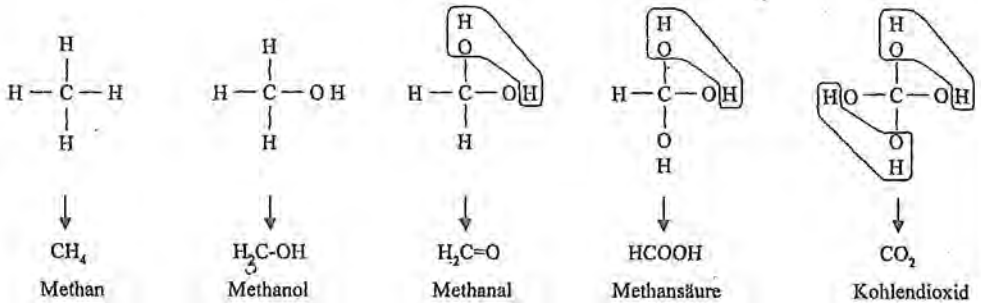
Damit ginge anfänglich etwas von dem in Erfüllung, was selbst schon Goethe in seinen letzten Jahren als ein Arbeitsziel der Zukunftschemie voraussah:

„Dem Chemiker, der Gehalt und Struktur (eines Organismus) aufhebt und bloß auf die Eigenschaften der Stoffe und auf die Verhältnisse ihrer Mischungen acht hat, ist man in diesem Fache (d. h. der Lehre der organischen Natur) viel schuldig, und man wird ihm noch viel mehr schuldig werden, da die neueren Entdeckungen die feinsten Trennungen und Verbindungen erlauben, und man also den unendlich zarten Arbeiten eines lebendigen organischen Körpers sich dadurch zu nähern hoffen kann. Wie wir nun schon durch genaue Beobachtung der Struktur eine anatomische Physiologie erhalten haben, so können wir mit der Zeit auch eine physisch-chemische uns versprechen, und es ist zu wünschen, daß beide Wissenschaften immer so fortschreiten mögen, als wenn jede allein das ganze Geschäft vollenden sollte.“ (Walden 1943: 81/82)

Uns interessiert hier in erster Linie der Prozesscharakter der Bindungsarten, also ihre Zeitgestalten. Gerade darin sind die heteropolaren und die homöopolaren Bindungen echte Polaritäten. Ionen verbinden sich unmessbar schnell. Gibt man Natronlauge und Salzsäure zusammen, so wird schlagartig aus den meisten Wasserstoff- und Hydroxylionen Wasser. Umgekehrt sind die Bindungen zwischen elektrisch ungeladenen Partnern (daher Atome bzw. Molekülgruppen statt Ionen) im klassischen Fall ausgesprochen verbindungsträge. Holzkohle aus der frühesten Feuerverwendung des Urmenschen (> 1 Millionen Jahre) findet sich in Sedimenten heute noch vor. Das Erdöl ist zum Beispiel seit dem Erdaltertum (Zechstein: 250 Millionen Jahre) praktisch bis heute unverändert. Ja, in den ältesten Gesteinen der Erde (3,8 Milliarden Jahre) findet sich Graphit, der sicher schon durch die Photosynthese gegangen ist (Pflug 1984). Erst durch heteropolarisierende Stufen werden

die Kohlenstoffverbindungen in die Prozesswelt des Lebendigen einbezogen.

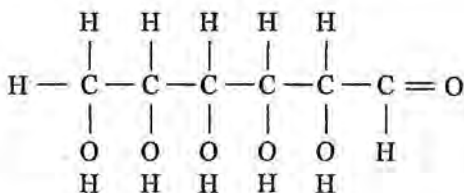
Unter dem Zeitaspekt gewinnen so die Oxidationsreihen zum Beispiel der aliphatischen Kohlenwasserstoffe, die so gerne als ^{Einführung} in die organische Chemie benutzt werden, erst ihre weiterführende Aussage. Wir gehen aus von den vier Oxidationsstufen der einfachsten Verbindung, des Methans, bis hin zum ener-



geordneten
getischen Endprodukt, dem Kohlendioxid.

Methan ist rein atombindig und so – ohne zusätzliche Aktivierungsenergie – reaktionsträge. Methanol ist schon eher umzusetzen und Methanal in verstärktem Ausmaße. Methansäure (= Ameisensäure) aber dissoziiert schon deutlich in Ionen und geht somit wie die aus Kohlendioxid entstehenden Kohlensäure-Ionen zu blitzschnellen Ionenreaktionen über. Stellt man in noch ganz allgemeiner Weise die Reihen der Alkane, Alkanole, Alkanale und Alkansäuren (= Carbonsäuren) zur Diskussion auf ihre Tauglichkeit für das Leben, so ist bald deutlich: Bestünde ein Organismus nur aus ionenbindigen Stoffen, so wäre er in kürzester Zeit mit endgültig zu Ende gekommenen Reaktionen schon am Ziel angelangt. Bestünde er nur aus atombindigen Stoffen, so kämen die notwendigen Reaktionsabläufe erst gar nicht in Gang. Im einen Fall wäre schon sofort auf niedrigstem Energieniveau das Lebensende erreicht. Im anderen Falle bliebe der Organismus gleichsam auf dem anfänglich vorgegebenen hohen Energiepotential metastabil stehen, ohne in Gang zu kommen. Damit ist deutlich, dass das reale Leben vielfach gerade die zwischenstufigen Verbindungen verwendet. Nimmt man so eine nicht zu lange Kohlenstoffkette mit einigen Wasserstoffbindungen als Energieträger, mehreren Alkoholgruppen als schwach reagible Potenzen und wenigstens eine Aldehydgruppe als stärkere Reaktionskomponente an, ohne dass es schon zur ionogenen Alkansäure kommt, so ergibt sich wie von selbst eine der lebensfreundlichsten Substanzen: ein Einfachzucker, zum Beispiel Glukose, wie sie bei jeder Photosynthese entsteht. So ist erst verständlich, warum ein solch wichtiger Metabolit ein mehrwertiger Alkohol und ein einwertiger Aldehyd (bzw. ein Keton) ist, weil er die gemäßigte Mitte zwischen

✓ *Einstieg*



den gegensätzlichen Zeitmustern darstellt.

Nicht nur die Raumstruktur, sondern die Zeitgestik sollte und kann daraus gelesen werden. Und sie sollte daraus gelesen werden, um von der Stoffchemie zur Prozess-Chemie zu kommen. Die Reaktionskinetik gehört deshalb zum Interessantesten der modernen Chemie.

Die Aminosäuren als Grundsubstanzen der Proteine haben darüber hinaus auch Basizität und Azidität in den Molekülbau integriert («Zwitterion») und sind damit über die Aminogruppe und Carboxylgruppe zu schnellerer Reaktionsfähigkeit konstituiert, denn beide Gruppen sind ionogen – zum einen durch Protonenaufnahme zu R-NH_3^+ , zum anderen durch Protonenabgabe zu R-COO^- . Kein Wunder, wenn die Pflanzenwelt quantitativ vorwiegend aus Kohlehydraten, das bewegliche Tier jedoch vorwiegend aus Proteinen besteht. Und ebenso wird nun interessant, dass das so lebensfreundliche Wasser seine Elemente Wasserstoff und Sauerstoff vorwiegend atombindig besitzt, aber nicht nur: die schwache Dissoziation in seine Ionen (Ionenprodukt $[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}$) ermöglicht erst seine Reagibilität, zum Beispiel bei der Hydratbildung und damit als Lösungsmittel aller wasserlöslichen Ionen. Es besitzt durch seine vorwiegende Atombindigkeit hingegen gerade die Möglichkeit zur Verlangsamung vieler in ihm sonst zu schnell ablaufender Umsetzungen bei deren Verdünnung. Allein mit dem Gradienten zwischen homöo- und heteropolaren Bindungsqualitäten ist aber die Wasserchemie noch keineswegs erschöpft behandelt, denn es kommen gerade auch bei ihr eine Skala weiterer, schwacher Bindungen zum Zuge; genannt seien nur die der Wasserstoffbrücken durch die Dipolwirkung seiner unausgeglichene (gewinkelten) Struktur oder die van der Waals'schen Kräfte, die nur quantentheoretisch behandelbar sind. Dadurch, dass Wasser also über eine reichabgestufte Klaviatur von Bindungsarten verfügt, kann es viele feinstrukturellen Verbindungsformen und Verbindungsgeschwindigkeiten annehmen, die dem Leben zugute kommen. Jeder gute Chemiker weiß, dass Wasser mehr als $(\text{H}_2\text{O})_x$ ist.

Die meisten physiologisch wirksamen organischen Stoffe verlangsamen ihre Reagibilität dadurch, dass sie zu langkettigen Großmolekülen kondensieren (durch Wasserabgabe) oder polymerisieren (ohne Wasserabgabe): so die Glucose zu Cellulose, das N-Acetylglucosamin zu Chitin, die Phenylpropanole zu Lignin, die Essigsäure zu den Fettsäuren oder zu den Isoprenoiden wie etwa dem Kautschuk, die einfachen Alkane bis zu den Wachsen, die Aminosäuren bis zu den Skleroproteinen (Horn). Aber nicht nur Gerüstsubstanz, sondern geradezu Energiespeicher entste-

hen auf diese Weise wie die Stärke, Hemicellulosen, langkettige Fette etc. Alle diese Kondensate beziehungsweise Polymerisate sind weithin atombindig, energiereich und geben den Organismen Struktur und Masse. – Demgegenüber stellen die voll ionisierbaren Stoffe das Gegenbild dar. Nicht durch Assoziation, sondern durch Dissoziation ihrer Verbindungen werden sie physiologisch wirksam. Nicht elektrische Neutralität wie bei jenen Polymerisaten, sondern elektrische Polarisierung findet statt. Wo sie im Organismus eine Rolle spielen, laufen Schnellreaktionen ab, denn sie reagieren rasch hin zur Einstellung niedriger Energieniveaus. Alle Nervenrhythmen beruhen auf raschen Ionenwanderungen.

Jedes Eiweiß in einer lebenden Zelle erhält durch sein Cytoskelett mit vorwiegend kovalenten Bindungen seine Binnenarchitektur, durch sein Ioneninventar im Cytosol seine Reaktionsfreudigkeit. Ja, im lebenden Eiweiß ist – ob Gel- oder Sol – immer beides in enger Kooperation: Langkettigkeit enthält die durch Aufbau erworbene energetische Potenz, die schwach ionogenen Amino- und Carboxylgruppen geben in erster Annäherung den Anlass zu abbauenden Reaktionskaskaden und aktualisieren so die Potenzen durch Energiefreigabe. Dass es aber doch möglichst nicht zur bloßen Versalzung des Zellinhaltes kommt, ist durch die α -Stellung der Aminogruppe zur Carboxylgruppe in den meisten Aminosäuren verhindert. Jede andere Stellung führte rasch zur „inneren Versalzung“ schon innerhalb des Moleküls. *Nicht in der Aufhebung, sondern in der Beibehaltung gemilderter Spannung, und das im fortwährenden zyklischen Wechsel von Spannungsbildung und teilweisem (!) Spannungsausgleich, darin besteht das Leben auch in seiner chemischen Beschreibung.* Wir kommen so im Vergleich zur Grundpolarität der Bindungsarten:

homöopolare = kovalente = Atom-Bindung	Bindung	heteropolare = ionogene = Ionen-Bindung
Polymerisation Kondensation Assoziation Energiereichtum	Molekülbau	elektrolytische Dissoziation
	Energie	Energiearmut
Aufbau organischer Substanzmasse bis hin zur Gerüst- substanz	Stoffwechsel	Abbau zu niedermolekularen bzw. anorganischen Verbindungen
Leibbildung im Lebensablauf Inkarnation	Gestaltung	Auflösung der Lebensabläufe Exkarnation

Das anthroposophische Naturverständnis bemerkt daran bald, dass wir es in die-

ser Gegenüberstellung mit den Instrumenten der beiden polaren Tätigkeiten des Ätherischen zu tun haben. Zum einen ist der Ätherleib des Lebewesens dem Aufbau seines physischen Leibes hingegeben. Es ist gerade das die Domäne des Pflanzenreiches und kommt seit der frühen Landnahme im Devon zunehmend am drastischsten in allen Baumbildungen zur Erscheinung. Mammut- und Eukalyptusbäume sind heute die höchsten Organismen auf der Erde. Leibmassebildungen sind so auch in Tier und Mensch die „Pflanze“ im Tier und die „Pflanze“ im Menschen. Umgekehrt verlaufen die Abbauvorgänge von den hochmolekularen zu den niedermolekularen Substanzen bei freierwerdender Energie. Gerade dieser physiologische Abbau ermöglicht erst die seelische Empfindungsfähigkeit im tierischen und menschlichen Organismus (Fortlage 1869). (Für die Abbauvorgänge in der Pflanzenwelt deutet Rudolf Steiner das Empfindungsleben nicht der Einzelpflanze, sondern das der ganzen Landschaft, der Erdseele an, s. GA 60, 8.12.1910.) Zum Zugriff des Astralen sind rasche Ionenvorgänge notwendig. Die schnellsten physiologischen Frequenzen im Rhythmenspektrum des Menschen (Roßlenbroich 1994) sind die Nervenrhythmen durch die Polarisierung und Depolarisierung mittels der Na^+/K^+ -Ionen-Wanderung in den Zellmembranen. In der Verwendung kovalenter Bindungen ist das Ätherische dem Physischen zugewandt, in der Verwendung ionogener Abläufe dem Astralischen. Die Doppelseitigkeit des Ätherischen kommt in den Antagonismen der homöopolaren und heteropolaren Bindungen chemisch eindringlich zum Ausdruck.

Die Übergänge zur Metallbindung und die Metallverbindungen selbst in den Legierungen, Komplexbindungen und Salzverbindungen der Metalle zu betrachten, lohnt ebenso. Schon die Tatsache ist auffällig, dass der größte Teil der chemischen Elemente gerade Metalle sind. Der gleitende Übergang von der heteropolaren zur Metall-Bindung erfolgt von den Leichtmetallen zu den Edelmetallen an Hand des weiten Spektrums ihres Redox-Verhaltens: Grundlage z.B. der ganzen Elektrochemie. Entsprechend zwischen den Leicht- und Edelmetallen steht mitbildend die Mehrzahl der Schwermetalle, die in ihren Verbindungen eine überreiche Farbenfülle hervorbringen, so z.B. die Schönheit vieler Erze. Diese kernchemisch stabilsten Metalle sind vielfältig physiologisch wirksam. Es sind dabei insbesondere ihre Komplexbindungen, die in der organischen Chemie den Übergang zur homöopolaren Bindung vorzeigen.

Die Lebensverhältnisse bestehen nie nur in Gegensätzen, sondern gerade im gesteigerten Dynamismus zwischen ihnen. Seelisch sind wir noch am unmittelbarsten mit unserer Leibeschemie durch die Nahrungsaufnahme für die Ernährung verbunden. Was ist es, was wir so gerne schmecken? Zucker ist eine Zwischensubstanz zwischen Stärke auf der einen Seite und Kohlendioxid und Wasser auf der anderen Seite. Beide Grenzzustände schmecken so gut wie nicht, aber der Übergangsbereich der Mono- und Disaccharide! Ähnlich ist es bei den Eiweißen. Die Ausgangssubstanzen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Wasser schmecken und riechen nicht. Ebenso wenig hochwertige Proteine wie Eiklar oder unbehandeltes pures Fleisch. Erst auf den Zwischenstufen, im Grenzsaum von Abbau und Aufbau, schmecken sie uns. Geschmacklose pflanzliche Eiweiße, wie sie zur Maggiherstel-

mit

lung benutzt werden, bekommen erst ihre Würze durch ihren teilweisen fermentativen Abbau bis zu den Aminosäuren. Pure Fette und Öle schmecken nach nichts. Wir würzen sie uns durch Ionen, eben mit Kochsalz im Schmalz und Essig im Salatöl. Relativ kurzkettige Fettsäuren, mit kurzkettigen Alkoholen verestert, aber geben die herrlichen Fruchtaromen von Erdbeer-, Himbeer-, Pfirsich-, Birnen- und Bananenduft. Auch hier haben wir die gesteigerte chemische Mitte zwischen hochmolekular aufgebauten und restlos niedermolekular abgebauten Stoffen, die uns beiderseits als Extreme wenig ansprechen. Was Goethe als farbigen Saum zum Urbild der Steigerung zwischen Licht und Finsternis in seiner Farbenlehre ausführte, das führt uns auch die chemische Welt als ihren „chemischen Geschmacks- und Geruchssaum“ mitten zwischen den Gegensätzen vor.

Chemie als Reagenz auf Bildekräfte?

Was ist aus den chemischen Reagenzien auf Bildekräfte geworden: Die sensible Flamme, die Kupferchlorid-Kristallisation, das Steigbild, das Tropfenbild? Keine der Methoden hat auch nur einer wohlwollenden Kritik standgehalten – gemessen an dem früheren Anspruch, Übersinnliches labormäßig abbilden zu können. Noch am reichsten und sprechendsten ist der Formenreigen des Kupferchlorid-Bildes und des Steigbildes, insbesondere durch organische Zusätze. Was die Reproduzierbarkeit durch Standardisierung aller Parameter betrifft, so ist sie noch am besten beim Kupferchlorid-Kristallisationsbild möglich. Die Wiederholbarkeit geht so weit, dass man die charakteristischen Bildgestaltungen inzwischen auch mit rein künstlich synthetisierten Polymeren erzeugen kann (Hummel 1992). Beim Steigbild ist die Standardisierung der Papiersorte begrenzt, denn die Zellulosefasern darin sind ein Gemisch verschiedener Längen, und jede Papiercharge auch bei gleicher Sorte und Firma ist außerdem immer wieder eine andere. Darum besitzt die heutige Dünnschichtchromatographie auf Kieselgel eine verlässlichere Reproduzierbarkeit.

Ein offenes Problem war lange der wissenschaftliche Austausch der an der Steigbildmethode experimentell Arbeitenden. Er fand nämlich weitgehend nicht statt. Der Autor hat 10 Jahre darum geworben, bis 1986 ein solches Treffen mit uneingeschränktem Austausch in der Naturwissenschaftlichen Sektion in Dornach stattfand, deren Ergebnisse im Heft Nr. 46 der Elemente der Naturwissenschaft 1987 erschienen sind. Dabei ergab sich gemeinsam die einhellige Beurteilung, dass man mit den bildschaffenden Methoden nicht die direkte Einwirkung ätherischer Bildekräfte nachweist, sondern die Charakteristik der Substanzkompositionen, die vorher im lebenden Organismus durch die Bildekräfte organisiert worden sind. In jedem Falle hat man ein reduziertes Phänomen vor sich, denn die jeweilige Pflanze wird dazu abgetötet, zerkleinert, ihr Saftgehalt ausgepresst, dieser vorgereinigt und ist damit dem holistischen Lebenszusammenhang entzogen. So ist es mühsam genug, aus dem Kristallisationsbild den ideellen Zusammenhang mit der jeweiligen Pflanze, ihren Organen, ihrer Pflückzeit usw. wiederherzustellen. Jochen Bockemühl sagte mit Recht, dass die Morphologie der intakten, lebenden Pflanze in ihrer

Wandlungsdynamik mehr sichtbar macht als jede Laborbehandlung.

Doch auch diese hat ihren Aussagewert, wenn man ihn methodenplural betrachtet. Insbesondere die Arbeitsgruppe Ruth Mander/ Hans-Joachim Strüh vom Forschungslabor der Wala (Mander 1987, Strüh 1987) hat unbefangen erneut mit dem Steigbild gearbeitet und drei auffällige Typen herausgestellt, die sie nennen:

„Aufgelockerter Typ“

„Zucker-Typ“

„Kolloid-Typ“.

Dabei wird beobachtet, wie langsam und deshalb nur im unteren Teil des Steigpapiers, wie mittelfristig oder wie schnell und ausgesprochen hoch der Saftanstieg ist. Dabei ist aus obiger goethenistischer Betrachtung der Bindungslehre bald deutlich, dass der Kolloidtyp alle jene organischen Schleimsubstanzen umfasst, die einen hohen Kondensations- beziehungsweise Polymerisationsgrad haben, aber noch schwach wasserlöslich sind. Umgekehrt sind es die ionogenen Substanzen, zum Beispiel die Anthocyane der Kirschenfruchtfarbe, die leicht und rasch aufsteigen und die oberen Farbbänder des aufgelockerten Typs abgeben. Dazwischen liegen jene ausgewogenen Substanzen, die über beide Pole harmonisch-vermittelnd und ausgleichend verfügen, z. B. die Zucker! Sind die organischen Substanzfraktionen nicht selbst farbig, können sie durch Metallkomplex-Salze nachträglich sichtbar gemacht, „entwickelt“ werden. Friedrich Ferdinand Runge (1795–1867) hatte das schon zur Goethezeit entdeckt (Harsch/Bussemas 1985).

Eine solche Interpretation des Steigbildes organischer Säfte im Zusammenhang des Bindungsspektrums homöo- und heteropolarer Natur kann auf zwei diametrale Wertungen treffen. Die eine ist die der Enttäuschung, denn man hat nun etwas geklärt vor sich, was man lieber nicht erklärt gesehen hätte, und so hilft man sich mit dem Vorwurf von Materialismus und Rationalismus als Feindbild. Die andere Wertung ist, dass man die Erklärbarkeit nicht verdrängt, sondern annimmt, um sie qualitativ zu erweitern. Das Geistige sollte eben nie der Lückenfüller sein für das Ungeklärte, sondern im Gegenteil: es ist in der Wirkwelt selbst in seinem ausdrucksstarken Abglanz zu feiern. Wie sagte es Rudolf Steiner zu den ersten Walldorflehrern?

„Ebensowenig darf die Vorstellung gepflegt werden, die die Menschen so sehr lieben, daß das Unbekannte ein Beweis des Geistes ist. Nicht wahr, die Menschen sagen: Oh, das kann man nicht wissen, da offenbart sich der Geist! – Statt daß die Menschen die Empfindung bekommen: Man kann vom Geiste wissen, der Geist offenbart sich in der Materie –, werden die Menschen so sehr darauf hingelenkt, daß da, wo man sich etwas nicht erklären kann, ein Beweis ist für das Göttliche.“ (Steiner, GA 300/I: 100, 26.9.1919)

Schon Thomas von Aquino war dafür, dass man im Denkgeschäft die geistige Welt nicht als „Zuflucht der Unwissenheit“, als das bloße *asylum ignorantiae*, missbrauchen solle.

Dynamische Gleichgewichte

Verwandlung vollzieht sich immer im Zwischenfeld der Gegensätze. Wir sagten schon: Ideale atombindige Stoffe sind ebenso selten wie ~~extrem~~ ^{extrem} ionenbindige. Die Zwischenlagen in allen Abstufungen machen die Fülle der meisten Stoffverbindungen aus. In ihren Verwandlungen können sie trotzdem nach außen als stationär erscheinen, sind es aber nicht, sondern befinden sich dann im *dynamischen* Gleichgewicht; man denke nur an alle Puffersysteme in der intrazellulären und extrazellulären Biochemie, und sei es allein schon der pH-Puffer des Blutes. Zugrunde liegen immer *Zwischenbindungsstufen* der beteiligten Substanzen, insbesondere schwache Säuren und schwache Basen. Alle Carbonsäuren und Aminoverbindungen sind dadurch pufferfähig: Tritt Übersäuerung auf, wird diese abgedämpft, tritt Verlaugung zu stark auf, wird diese gemildert. Was im Jahre 1867 die beiden Norweger, der Chemiker Peter Waage (1833–1900) und der Mathematiker Cato Maximilian Guldberg (1836–1900) gefunden hatten und seitdem mit einem dünnen Wort das „Massenwirkungsgesetz“ (MWG) genannt wird, ist die exakte Beschreibung davon. Dabei ist der Name mehr als unglücklich, denn es geht darin gerade eben nicht um die Massen-Wirkung, sondern um die *Konzentrations*-Wirkung, wie jeder weiß, der es verstanden hat. Die Dosis macht die Wirkung.

Das MWG ist aber selbst nur ein Sonderfall eines viel umfassenderen Prinzips, das *dynamischen* Gleichgewichtseinstellungen auch unter Einbezug energetischer Vorgänge umfasst: das *Prinzip von Le Chatelier*. Bei erhöhtem Energieangebot entstehen endotherme Verbindungen und mindern dadurch die Energiegrößen, bei geringem Energieangebot entstehen eher exotherme Verbindungen, die Energie freisetzen. Das gilt nicht nur für chemische, sondern auch für physikalische Umsätze, wenn man die Übergänge in die verschiedenen Aggregatzustände nicht auch zu den chemischen Reaktionen rechnen will (was sie doch eigentlich sind, denn der Umbau der Molekülstrukturen mit Inanspruchnahme von Bindungskräften und Wärmetönungen findet dabei ebenso wie bei den meisten chemischen Reaktionen statt).

Das ganze klimatische Wettergeschehen ist davon beherrscht. Bei Wärmezuführung finden energiebindende Vorgänge wie Schmelzen und Verdunsten statt. Bei Wärmeabnahme wird wieder Wärme gebildet durch Kondensation und Kristallisation. Das Wasser ist so zu jeglichem Ausgleich fähig und ermöglicht gerade dadurch erst die Biosphäre der Erde. So ist das *Prinzip von Le Chatelier* in allen ausgleichenden Vorgängen wirksam, und nur im Ausgleich der Gegensätze kann sich das Leben verwirklichen, ohne je den vollständigen Ausgleich zuzulassen. Dieser ist erst beim Tode und eben nur im Anorganischen möglich, und insoweit gehört das Prinzip des „kleingehaltenen äußeren Zwanges“ in seiner mathematisierbaren Form der Chemie und Physik des Toten an. Hier aber spiegelt es wie in einem Abbild etwas Charakteristisches des Lebens, denn es bildet einen Bereich der gesteigerten Mitte, hier zum Beispiel die zwischen den Bindungspolaritäten, denn nur so kann es sich voll ausprägen. Nicht mit starken, sondern erst mit schwachen Säuren

↙ rein ↘ solche

kann man Pufferlösungen herstellen. Man könnte das *Prinzip von Le Chatelier* geradezu ein in die physiko-chemische Welt geratenes biologisches Grundgesetz nennen. Stammt etwa die Anorganik, auch in ihrer Gesetzlichkeit, aus der Organik? Das anthroposophische Evolutionsverständnis bejaht diese Frage.

Die Fähigkeit zum unentwegten kompensatorischen Ausgleich ist im Ätherischen zu Hause. Goethe entdeckte selbst schon das Kompensationsprinzip der Organismen. Unsere gesamte Sinnesorganisation ist zum Beispiel davon beherrscht. Sehen wir viel Helligkeit, wird das Auge unempfindlicher und sieht nur noch relativ dunkel. Auf der Nachtwanderung aber sehen wir noch feinste Lichtspuren. Sehen wir grün, wird das Auge rotempfindlich; sehen wir violett, wird es gelbempfindlich. Strecken wir unsere Gliedmaßen, so gehen schon die Beugemuskeln in erhöhte Bereitschaft etc. Die farbigen Schatten sind weder objektiv noch subjektiv, sondern eine Folge unserer Sinnesphysiologie, und sie ist wie alles Ätherisch-Lebendige jenseits von Objektivität und Subjektivität, sondern dort angesiedelt, wo die Kluft dieses Dualismus von Körper und Seele überbrückt ist, nämlich in beider Bindeglied: dem Leben. Davon ins Anorganische projiziert, tritt die Gesetzlichkeit des Prinzips von Le Chatelier auf, und es ist deshalb für die physische Existenz des Lebens unabdingbar.

Stereoisomerie

Die Entdeckung der Stereoisomerie insbesondere durch Louis Pasteur (1822–1895), Jacobus Henricus van't Hoff (1852–1911) und Joseph Achille Le Bel (1847–1930) ist eine der bedeutsamsten der Biochemie: Nicht nur das Was, sondern mehr noch das Wie der Substanz ist beachtenswert. Nicht nur die beteiligten Elemente als solche, sondern die jeweilige Raumstruktur ist entscheidend für die Wirksamkeit ihrer Verbindungen. Nicht primär die Masse, sondern die Gestalt ist entscheidend. Hierdurch wurde die Chemie, bisher eine bloße Stoffkunde, zur Molekularmorphologie. Man sage nicht, die Strukturchemie sei nur „theoretisch konstruiert“. Das ist auch jede Landkarte gewesen, bis wir die Satellitenaufnahmen hatten, und wir konnten ihr schon vorher bei jeder Reiseplanung vertrauen. Inzwischen gibt es gute entsprechende Aufnahmen der Molekülmorphologie, die das theoretisch Gefundene zur Wahrnehmung bringen (s. S. 10 u. 11). Steiner riet den ersten Waldorflehrern, wenn schon Formeln, dann sogleich die Raumformeln einführen (Steiner GA 300/111:32). C_2H_6O kann ebenso Ethylalkohol sein wie Dimethylether – zwei weitgehend verschiedene Substanzen gleichen Baumaterials. Das Material ist eben nicht allein das Wesentliche, sondern mehr noch das Wie – der Inbegriff jedes Gestaltverständnisses.

Das eindrucksvollste Phänomen der Stereochemie in der Biochemie ist die Chiralität. Kaum eine organische Substanz, die nicht chiral ist, ja von ihrer eindeutigen asymmetrischen Drehrichtung hängt ihre physiologische Wirkung wesentlich ab. Pasteur entdeckte sie an der Rechts- bzw. Links-Milchsäure. Le Bel und van't Hoff fanden unabhängig voneinander, dass zumeist die Asymmetrie der vier Kohlen-

stoffliganden entscheidend sind. Unsere Nase kann den Unterschied in manchen Fällen direkt riechen: Das Kümmelöl Carvon riecht in der Rechtsform anders als in der Linksform bei gleicher (!) Struktur mit nur spiegelbildlich unterschiedlicher Asymmetrie: entweder nach Kümmel oder nach Krauseminze. Mit zwei Polarisationsfolien kann man leicht die unterschiedliche Spiralstruktur von Rechtszuckern (Glucose, Saccharose) und Linkszuckern (z. B. Fructose) im durchleuchteten Standzylinder makroskopisch visuell sichtbar machen (Wenger-Lehrmittel). Alle lebensrelevanten chemischen Mikrostrukturen sind eindeutig asymmetrisch. Umso erstaunlicher ist es, dass es dann makroskopisch überhaupt zu Symmetrien im Körperbau der Organismen kommen kann. Gleich, ob Radiär- oder Bilateralsymmetrie vorliegt (z. B. Seeigel oder Fisch), so sind doch zumeist die zentralen Vitalorgane des Stoffwechsels asymmetrisch gestaltet. In der Spitze jeder Schneckenhausspirale liegt die verdauungssteuernde Mitteldarmdrüse, und die Mehrzahl aller Schneckengehäuse ist rechtsdrehend, so unsere Weinberg- und Bänderschnecken (Heliciden), doch kommen auch linksgewundene obligatorisch vor, so unsere meisten Arten der kleinen Schließdeckel-Schnecken (Clausiliiden).

Die anorganische Chemie kennt kaum Chiralität (Schad 2000: 107). Umso erstaunlicher ist die Ausnahme des Bergkristalles und der mit ihm verwandten Silikate. Sie bilden die überwiegende Quantität der Erdkruste und sind uns als Urgesteine (Plutonite) vertraut. Diese Hauptsubstanz der biosphärennahen Erde ist selbst zur Chiralität befähigt. Es gibt Rechtsquarze und Linksquarze (s. Schad 1981a). Sollten auch sie physiologisch wirksam sein, und das sogar in unterschiedlicher Weise?

Dieser Gedanke liegt anthroposophisch nahe, wenn man jeden Organismus als eine – wenn auch offene – Ganzheit versteht. Schon in den „Grundlinien“ fragt der Student Steiner, was die vergleichbare Gänze im Anorganischen ist und sieht sie in keinem Detail, sondern in der „Gesamtheit des Unorganischen als ein System“, und das ist erst der ganze Kosmos (Steiner 1886). So ist jedes individuelle Lebewesen – weil eine Gänze – in gewissem Umfang eine miniaturisierte Wiedergabe des ganzen Kosmos. – Den äußeren Kosmos stellt sich das geometrisierende Alltagsbewusstsein als in allen Richtungen homogen – gleichwertig vor. Steiner stellt die Anschauung dagegen, dass der Kosmos ungleichwertige Richtungen hat: Wenn schon ein geometrisches Bild, so nicht das der Kugelsphäre, sondern das des Vogeleies (Steiner, GA 136: 11.4.1912; GA 205: 90/1, 1.7.1921). Dem Embryologen ist bekannt, dass die Körperachse der ersten Hühnchenanlage im Ei senkrecht zur Eiachse steht und zwar in 70 % so, dass der Kopfpol vom Beschauer weg und der Schwanzpol auf ihn zu liegt, wenn er das Ei mit dem stumpfen Pol nach links und mit dem spitzen Pol nach rechts hält. Die ursprüngliche Lage im Ei ist also immer asymmetrisch und ihre Richtungshäufigkeit ebenfalls ungleich verteilt. Dass nun alle von lebendem Stoffwechsel gebildeten höherwertigen organischen Substanzen schon im Kleinsten in sich asymmetrisch sind, ist so gesehen Ausdruck der gesamthafte kosmischen Natur der Lebensvorgänge.

Die Physik entdeckte erst 1956 (Lee u. Yang 1956) eine inhärente Dissymmetrie der physikalischen Welt am β -Zerfall. 1997 fanden die amerikanischen Astronomen Nodland und Ralston die asymmetrische Spiralstruktur des physikalischen Univer-

sums experimentell aus der Radiostrahlung 160 ferner Galaxien, die sich in ihren durchmessenen Räumen nicht gleichartig verändert. Vorher war man strikt von einer Isotropie aller Raumesrichtungen ausgegangen.

Die Idee liegt auf der Hand, dass das biologisch-dynamische Hornkieselpräparat (übrigens in einem immer asymmetrisch gedrehten Kuhhorn präpariert) auf Grund der Chiralität des Quarzes das bestwirksamste Präparat ist. Schon Otto Wolff hatte vor Jahren diese Vermutung. Mit Rainer Dietrich stellte ich 1982 erste Versuche mit getrennter Spritzung von Rechts- und Links-Quarz im Versuchsgarten des Instituts für Waldorfpädagogik in Witten-Annen an. Die Stangenbohnen reagierten in Größe und Blattgrüntiefe zumeist besser auf den Rechts- als auf den Linksquarz. Frau Christina Senger konnte unter der Ägide von Prof. Wolfram Achtnich im Rahmen einer Dissertation in Feldanbauversuchen bei Göttingen diesen Ansatz weiter bestätigen. Der biologisch-dynamische Forschungsring konnte trotz mehrerer Anläufe aber bisher zu keinen abschließenden Ergebnissen kommen. Man kann nur den genialen Griff Rudolf Steiners bewundern, im Hornkieselpräparat nach eben diesem, der Physiologie des Lebens nächststehendem Mineral gegriffen zu haben. Wie sagte schon Goethe in seinen Maximen und Reflexionen (Nr. 705):

„Wäre die Natur in ihren leblosen Anfängen nicht so gründlich stereometrisch, wie wollte sie zuletzt zum unberechenbaren und unermesslichen Leben gelangen?“
Woher wusste nur der Weise von Weimar auch schon davon?

Die Gottebenbildlichkeit der Materie

Rudolf Steiner sprach einmal im Vorausblick davon, dass man das Wirken Christi künftig bis in die Gesetze der Chemie wird aufzeigen können (Steiner, GA 15: 66). Spiritualismus und Materialismus werden sich dann nicht mehr unverträglich gegenüberstehen. Die Zukunft hat immer schon ihre Keime in der Gegenwart, so in diesem Ausspruch Rudolf Steiners. Gibt es dazu Inhaltliches auch schon in den anorganischen Wissenschaften? Wohl nur erste unbemerkte Annäherungen. Was beschreiben Physik und Chemie vom Feinstbau der Materie in der Kernphysik und Kernchemie? Die über hundert Elemente werden auf deutlich weniger Elementarteilchen zurückgeführt. Zwar ist auch ihre Anzahl inzwischen erheblich gewachsen. Aber immer sind es wenigstens drei Eigenschaften, die jedem Elementarteilchen, es charakterisierend, zukommen. Das ist zum einen seine Masse, zentrisch auf kleinstem Raum zusammengeballt und damit auch von einem minimalen Gravitationsfeld umgeben. Außerdem tragen die meisten Elementarteilchen bestimmte elektrische Ladungen und damit jeweils ein sehr viel stärkeres, nämlich elektrisches Feld um sich. Ladungsfelder erstrecken sich prinzipiell unbegrenzt in den Raum (wenn auch mit dem Quadrat der Entfernung rasch abnehmend). Masse-zentriert sich begrenzt im Kern. Das sind prinzipielle Gegensatzgebärden im Bau der Materie.

Aber mit der Massenzahl und Ladungsgröße ist ein Elementarteilchen allein noch nicht charakterisiert, sondern vollständig erst durch einen dritten Wert, den
der anthroposophische Arzt 2 (B21-2003)

Spin. Er ist ein asymmetrisches Drehmoment, in das sowohl die Richtungen der Massen- wie Ladungsrotationen eingehen. Hierin liegt ein verbindendes, rhythmisch schwingendes Merkmal vor, das ebenso konstitutiv wie Masse und Ladung ist. Erst alle drei Werte kennzeichnen jedes einzelne Elementarteilchen.

Ähnliche Dynamismen liegen in der Konfiguration jedes Atoms vor. Im Kern konzentrieren sich die massestarken Nukleonen, wobei die Neutronen gerade die Kernmasse noch verstärken und eben nicht die Ladung. Sie sind vielfach nötig, damit sich die gleichgeladenen positiven Protonen nicht gegenseitig abstoßen, also um deren gegenseitige Ladungswirkungen geradezu auszuschalten. Die Atomhülle hingegen besteht aus massearmen, ladungsstarken negativen Elektronen, die Feldstärke im Umkreis bestimmend. In dem, was sich zwischen Kern- und Außenhülle, mit einem schlechten, da zu mechanischen Wort, als Schalen eingliedert, ist ein nur noch wellentheoretisch deutbares rhythmisches Geschehen voller „Quantensprünge“. Der erste Entdecker der mathematischen Ordnung dieser rhythmischen Sequenz in Form der Balmer-Serie des Wasserstoffatoms, der Basler Pädagoge Johann Jakob Balmer (1825-1898), sah in der 1885 von ihm gefundenen Beziehung einen ausgesprochenen Pythagoräismus (s. auch *Hagenbach* 1941, *Hartmann* 1949).

Die Beschreibung braucht hier wohl nicht näher interpretiert zu werden. Deutlich ist, dass alle Materiestrukturen letztlich dreigliedrig im Sinne von Polarität und Steigerung gestaltet sind. Dieses Trinitarische, wie es durch einen anthroposophisch beleuchteten Goetheanismus sichtbar wird, gibt erst den sonst allzu belanglos bleibenden, bisher nur technologisch interessierenden Daten einen solchen Wert, dass sie doch auch eine Orientierungshilfe des menschlichen Selbstverständnisses in der ihn umgebenden Naturordnung werden können. —

Herder hatte noch über Goethe gespottet: „Eine der lächerlichsten Genieperioden war die bergmännische in Weimar, als die Bergwerke in Ilmenau wieder gangbar gemacht werden sollten; da war der Mensch gar nichts, der Stein alles. Goethe fand in der Organisation des Granits die göttliche Dreieinigkeit, die nur durch ein Mysterium erläutert werden könne“ (Gespräch mit Falk). Herder bezieht sich hier auf Goethes Aufsatz „Über den Granit“, wie er aus dessen geologischen Harzwanderungen entstanden war. Rudolf Steiner aber sprach in großer Verehrung über diesen Aufsatz Goethes und empfahl ihn im „Ergänzungskurs“ (GA 302: 36) der Vorbereitung des Lehrers:

„Man muß mit wirklicher Empfindung vor allen Dingen die Geschichte, Geographie, Geologie und so weiter vortragen. Das Letztere ist insbesondere interessant, wenn man Geologie vorträgt und tiefstes Mitgefühl für das unter der Erde befindliche Gestein hat. In dieser Beziehung könnte man jedem Pädagogen raten, Goethes Abhandlung über den Granit je recht mitfühlend einmal durchzunehmen, um zu sehen, wie eine nicht bloß mit dem Vorstellungsleben, sondern mit dem ganzen Menschen in die Natur sich hineinversetzende Persönlichkeit mit dem Urvater, dem uralte-heiligen Granit, in ein menschliches Verhältnis kommt. Dann muß das natürlich auf anderes ausgedehnt werden.“ (13.6.1921)

Ja, bei Rudolf Steiner findet die Dreigliederung des Granites seine therapeutische Verwendung am dreigliedrigen menschlichen Organismus (Steiner, GA 349: 19,

↗ Diese ↗ noch ↗ jetzt schon

17.2.1923).

Goethe hatte damals die Kenntnisse der Geologie seiner Zeit zur Verfügung, in die ihn der Clausthal-Zellerfelder Vizeberghauptmann Heinrich von Trebra eingeführt hatte, einer der wenigen, denen er das vertraute Du angeboten hat. Quarz, Glimmer und Feldspat zeigen schon in ihrem Verhalten zum Licht die Polarität von Durchsichtigkeit, Spiegelung und bei Letzterem die farbige Steigerung. Seine ganze Farbenlehre ist ebenso auch ein Versuch, einen Bereich der Physik in trinitarischen Qualitäten zu erfassen.

Heute haben wir ein ungleich immensereres, genaueres, vielfältigeres, differenzierteres Wissen über fast alle Naturscheinungen. Aber ihr Bildungswert *für den Menschen* und noch mehr, umgekehrt, unsere verstehende Zuneigung *für die Natur*, beide bleiben aus, weil die geistig interessierte Bildungsschicht dieses Naturwissen sich allein überlässt, es nicht kulturell integriert, nur darüber als einen bloßen Reduktionismus und Materialismus die Lippen schürzt und die Nasen rümpft. Und doch ist das alles wahrlich nicht des Teufels, sondern die Naturwissenschaften sind voll des guten Geistes. Wir sollten ihn weiter entdecken. Die Methodik liegt längst vor, nur seine Entdeckung muss auch *gewollt* sein und gesucht werden. Sonst erzeugt jede abgehobene Form von weltfremdem Spiritualismus, weil er seine Aufgabe verpasst, selbst erst recht die abgesunkene, negativ werdende Form des Materialismus (Steiner, GA 295: 167). Das hat nun schon jene jahrhundertelange tragische Tradition, von der eingangs gesprochen wurde, und von der wir uns lösen können.

✓ erwünscht ✓ endlich

Literatur

- Aristoteles: Metaphysik I, 2, 982b.
- Astromedia-Versand, Katernberger Straße 107, 45327 Essen. Katalog Nr. 22 (2004)
- Balmer, J. J. (1885): Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft Basel 7: 548ff.
- (1885): Annalen der Physik 25: 20ff.
- Bindel, E. & Blickle, A. (1952): Zahlengesetze in der Stoffeswelt und in der Erdenentwicklung. In: Wachsmuth, G. (Hrsg.), Beiträge zur Substanzforschung Bd. 1 (Ihybernia). Dornach/Basel, Stuttgart
- (1967): Berührungsstellen zwischen Naturwissenschaft und Anthroposophie. Beiträge zu einer Erweiterung der Heilkunst nach geisteswissenschaftlichen Erkenntnissen 20(4): 101-114, Stuttgart
- Blickle, A. & Bindel, E. (1948): Das periodische System der Elemente als Schöpfungsurkunde. Die Drei 18(2/3): 90-107. Stuttgart
- Clark, R. W. (1973): Albert Einstein. Leben und Werk, S. 250. (W. Heyne) München
- Cohen, E. (1912): Jacobus Henricus van't Hoff. Sein Leben und Wirken. (Akadem. Verlagsgesellschaft) Leipzig
- Fortlage, C. (1869): Acht psychologische Vorträge. 1. Kapitel: Über die Natur der Seele. Jena
- Galvani, A. L. (1791): De viribus electricitatis in motu musculari commentarius
- Gehlig, R. (1995): Selbstleuchten und Atmung. Tycho de Brahe-Jahrbuch für Goetheanismus. Niefern-Oschelbronn.
- Gleason, S. (1960): Ultraviolet Guide to Minerals. (Ultra-Violet Products, Inc.) San Gabriel, Californien.
- Goethe, J. W. (1831): Principes de Philosophie Zoologique. WA II 7:188; HA 13: 233
- Hagenbach, A. (1941): Johann Jakob Balmer. In: Fueter, E. (Hrsg.): Große Schweizer Forscher, S. 272-273. (Atlantis) Zürich
- Harsch, G. & Bussemas, H. H. (1985): Bilder, die sich selber malen. Der Chemiker Runge und seine „Musterbilder für Freunde des Schönen“. (Du Mont) Köln
- Hartmann, L. (1949): Johann Jakob Balmer. Physikalische Blätter 5: 11-14. Weinheim
- Holleman, A. F. & Wiberg, E. (1955): Lehrbuch der anorganischen Chemie, S. 156/7. (de Gruyter) Berlin
- Hummel, R. E. (1992): Liefert die Kupferchlorid-Kristallisations-Methode einen Nachweis für die Gestaltkräfte des Lebendigen? Elemente der Naturwissenschaft 57: 112-121. Dornach
- Krätz, O. (1972): Zur Frühgeschichte des Periodensystems der Elemente. Rete 1: 145-166
- (1992): Goethe und die Naturwissenschaften. (Callwey) München
- Lee, T. D. u. Yang, C. N. (1956) in Phys. Rev. 104: 254f. Siehe auch: Wachtel, S. & Jendrusch, A., Der Linksdraht in der Natur, S. 158 ff. (dtv) München
- Lexikon der Chemie in drei Bänden (1998): Bd. 1:465. (Spektrum) Heidelberg, Berlin.
- Lieber, W. (1957): Die Fluoreszenz von Mineralien. Der Aufschluß, Sonderheft 5. Heidelberg.
- Mandera, R. (1987): Gibt es einen Zugang zur Formensprache des Steigbildes? Elemente der Naturwissenschaft 46(1): 48-68. Dornach
- Mohr, C.: Anorganisches Grundpraktikum. (Verlag Chemie) Weinheim 1954
- Nodland, B. & Ralston, J. (1997): siehe Bild der Wissenschaft 7: 10
- Okamoto, Y.: siehe Literaturverzeichnis bei Senger (1987)
- Pflug, H. (1984): Die Spur des Lebens. (Springer) Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- Robbins, M. (1983): The collector's book of fluorescent minerals. (van Nostrand Reinhold C.) New York etc.
- Roßlenbroich, B. (1994): Die rhythmische Organisation des Menschen. Aus der chronobiologischen Forschung. (Verlag Freies Geistesleben) Stuttgart
- Schad, W. (1973) Vom Kristallezüchten. (Mit Angelika von Kügelgen) In: Erziehungskunst Jg. 37(5): 212-222. Stuttgart
- (1981a): Bergkristalle – Thema mit Variationen. In: Erziehungskunst Jg. 45(1): 5-17. Stuttgart
- (1981b): Vom Wesen der Substanzen in den Naturreichen. In: Weleda-Korrespondenzblätter für Ärzte Nr. 103, S. 6-23. Arlesheim/Schwäbisch Gmünd Dezember 1981.
- (1982): Biologisches Denken. In Schad, W. (Hrsg.): Goetheanistische Naturwissenschaft Bd. 1: 9-25. (Verlag Freies Geistesleben) Stuttgart

- (1998): Zum Chemie-Unterricht in der Waldorfschule. *Erziehungskunst* 62(3): 264-277. Stuttgart 1998
- (2000): Spiral-Asymmetrien bei Tier und Mensch. Tycho de Brahe – Jahrbuch für Goetheanismus 2000: 93-110. Niefern-Öschelbronn
- (2004): Materialismus und Postmaterialismus vom 19. bis 21. Jahrhundert. Merkurstab. (Im Druck)
- Schad, W. & Dietrich, R. (1982): Versuche an Stangenbohnen mit Rechts- und Linkskieselspritzungen am Institut für Waldorfpädagogik Witten-Annen. Unveröffentlicht
- Schmutz, H.-U. (1986): Die Tetraederstruktur der Erde. (Verlag Freies Geistesleben) Stuttgart
- Schulz, M.E. (1975): Lumineszenz von Mineralien und Gesteinen. Der Aufschluß 26:49ff. Heidelberg.
- Senger, C. (1987): Auswirkungen biologisch-dynamischer Quarze auf Wachstum und Qualität verschiedener Kulturpflanzen. Dissertation Göttingen
- Spronsen, J. W. van (1969): The Periodic System of Chemical Elements. A History of the First Hundred Years. (Elsevier) Amsterdam, London, New York
- Steiner, R. (1886): Grundlinien der Goetheschen Weltanschauung, mit besonderer Rücksicht auf Schiller. Kapitel: Die unorganische Natur. (GA 2). (Rudolf Steiner-Verlag) Dornach 2002
- (1905): Grundelemente der Esoterik (GA 93a). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1987
- (1911): Die geistige Führung des Menschen und der Menschheit. Geisteswissenschaftliche Ergebnisse über die Menschheits-Entwicklung (GA 15). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1987
- (1912): Die geistigen Wesenheiten in den Himmelskörpern und Naturreichen (GA 136). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1996
- (1913): Die Geheimwissenschaft im Umriss. Kapitel: Die Weltentwicklung und der Mensch (GA13). Dornach 1989
- (1914): Der menschliche und der kosmische Gedanke (GA 151). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1990
- (1917): Zeitgeschichtliche Betrachtungen. Das Karma der Unwahrhaftigkeit – Zweiter Teil (GA 174). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 2003
- (1919a): Allgemeine Menschenkunde als Grundlage der Pädagogik (I) (GA 293). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1992
- (1919b): Erziehungskunst. Seminarbesprechungen und Lehrplanvorträge (III) (GA 295). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1984
- (1919-1924): Konferenzen mit den Lehrern der Freien Waldorfschule 1919 bis 1924. Band III (GA 300/1-3). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1995
- (1921a): Menschenwerden, Weltenseele und Weltengeist – Zweiter Teil: Der Mensch als geistiges Wesen im historischen Werdegang (GA 205). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1987
- (1921b): Menschenkenntnis und Unterrichtsgestaltung (GA 302). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 1986
- (1923): Vom Leben des Menschen und der Erde. Über das Wesen des Christentums (GA 349). (Rudolf Steiner Verlag) Dornach 2002
- Strüh, H.-J. (1987): Grundlegende Phänomene bei der Ausbildung der Steigbildformen, Bildtypen und pharmazeutische Prozesse. *Elemente der Naturwissenschaft* 46(1): 22-47. Dornach
- Trueb, L. F. (1996): Die chemischen Elemente. Ein Streifzug durch das Periodensystem. (Hirzel) Stuttgart, Leipzig
- Walden, P. (1943): Goethe als Chemiker und Techniker. (Verlag Chemie) Berlin
- Wegener, A. (1912): Die Entstehung der Kontinente. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, Aprilheft: 185-195, Maiheft: 253-256, Juniheft: 305-309. Siehe auch Rohrbach, K. (1993): Alfred Wegener. (V. Freies Geistesleben) Stuttgart
- Wenger-Lehrmittel, Blütenhang 10, 78333 Stockach-Wahlwies, Fax 07771/3918: Geräte und Gebrauchsanweisungen zur makroskopischen Demonstration der optischen Aktivität von Zuckern. Prospekt anfordern.
- Winkler, H.G.F. (1955): Struktur und Eigenschaften der Kristalle. S. 222. (Springer) Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- Zeeck, A., Eick, S., Krone, B. & Schröder, K. (1997): Chemie für Mediziner. (Urban & Schwarzenberg) München, Wien, Baltimore