

Manfred von Mackensen, „Prozesschemie“ 2001

Eine modellfreie Einführung der Formelschrift

1. Der Übergang 10. – 11. Klasse

Rückblick 10. Klasse. In der 10. Klasse durchstreifen wir die vielfältigen und doch geordneten Gestalten der Salze und ihrer Symmetrien. Wir erkunden die bewegenden Kräfte der Säuren, die saugenden Wirkungen der Laugen, die „Versteinerung“ der Basen. Innerhalb des Pflanzenreiches liegt in dem alkalischen Reagieren Schwere und Überreife, im Säuren Frische und Wachstum. Beim Tier lebt im Basischen die Innenwelt des Leibes; nach außen arbeitet das Saure z.B. als Magensaft oder als Futtersaft der Bienen. Im Unterricht wird Salziges, Alkalisches und Saures über Mineralien, Gewässer der Erdoberfläche und Säfte der Lebewesen hin verfolgt. Wirkungsrichtungen werden fühlbar, die in verschiedensten Varianten, durch ponderable Stoffe repräsentiert, anschaulich erlebbar auftreten – bis in die Kristallform.

Vorblick 11. Klasse. Gelegentlich mag man die eine oder andere Stoffformel der Salze, Säuren oder Basen, als Vorwegnahme deklariert, schon in der 10. Klasse angeben; vielleicht auch auffordern, sie sich schon für das nächste Jahr zu merken. Wie aber die unzähligen Stoffe der Welt heruntergearbeitet werden können auf eine kleine Schar chemischer Elemente, in welchen Verdichtungen, Konzentrationen und letztlich Abtötungen der Wandlungs- und Werdeimpulse der Stoffesfülle in den Naturerscheinungen vorliegen, dieses Herunterarbeiten, Vereinseitigen und bis zum äußersten Individualisieren zum Element, das ist erst in der 11. Klasse altersgemäß; und auch erst dann didaktisch angebracht, da eine gewisse, erst durch die 10. Klasse erzielte Überschau chemischer Möglichkeiten erfordert wird, um das Konzentrieren und Vereinseitigen zu bemerken.

2. Gesetze und Atome

Elementtätigkeiten? Immer in Verbindungen. Zunächst mag man, egal ob die Epoche mit Calcium, Stickstoff, Natrium oder Schwefel beginnt, herausstellen, dass ein solches Element als eine *Konzentration des Stoffimpulses* das kleinste Gewicht aller seiner Derivate hat. Alle Verbindungen des Elements wiegen mehr als diejenige Portion des Elementes, aus der man sie erzeugt hat. Denn es kam ja etwas hinzu. Das Element steht als Konzentrat im Hof seiner Derivate (Verbindungen). Aber erst durch die Verbindung agiert das Element in einem Naturprozess und zieht seinen Faden hindurch, indem es an anderes gebunden wird oder gebunden ist. Von isolierten, eben meist künstlich rein hergestellten Elementen geht wenig aus im Haushalt der Natur. Seinen Impuls, seine treibende Richtung verwirklicht ein Element also nicht selbst, sondern mit anderen, durch andere Elemente. Nur so kann unsere Welt bestehen: auf unermesslich neue Qualitäten zugehend, mit unbegrenzt fließenden Kräften. Diese entquellen gerade nicht monoton den Elementen als Baustein der Stoffe. Jede Verbindung zeigt neue, *eigene* Qualitäten.

ten. Die Elemente weisen nur auf sie hin. Sie selbst sind ärmer.

Keine materiellen Weltbausteine! Ehe man die Verarmung nicht zeigen kann, sollte man von Elementen, als gleichsam mystischen Untergrundwesen, in materiell-bestandteilsartig gedachter Platitude nicht reden; mag die konventionelle Schulchemie sie auch noch so sehr verehren, etwa als Weltbausteine, Grundursachen oder schlicht als einzige Wirklichkeit: Wir haben keinen Grund, die Elemente vor der 11. Klasse herauszuarbeiten!

Proportionen. Das so genannte Gesetz der konstanten Proportionen ist Kindern vom Schmelzwasser des ersten Eiszapfens an eine unausgesprochene Erfahrung. Von nichts kommt nichts, von wenig ^{wenig} Meistens ist irgendetwas im Überschuss. Aber viel Säure zur Lauge gegeben bildet das gleiche Salz wie wenig Säure, nur bleibt mal das oder das übrig. Stoffe haben genauso ihre Eigenschaftsidentität wie ihre Proportion der Ausgangsstoffe; daran lässt sich nicht rütteln. – Im Unterricht muss man auf dem Gesetz der konstanten Proportionen wie auch auf dem Gesetz von der Erhaltung der Masse nicht herumreiten.

Erhalt der Elementmasse. Ebenso naheliegend ist es, dass dieselben Stoffe oder Elemente beim Zerstören des Produkts in der alten Menge, soweit nichts verloren geht, wieder erscheinen. Sonst würde ja bei fortwährendem Erzeugen und wieder Zerstören einer Verbindung der eine Ausgangsstoff allmählich in den anderen umgewandelt. Aber sie sind ja gerade etwas Verschiedenes! Das sogenannte Gesetz von der Erhaltung der Elementmasse lässt sich also ebenso ohne große Eröffnung oder Beweisführungen mit den Schülern zusammen feststellen.

Auswirkungen, nicht Definitionen charakterisieren Gesetze. Was wir im Unterricht brauchen, ist also nicht ein ausgedehntes *Messen*, sondern eine Erfahrung und ein Urteil, wie Gesetze sich anschaulich *zeigen*, was an der Erfahrung auf sie *deutet*. So ist z.B. der Versuch § 11 zur Schwefeleisenentstehung gemeint; ~~man lese dort nach (S. 39)~~. Direkt auf ihn oder ähnliche anschauliche Umsätze gründen wir die Formelschrift – nicht auf Gesetze oder gar Atome. Gerade die Erklärungsfreude durch „Atome“ entspringt einer noch tieferen Schicht halbbewusster Vorurteile als die Zufriedenheit mit „Elementen als allgemeine Bausteine“; sie führt noch stärker von der selbsterkrafteten Weltbegegnung und dem eigenen Urteil weg. Vor beiden muss man sich hüten. Denn den gefühlsmäßigen Zug, alles auf der Welt materiell bewirkt, ja bestimmt vorzustellen, hat jeder.

Das Erleben der Teilchengrenzen. Die vorherrschende Labor- und Industriechemie begründet sich auf Erhaltung der Masse, auf Zahlenverhältnisse, konstante und gestufte (multiple) Pro-

portionen, Erhaltung der Elementmasse, und schließlich: Erhaltung der Teilchen; jener Teilchen, die ewig seien und alles machen! Man fühlt das Erdensein wie einen Käfig, in dem die Teilchen herumtoben und die Welt hervorbringen – und zugleich begrenzen. Der Griff nach den Teilchen wird dann als die große Ermächtigung im Käfig erlebt, die Formel wird ihr Bild, und all die Qualitäten der Welterscheinungen werden egal: Es ist dann, als ginge man mit der zugrundeliegenden, ewigen Wirklichkeit selbst um. Hier braucht man keine qualitative Wahrnehmung, keine Einfühlung in die lebende Natur und die aus ihr sich herausverwandelnden Stoffe; vor allem: Man muss keine selbstbewegten, selbstbewerteten Gedanken an jener Einfühlung und Wahrnehmung bilden. Man hat seine vorbereiteten Vorstellungen (die Moleküle, Elektronen und Ionen), die fest auf der Physik stehen: auf deren ewiger, statischer Welt, auf die im Grunde alles schon mit den Ausgangsfragen reduziert wurde.

Populäre Grundempfindungen. Die vorstehende Betrachtungsweise ist nicht als philosophisches Programm, sondern mehr als populäre Einstellung präsent; auch auf dem Grund der Schülerseelen. Man könnte sie so zusammenfassen: Chemikerkenntnis aus atomaren Vorstellungen und dünnen experimentellen Signalen, verbunden mit Machbarkeit und Machtinstinkt kipfelt in einem unausgesprochenen Credo: „Seid begrüßt, Atome! Alles verdanken wir euch, den Aufbau der Natur, unseren Körper, unsere Gehirnprozesse: wir in euch und ihr in uns!“

Didaktische Weichen. Die Atome lassen wir also zunächst ruhen. So unwandelbar wie sie selbst sind, so unwandelbar sind die Grundeinstellungen und Vorurteile, mit denen sie erlebt werden; wir können für den Schüler dort nichts Geistiges entwickeln. Man kann die Atome erwähnen, streifen, „loben“; kann zeigen, dass man selber das System kennt, dass man seine überwältigende Intelligenz und seine Machtmöglichkeiten bewundert und es durchaus für wissenswert hält, aber dass man weder Weisheit noch Heil darin sucht. Denn letztere erringen wir nur aus dem Wahrnehmen, nicht aus dem Vorstellen. –

Kein abschließendes Urteil. Die vorangehenden Zurufe zum Atomismusproblem sollen nur dem *Alltagsbewusstsein* zwecks Offenheit für Naheliegendes, Lebensgemäßes voranleuchten, damit es seinen Weg finde. Eine historische, philosophische, wissenschaftstheoretische oder gar fachwissenschaftliche Würdigung ist damit nicht erarbeitet. Allein für das ursprüngliche Grundproblem materialistisch-kausalanalytischen Naturwissens sei hingewiesen auf einige kurze Aufsätze R. Steiners von 1882 und 1890 („Einzig mögliche Kritik der atomistischen Begriffe“ und „Die Atomistik und ihre Widerlegung“)³.

3. Wahrnehmungswege

Schritte zur Formel. Die Formelschrift muss nebenbei abfallen; zwar entwickelt aus Wahrnehmungen, aber nicht aus zeitraubenden Extraveranstaltungen. Der Hofmann'sche Wasserzersetzer mag gegen Ende das einzige „Formelexperiment“ sein. Die Schwefeleisen-Entstehung wäre ein Schlüsselexperiment. Sie kann wundervoll abbilden, was Überschuss an Schwefel oder

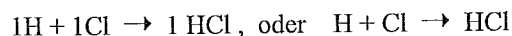
Eisen heißt. Auch das Verglühen von Stahlwolle an der Luft oder die Reduktion von Kupferoxyd mit Ammoniak – alles Versuche, die sowieso vorkommen können – wären u.U. geeignet, die Proportionen, die Umwandlungen und das Übrigbleiben von Ausgangsstoffen erarbeiten zu lassen.

Die Molmassenwahl. Nach den Proportionen kommt das Abkürzungsproblem. Man definiert sich eine elementeigene Masseneinheit, bei Wasserstoff ein Gramm. Grunddefinition des gesamten Systems ist also

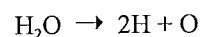
$$1\text{g Wasserstoff} \equiv 1\text{H}$$

Die elementspezifische Massengröße, im Beispiel hier 1g, nennt man nun auch Molmasse. Unter Normalbedingungen wiegt ein Mol Wasserstoff 2g, und zwar wegen seiner bimolekularen Natur, weshalb er als H_2 geschrieben wird und dann die Molmasse 2 hat. Hier ist demgegenüber ein Mol von atomarem Wasserstoff gemeint. Näheres siehe S. 99. Ein Mol Wasserstoff ist also eine Stoffportion dieser Art von der Masse 1g (das widerspricht nicht der atomistischen Definition des Mols; entfernte Dezimalstellen sind für die Einführung uninteressant). Man kam auf 1g, weil Wasserstoff der „leichteste Stoff“ ist, d. h. unter normalen Bedingungen die geringste Dichte hat; und weil alle Verbindungen, die sich aus ihm bilden, weniger Masse vom Wasserstoff als vom Reaktionspartner aufnehmen – Wasserstoff als das physikalisch und chemisch leichteste Element.

Die Molmasse der anderen Elemente, die auch von einem Buchstaben repräsentiert werden soll, könnte man prinzipiell, jedenfalls für einfachste Verwendungen, beliebig, also wesenlos wählen. Aber die Formelschrift hat nur dann einen Vorteil, wenn man sich an die Proportionen der Verbindungsbildung anlehnt, so dass keine komplizierten Bruchteile von Molmassen und von den sie abkürzenden Buchstaben notiert werden müssen. Man setzt also für Chlor die Masse an, die sich in der Salzsäure mit einem Gramm Wasserstoff verbindet, gerundet 35g. Dann kann man schreiben:



Die Wasserformel aus den Molvolumina. Interessanterweise fand Gay-Lussac 1808, dass gleiche Volumina Chlor und Wasserstoff zur Salzsäure zusammentreten, so dass die Molmassen auf ein Einheitsvolumen deuten. Man setzt es auf ca. 24 l bei Zimmertemperatur. Es ist für alle Elemente gleich. Man kann also bei jedem Element dem universellen Molvolumen einen Elementbuchstaben zuordnen. Die Anzahlen der Elementbuchstaben verhalten sich wie Anzahlen der in die betreffende Verbindung eingehenden Molvolumina; jedenfalls in einfachen Fällen. Zum Beispiel bei der Wasserzersetzung entstehen auf ein Molvolumen (ca. 24 l) Sauerstoff genau zwei Molvolumen Wasserstoff (ca. 48 l). Also lautet die Formel H_2O , und es stellt sich – beim Gewichtsverhältnis 1 zu 8 – die Molmasse für Sauerstoff auf 16g.



Erster Gewinn. Was hat man nun durch derartige Formeln zunächst gewonnen?

– Sie drücken abgekürzt Mengen verbrauchter oder entstehender Stoffe bei Reaktionen aus, so dass man keine Wäageergebnisse, sondern nur Buchstaben schreiben muss, denen man höchstens noch kleine ganze Zahlen zusetzt. Die Formel-

³ in: Beiträge zur R. Steiner Gesamtausgabe Nr. 63, Michaeli 1978, R-Steiner-Nachlassverwaltung, CH 4143 Dornach.

schrift ist also zunächst ein geschickt abgekürztes Mengenprotokoll, z.B. für Fabrikanten.

- Indem man keck behauptet, bei jedem Stoff wären die in ihn hineinverschwundenen Elemente später auf Umwegen wieder herausholbar, kann man Reaktionsmöglichkeiten voraussagen, andere ausschließen. Man bekommt Übersicht.

4. Die große Entdeckung

Ein universelles System „fällt vom Himmel“. Der zuletzt genannte Vorteil tritt aufgrund eines Sachverhaltes ein, der schwer in den Blick zu bekommen ist. Bei allen Verbindungen eines Elementes mit *verschiedensten* anderen Elementen „betätigt“ es nämlich immer die gleiche Molmasse, und alle anderen Elemente untereinander betätigen die gleichen Molmassen wie gegenüber dem ersten! Das geht über konstante und gestufte Proportionen bei einer einzelnen Elementkombination hinaus. Die aus einer Zweierkombination abgeleitete Molmasse, soweit nötig mit kleinen ganzzahligen Faktoren erweitert, erweist sich plötzlich als zutreffend im weiten Kreis der Chemie für alle anderen ebenso mit ihren Molmassen angesetzten Elementkombinationen. Wir könnten von einem Gesetz der *universellen Proportionen* sprechen. Ein Beispiel:

- Schwefeldioxyd verbraucht einmal 32 und zweimal 16 Gramm (Schwefel bzw. Sauerstoff);
- Wasser verbraucht einmal 16 und zweimal 1 Gramm (Sauerstoff bzw. Wasserstoff);
- Schwefelwasserstoff verbraucht einmal 32 und zweimal 1 Gramm (Schwefel bzw. Wasserstoff).

Die gleichen Molmassen gelten also ringsherum. Keine Proportion im Netz der unzähligen Kombinationen fällt heraus. Das ist der Inhalt des Richterschen Gesetzes (Jeremias Benjamin RICHTER, 1791). Stellt man also eine einzelne Verbindung vor sich hin, so richtet sich ihre Zusammensetzung nach einer *universellen* Ratio der Massenverhältnisse unzähliger anderer Elementkombinationen; so als wenn nur bestimmte Massenintervalle – eben die nach den Molmassen – im Weltall möglich wären. Man wollte sich nur eine Abkürzung für die gewichtsmäßigen Proportionen schaffen, aber auf zauberhafte Weise sind die zunächst nur einfach und praktisch gewählten elementeigenen Massenpakete im ganzen Universum wechselseitig gültig, für alle nur denkbaren reinen Verbindungen! – Man nennt das konventionell das Gesetz der äquivalenten Proportionen.⁴ Richtiger wäre „Universalität der Proportionen“, also ein Gedanke an einem Gedanken; keine Sache.

Geheimnisvolle Eigenschaften des Molvolumens. Wodurch ist die Universalweisheit in unser zunächst willkürlich angefangenes System hereingekommen? Indem wir die Molmassen theoretisch einem für alle Elemente gleichen *Volumen* entnehmen. Da nur einige der Elemente gasförmig sind, müssten die meisten zur Wägung erst in Gasform gebracht und dann nach den Gasgesetzen auf Normalbedingungen zurückgerechnet wer-

den.⁵ Man müsste also dabei praktisch alle Elemente erhitzen und in einen Zustand niedrigen Drucks bringen. Das heißt doch, sie aus dem heutigen verfestigten Erdenzustand herausheben. Sie müssen so gedacht werden, als seien sie in maximaler Verdünnung und bei höchster Temperatur, d.h. in einem mehr kosmischen, vielleicht auch urvergangenen Zustand.⁶ Indem wir also ein einheitliches Molvolumen zugrundelegen, knüpfen wir gleichsam an einen kosmischen Ursprung der Stoffe an. Von daher strömt die weisheitsvolle, universelle Ratio unserem dümmlich begonnenen System zu und macht es erfolgreich, weil universal. Die Formelschrift bekommt ihren naturgesetzlichen Inhalt aus einem Reich der Wärme und Leichte, wie aus einer anderen Welt, aus dem Kosmos.⁷

Atome als Denkersatz. Wenn man den Ursprung von Wärme und Verdünnung ablehnt, also etwas haben will, was nicht auf einem Umkreis, sondern zentral auf sich beruht (auf schlichter Materie), dann stellt man Atome vor (DALTON). Man geht dann zur gegenüberliegenden Seite aus der Gegenstandswelt (etwa der klassischen Physik) heraus. Man bohrt sich mit den Gedanken in „verursachende“ Materiestrukturen. Die von Daniel BERNOULLI 1738 geschaffene kinetische Gastheorie beginnt solches, dem neuzeitlichen Bewusstsein gemäß, auf so geistreiche Weise – etwa das empirisch gewonnene Mariottesche Gasgesetz herleitend –, dass man den zugrundeliegenden Entschluss vergisst.

⁵ Die sogenannten zweiatomigen Gase, wie H_2 , O_2 , N_2 usw. müssten außerdem durch Temperatursteigerung zum Aufgeben dieser die irdische Beschwerung und Verfestigung zart einleitenden Verdichtung, die z.B. im $2H \rightarrow H_2$ liegt, veranlasst werden. Sie müssten „I-atomig“ gemacht werden, um im Molvolumen die der Formel zugrundeliegende Molmasse zu zeigen.

⁶ In der Praxis konnte man schwer herstellbare Gaszustände gerade durch das Richtersche Gesetz und durch andere, an den kolligativen Eigenschaften mögliche Messungen umgehen; man hangelte sich im schon erkundeten System weiter und kreierte das nicht gut Messbare ein. (Kolligative Eigenschaften = Siedepunkterhöhung, Gefrierpunktniedrigung, osmotischer Druck, Dampfdruck und dergl.)

⁷ Indem die Betrachtung in dem zunächst nebulösen Begriff Kosmos ausläuft, der weder auf einem Stoff noch auf einer Messvorschrift beruht, ja nicht einmal beruhen darf, ist dem geeigneten Leser Gelegenheit gegeben, etwas, das er zunächst als Makel registrieren mag, zum Ansatz weiteren Forschens zu nehmen. Denn gerade der offene Begriff „Kosmos“ und „kosmische Vergangenheit“, der wegführt vom bloßen Anordnen des Handgreiflichen, kann dieser Anordnung erst Interesse- und Verehrungskräfte zuführen, welche vordringen lassen zum Anrühren eines Größeren, Ganzen, das mit dem Ursprung von Mensch und Erde verbindet – der einzigen Quelle von wirksamen Verstehen. Demgegenüber führt die kühle Sachanordnung der Welt bekanntlich nur zur Ausbeutung des zweckrational verfügbar Gemachten. Der Begriff „Kosmos“, der hier nicht gehörig diskutiert werden kann, ist demnach kein Makel, sondern eine Kostbarkeit, wegen derer es sich lohnte, diese ganze Abhandlung zu schreiben. Der Ursprung des oben beschriebenen Sachzusammenhangs wird von R. Steiner auch als „chemischer Äther“ (Äther im Sinne von Bildekkräfte) bezeichnet, als eine Art Grenzsetzung für das physische Auftreten unbegrenzter Verwandlungen der Stoffe. Dabei scheint Steiner das Gesetz der Erhaltung der Elementmasse als einen Untergrund der universellen Proportionen anzusehen.

Die Entstehung des chemischen Äthers aus dem Lebensäther, der sich in bleibende Elementwirkungen differenziert, beschreibt Steiner andeutend in der Akasha-Chronik (GA 11 113f., 1904 – 8/1973); im Landwirtschaftlichen Kurs mehr das Hereinkommen des Lebensätherischen und Chemisch-Ätherischen aus dem fernen, obersonnigen Kosmos, über das Zurückwerfen am Kiesel (GA 327 II 46, 1924/1984); im zweiten Medizinerkurs die Erhaltung der Elementmasse durch die Weiterexistenz ätherischer Stoffe im chemischen Äther, entgegengesetzt zum wechselnden chemischen Umsatz (GA 313 II 29, 1921/1963).

⁴ HOLLEMANN, WIBERG: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 1985, S.22

Erhalten des Schülerinteresses. Für den Unterricht empfiehlt es sich, den Bernoullischen Schritt nicht mitzumachen, d.h. die Formelschrift zunächst modellfrei einzuführen. Denn alles, was auf Unsichtbarem, aber wie genaueste Gegenstände Vorgestelltem reduktionistisch gegründet sein will, stößt die ursprünglich denkenden Schüler ab. Das zeigt auch der seit Jahrzehnten ohnmächtig beklagte Interesseverlust (ohnmächtig, weil noch in der Klage reduktionismusverhaftet) am gymnasialen Chemieunterricht, neuerdings beschrieben von HÖRNER und GREIWE: Chemie – nein danke?⁸

Kult der Phänomene. Es kann eben Schüler nur ein Denken anziehen, das auf Wahrnehmungen gründet: und zwar so, dass die Schüler selber mitschaffend urteilen können. Schwimmt man aber, wie viele hervorragende phänomenologisch suchende Autoren, auch mit seinem Denken nicht außerhalb des reduktionistischen Kielwassers, so ist das Schülerinteresse auf Dauer nicht erreichbar; es bleibt die Erkenntnis beim Phänomen stehen, so z.B. bei den folgenden Autoren. Mins MINSEN beschreibt den „entscheidenden Unterschied zwischen den möglichen Zielen einer Phänomenologie der Natur und der Naturwissenschaften: Naturwissenschaften versuchen, *Geheimnisse aus der Welt nach und nach auszutreiben*, durch Rückführung auf Zahlenbeziehungen, Struktureinheiten und deren Entwicklungsketten... Eine Phänomenologie der Natur versucht, ohne etwas hineinzugeheimnissen, eine Naturerscheinung in dem Bewusstsein zu beschreiben, dass die Erscheinung prinzipiell umfänglicher und tiefer als die Beschreibung bleibt, der Beschreibung prinzipiell immer ein Stück vorausseilt und auf den Beschreibenden wirkt, an aller Beschreibung vorbei“. Zur direkten Stoffwahrnehmung schreibt WENDER: „Ich lasse die Schülerinnen und Schüler dann auch hören, wie es rauschen und knallen kann, lasse sie sehen, wie die wunderbaren Formen und Farben entstehen, lasse sie riechen, wie dreckig oder himmlisch sich die Stoffe präsentieren können, lasse sie fühlen, wie warm und glatt etwas ist, lasse sie kosten, wie sauer und bitter sie schmecken. Ich verwende meine ganze Aufmerksamkeit darauf, dass sie das alles wirklich gut wahrnehmen können und dass es ein wirkliches Erlebnis wird. Ich merke dabei (und weiß es auch), dass ihr Gefühlsleben über die Sinnesorgane angesprochen wird und sie auf diese Weise teilhaben können an der Schönheit des Lebens, dass sich dabei auch ihre Moralität entwickelt“.⁹

Grenzen des bloßen Wahrnehmens. Es müsste in der Natur des Jugendlichen liegen, dass auch nach dem reichsten Wahrnehmen *irgendein Denken* komme. Wir stoßen auf das Defizit der phänomenologisch strebenden modernen Chemiedidaktik. Man muss – im vollen Gegensatz zum Modelldenken – den geistigen Übergang suchen vom schönen Einzelerlebnis zum Ganzen der belebten Natur und des Menschen. Woher soll sonst die zitierte „Moral“ in freier Weise kommen? Nur eine Idee des Menschen kann dem Denken Kraft geben, weil man sich ihr im eigenen inneren Leben nähern, ja verschreiben kann. Dagegen werden Begriffe innerhalb eines Gedankenlebens, das sich in reduktionistischer Konsequenz letztlich zum Epiphänomen der Molekularvorgänge des Nervensystems erklärt hat und sich nur

als belanglose Registratur des ohne es fertigen Weltinventars ansehen muss – eine Registratur, in der sich jedes Erkenntnisstreben einebnet – auf Dauer keines Interesses der Jugendseele würdig sein. –

Frühere Goetheanisten. Anzufügen wäre noch, dass Frits JULIUS ebenfalls die phänomenale, d.h. in wirklichen Erscheinungen vorfindliche Grundlage der Molmassenfestsetzung im Gasvolumen erkennt und ausführlich diskutiert¹⁰. Julius beschreibt das Netz der universellen Proportionen oder, wie wir sagen, die Universalität der Proportionen so: „Wenn einige Stoffe sich miteinander verbinden, wird durch das auftretende Gewichtsverhältnis sozusagen ein Fragment des Netzes in unser Blickfeld gerückt.“

5. Unterrichtspraxis

Eine Tabelle der abgerundeten Molmassen der Elemente (früher sogenannte „Atomgewichte“, heute „relative Atommasse in Gramm“ genannt), setzt die Schüler instand, etwa die folgende Übungsaufgabe zu bearbeiten; wobei die (Summen-)Formeln der Verbindungen, wie sie jederzeit prinzipiell aus Gewichtsbestimmungen der beteiligten Elemente gefunden werden könnten, mitgeteilt werden.

- Wie groß ist die Molmasse von Kohlendioxyd der Formel CO_2 ? (44g)
- Wieviel Kohlenstoff wird gebraucht, um 88g Kohlendioxyd herzustellen? (24g)
- Wieviel Kohlenstoff wird gebraucht, um 88g Kohlenmonoxyd herzustellen? (37,7g)

Wird derartiges stöchiometrisches Rechnen zu kompliziert und zu lange betrieben, so erreicht man nur eine Spaltung in gemüthhaft interessierte Schüler (die jetzt „abhängen“) und intellektuell herrschfreudige, die lernen, einen Nebenerfolg für den Kern der Chemie zu nehmen.

Nach dem Aufstellen genauer Verbindungsformeln (CO , CO_2 , H_2O) kann nun ein weiterer Ertrag der Formelchemie, die Möglichkeit einer scharfen Reaktionsformulierung, kurz geübt werden. Hat man Magnesiumnitrid (~~Versuch T 4, S. 83~~) hergestellt und Mg_3N_2 als Verbindungsformel angegeben, so kann formuliert werden



Die Sprechweise sei zunächst „drei Molmassen Magnesium“, und nicht „drei Magnesium“ oder „drei Mg“. Mg ist also keine Abkürzung allgemein für Magnesium. Denn Mg heißt nicht „Stoff der Art Magnesium“, sondern „24g Magnesium“. Das entsprechende gilt z.B. auch für Kohlendioxyd, das ich deshalb allgemein mit Kd und nicht CO_2 abkürze, und Kupfer mit Ku usw. Universalabkürzungen scheinen Erkenntnis zu automatisieren: sie verhindern sie aber durch Unterdrückung des Konkreten – daher die noch nicht mit Theorie befrachteten Extrazeichen wie Kd und Ku .

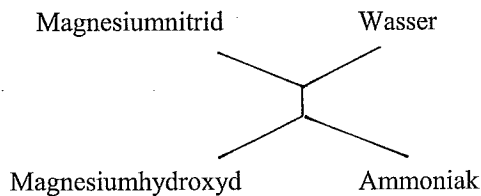
Was geschieht nun beim Ablöschen des Nitrids zum Hydroxyd? Wir stellen zunächst ein Reaktionsschema auf. Dazu haben wir aus der Natur der Stoffe überlegt, dass das gasförmige Produkt wahrscheinlich eine Stickstoffverbindung, das mineralisch Feste (der Schlamm) eine Metallverbindung sein wird. Es

⁸ in: *chimica didactica* 26 (1) 25 u. 26 (2000).

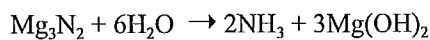
⁹ beide zitiert nach: *chimica didactica* 26 (2/3) 91 bzw. 92 (2000)

¹⁰ s. „Grundlagen einer phänomenologischen Chemie“, Freies Geistesleben, Stuttgart 1965; S. 72f

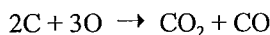
geht offenbar die Brennbarkeit des Magnesiums, die sich bei der Nitridbildung nur teilweise abregiert hat (mildes Weiterglühen statt hellem Aufblitzen wie mit Sauerstoff), in das gasförmige Produkt über, d.h. in eine Wasserstoffverbindung über, die sich bei weiteren Versuchen tatsächlich als verbrennbar zeigt. Stofflich grenzen wir also ab:



Nachdem die Formeln NH_3 und $\text{Mg}(\text{OH})_2$ mitgeteilt sind, können die Schüler aufstellen



Hier geht es nach dem Prinzip zu: „dass ihm auch nicht eines fehlt“; denn wegen der Konstanz der Elementmassen müssen alle Buchstaben, die links stehen, rechts wieder auftauchen. Das Prinzip erlaubt nun, unbekannte Reaktionen nur aus Formelwissen zu entwerfen; so z.B.: 24g Kohlenstoff sollen von 48g Sauerstoff verzehrt werden, was für ein Gas wird entstehen? Man kommt aus Gelerntem und der Kenntnis der Möglichkeiten von Kohlenmonoxyd darauf, zu formulieren:



Also wird tatsächlich (giftiges) Kohlenmonoxyd mit entstehen, welches wir hier durch die Reaktionsformulierung „entdeckt“ haben – ein Triumph der Formelschrift. Der Chemiker benutzt derartige Ratio auf Schritt und Tritt. Die Schüler lernen die Formelschrift schätzen.

Ehe wir die Reaktionsabläufe in Formelschreibweise (die sogenannten Reaktionsformulierungen) weiter daraufhin untersuchen, was man voraussagen bzw. nach dem Ablauf einsehen kann, sei noch einmal die einzelne Stoffformel auf Nutzen und Schaden für die Erkenntnis befragt (wie oben, S. 98 begonnen). Nehmen wir CO_2 . Man hat also ein schweres Gas, fängt 44g in einem Gefäß auf, und nennt diese Portion CO_2 . Was erkennt man dadurch?

1. Die Proportion ist mit der Formel CO_2 gegeben: auf 12g Kohlenstoff werden 32g Sauerstoff zur Herstellung verbraucht. Diese Mengen sind, wenn auch auf Umwegen, in jedem Fall bewegt worden; und zwar von diesen Stoffen und keinen anderen!
2. Wenn Kohlendioxyd Sauerstoff oder Kohlenstoff abgibt, das heißt, wenn es verschwindet, so entstehen nur Kohlenstoff und Sauerstoff (meist in neue Verbindungen eingegangen) und nichts anderes, wobei mit 100%iger Sicherheit prinzipiell die selben Mengen wiedererscheinen.

Die Stoffformel bezeichnet also eine eindeutige Vergangenheit und eine sichere Zukunft. Was sagt sie über die Gegenwart?

3. Man wird von der Stoffformel gedrängt, den Stoff als Addition aufzufassen; als wäre Kohlendioxyd rußig und anfachend, Wasser explosiv und Rost schweißbar. Die verzeichneten Elemente sind eben nur Vergangenheit oder Zukunft, nicht Gegenwart! Dass gegenwärtig etwas Neues da ist, macht gerade die Möglichkeit von Leben und Wandlung auf der

Erde aus. Die Formel negiert es! Das Wissen blockiert sich an der Stelle selbst, gelinde gesagt: ein Nachteil der Formelschrift.

4. Nun bleibt aber doch etwas an der Elementzusammensetzung auch in der Gegenwart real: Es ist die Masse. Ihre Erhaltung suggeriert ja gerade den Fortbestand der Komponenten; in puncto Verwandlung sagt die Masse aber prinzipiell nichts. Sie bleibt ja erhalten.
5. Ein Zweites ist von jenen Elementen der Stoffformel in der Gegenwart vorhanden: die *Eigenschaftsneigung*. Die Eigenschaften sind zwar weg, aber manches von ihnen taucht verwandelt wieder auf, mehr für das qualitative Denken, denn in Form gleichbleibender Messdaten. Es sind lediglich Tendenzen, Neigungen, nur der phänomenologischen Zusammenschau sichtbar. Aber diese Neigungen ordnen die Natur.

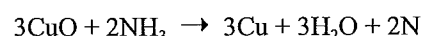
So hätten wir also vier Vorteile und nur einen, aber verführerischen Nachteil (oben die Nr. 3). Gibt man sich der Verführung dieses Nachteils, also der Annahme einer physischen Weiterexistenz der Elemente in den Verbindungen hin – und es ist heute schwer, das wegzuhalten –, dann muss man als nächstes fragen: Ja, wodurch halten denn die auseinanderstrebenden Elemente zusammen? Und wenn die Elemente weiter einfach da sind, warum sieht man sie nicht in der Verbindung? Die letzte Frage führt zur „Feinstverteilung“ in atomarer Körnung, die erste zur Bindungstheorie, zu den Elektronen. Die entscheidenden Modell-Suchantriebe der modernen Chemieerkenntnis entspringen also aus dem Formelproblem; das natürlich nur eine Variante des umfassenden Materialismusproblems ist.

Man könnte nun zwischenrufen: „Lasst uns doch den Materialismus behalten, wenn er uns so gut tut, auch weil er die ganze großartige moderne Chemie hervorgebracht hat!“ Aber wir erreichen die Schüler nicht! Und was ist mit der Erdenatur, der Umwelt; und der Gesundheit der Kinder, die immer schlechter wird? – Wieder sind die letzten Absätze nur eine populär ausgedrückte Bestandsaufnahme „von unten“, keine wissenschaftliche Diskussion.

Aber das anfängliche Verstehen und der Unterricht fangen von unten an. Sie suchen den großen Zusammenhang vom ursprünglichen Erkunden der Phänomene ausgehend, ohne einen im voraus vorgestellten Gesamtzusammenhang, der in Teilchenstrukturen läge, bloß noch aufweisen zu wollen. Und man kann, auf das Leben und die Menschen bezogen, derartige Zusammenhänge finden, wenn man die Beobachtung über die äußerliche Stoffhandhabung ausdehnen will, ~~wie die Kapitel über Kiesel, Schwefel, Natrium usw. zeigen~~. Natürlich kann man sich die 200 Jahre seit Dalton nicht sofort vom Leibe schaffen. Aber es genügt, die Vorteile 1, 2 und 5 der Formelidee zunächst einmal aufzugreifen und den Rest (die ganze Modellgeschichte) zu lassen; jedenfalls für die 11. Klasse. – Wenden wir uns nun noch einem alten Problem zu, dem der Wertigkeit. Wie löst man es ohne Elektronen?

6. Oxidative und reduktive Wertigkeit

Erste Ahnung von Wertigkeit. Beim Formulieren der Reaktion (Aufstellen von Reaktionsgleichungen) wird – wie oben schon angedeutet – die Buchstabenanzahl ausgeglichen, z.B. gilt:



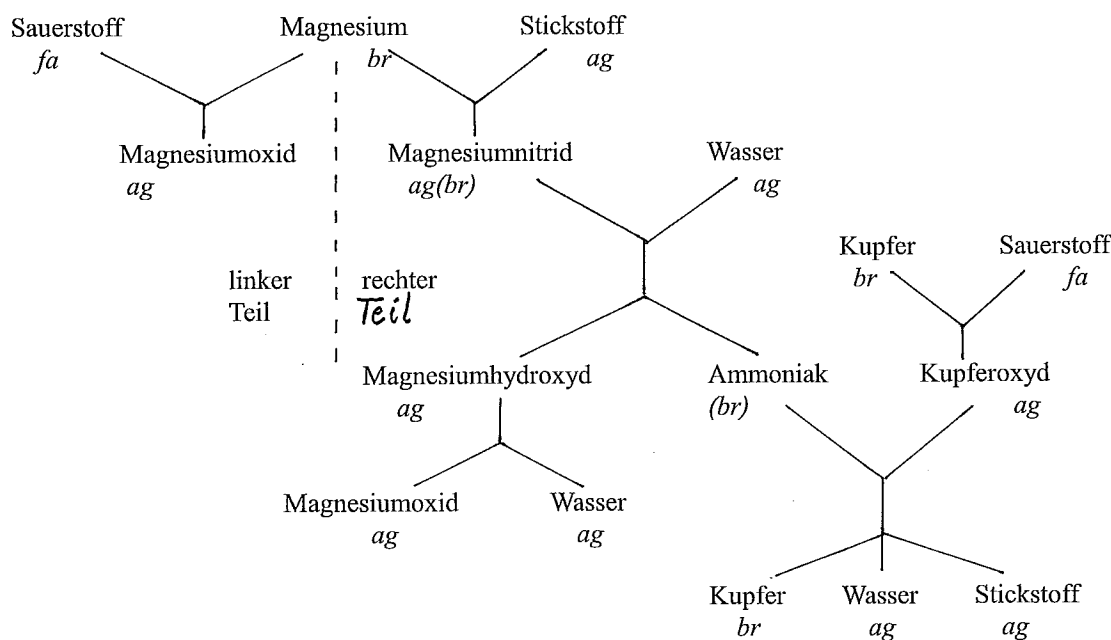
Für komplizierte Formulierungen bediene man sich im Unterricht anfangs zur Sicherheit einer Tabelle, etwa der folgenden Art

Buchstabe	Anzahl links	Anzahl rechts
Cu	3	3
O	3	3
H	6	6
N	2	2

Auch wenn die Schüler damit umgehen können, bleibt für sie unbefriedigend, dass sie sich die Stoffformel sagen lassen müssen. Man kann darauf hinweisen, dass letztere immer aus genauen Wägungen erhältlich ist. Aber die Schüler merken, dass der Lehrer nicht nur die Ergebnisse früherer Wägungen kennt, sondern die kleinen ganzen Zahlen aus einem elementeigenen „Zahlenvorrat“ ableitet, welcher ihm als Fachmann zugänglich scheint. Der Vorrat birgt „Wertigkeiten“.

Gestufte Proportionen, gestufte Eigenschaften. Die Wertigkeit beschreibt die Stufen der Teilhabe eines Elements am Strom der Verwandlungen der anderen. Ein Element in einer Wertigkeit ist aber nicht nur zahlen- oder mengenmäßig bestimmt, sondern es zeigt eine Qualitätsstufe, wie z.B. zweiwertiges Eisen; man findet einen einmaligen, typischen Komplex von Eigenschaftsneigungen (s.o. S. 101, Punkt 5). Ändert man die Wertigkeit, so entsteht ein neuer verwandter Komplex, eine andere Kraft im Wirken der Natur. Deshalb müssen die Wertigkeiten aus den Wegen der qualitativen Umwandlungen der Stoffe in der Welt herausgeholt werden und nicht aus vorgestellten Elektronenzahlen, die eben nur auf Systemen physikalischer Messungen und der Verdinglichung von Quantitäten beruhen.

Die Polarität der Verwandlungskräfte. Als erstes muss qualitativ, anhand der natürlichen Antriebe von Reaktionen, geklärt werden, dass es zwei Verwandlungsrichtungen gibt, die Oxydation und die Reduktion. Sie sind Kräfte der offenen Natur, des Entstehens und Vergehens von Lebewesen und ihren Materialien. Wir betrachten dazu ein Tableau der Schemata von verketteten Reaktionen (die an mehreren Tagen vorgeführt wurden):



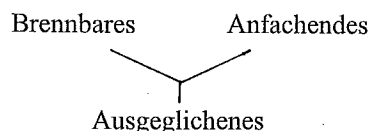
Brennbares = *br*
 Anfachendes = *fa*
 Ausgeglichenes = *ag*

Die Schüler erkennen u.a., dass das Umsetzungsergebnis des Magnesiums im linken Teil dem im rechten Teil gleich ist, denn alle anderen Stoffe erscheinen rechts so wieder, wie sie verbraucht wurden (das Wasser in zwei Portionen). Welche antreibenden Kräfte spielen nun in den Reaktionen? Zunächst muss berichtet werden, dass die Darstellung von Magnesium eine Art Gewaltakt ist: Magnesiumoxyd und Kohle müssen auf 1800°C erhitzt werden, das Magnesium dampft ab.

Imponderabilien als treibende Kraft. Die Imponderabilien der Kohle, d.h. die alles bewegende Kraft, die letztlich aus dem Kosmos stammt (s.o., S. 9), wird der Magnesia gewaltsam aufgedrückt, indem sich die Kohle belüftet, durch die Glut zur höchsten Oxidationsneigung gesteigert. Die Imponderabilien, oder genauer, die Veranlagung eines Stoffes, Imponderabilienwirkung hervorzubringen, ist die alles antreibende Kraft der Erdenveränderungen aus dem nahen Kosmos (Sonne, Planetensystem); nur durch sie kommt Leben und Chemie immer neu zu-

stande. Die Imponderabilien-Idee reicht letztlich an Gedanken über die Wege des Universums heran.

Brennbares gegen Anfachendes. In die Schule gehört der anschauliche Teil der Imponderabilienidee. Er besteht in einer Einteilung der Stoffe in *brennbare*, *anfachende* und *ausgeglichen*:



Diese Qualitäten sind im vorigen Schema kursiv dazugesetzt. Man erkennt wieder, dass der Stickstoff in die Rolle des Anfachenden gezwungen wird: durch die übergroße Brennbarkeit des Magnesiums. Letztere wird also nicht echt ausgeglichen, weil der Stickstoff keine anfachende Qualität mitbringt. Die unkompenzierte Brennbarkeit kommt im Ammoniak in verhaltener Form wieder heraus, sie setzt sich bis zum Kupfer (unterste Reaktion) fort, denn das ist wieder mäßig oxidabel. Man lernt, dass es immer mit von den Umständen und vom Reaktionspartner abhängt, ob sich eine brennbare oder eine anfachende Eigenschaft betätigt, d.h. wohin ein Stoff, wie hier der Stickstoff, getrieben wird. Alles ist mit allem wandelbar, nichts beruht auf sich. (In der reduktionistischen Chemie drückt sich das in der Skala der Redoxpotentiale aus.)

Oxidation und Reduktion. Es muss nicht ausgeführt werden, wie die Schüler nun an vielen Beispielen die konventionelle Sprechweise „keine Oxidation ohne Reduktion“ (= kein Verschwinden von Brennbarkeit ohne Verschwinden von anfachenden Eigenschaften) und „das Oxidationsmittel wird reduziert und das Reduktionsmittel wird oxidiert“ etc. erüben können, so dass der Terminus Redoxreaktion geläufig und durchschaubar wird. Beispiele derartiger Stoffe sind:

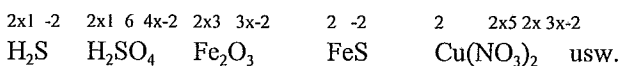
Brennbare Stoffe	Anfachende Stoffe
Holz, Stroh, Heu	Luft, Sauerstoff
Harz, Wachs, Öl	Nitrat, Chromat, Permanganat
Kohle, Torf, Teer	Bleidioxyd, Braunstein, Mennige, Natriumperoxyd
Erdöl, Asphalt, Erdgas	Chlor, Brom, Salpetersäure
Alkohole, Zucker, aromatische Flüssigkeiten	u.U. Sulfat, Carbonat

Ein an der Vielfalt der Stoffe, am Naturganzen, ja sogar im Hinblick auf die Offenheit der Erde am Kosmos beurteilter Begriff z.B. des Brennbares und des Abgebens von Imponderabilien tritt an die Stelle des Abgebens von Elektronen – eine goethenistische Wende, die vom untergründigen Druck reduktionistischer und letztlich naiv-realistischer Vorstellungen befreien kann.

Zweierlei Wertigkeit. Hat man so ein qualitatives Verständnis der Redoxkräfte entwickelt, kann man schnell die Wertigkeiten ordnen. Die reduktive Wertigkeit von Wasserstoff wird gleich +1 gesetzt. In Salzsäure hat der Wasserstoff (hier und immer) die reduktive Wertigkeit von 1 (er wirkt reduzierend), das Chlor die oxidative von natürlich gleichfalls 1, aber mit gegenteiligem

Vorzeichen. Abgekürzt: $\begin{matrix} +1 & -1 \\ \text{H} & \text{Cl} \end{matrix}$

Man kann nun ringsherum einteilen und wie folgt formulieren, dabei die Wertigkeit als Oxidationszahl ausdrückend (lies x = mal):



Jede Wertigkeitsänderung (die reinen Elemente haben null) ist eine Redoxreaktion. Die Erstellung von Redoxgleichungen wird wohl aber erst in der 12. Klasse bis zur selbständigen Handhabung durch die Schüler zu erüben sein. Zunächst ist der Merkspruch hilfreich: Wasserstoff und Wasserstoffvertreter bekommen die Wertigkeit +1, deren Partner, wenn ebenfalls mit genau einem Mol in die Verbindung eintretend, -1; Sauerstoff und Sauerstoffvertreter bekommen -2. Es obliegt dem Chemiker und ansatzweise auch den Schülern, sich von den häufig auftretenden Wertigkeiten der Elemente Kenntnisse zu bewahren.

Was drückt sich in der Wertigkeit aus? – Eine Ableitung der Wertigkeiten über physikalische Daten (Spektroskopie) aus den Quantenzahlen übersteigt zunächst den Umfang des in einem allgemeinbildenden Chemieunterricht zu erringenden Urteilsvermögens. Der Ursprung der Wertigkeiten ist jedoch auch in folgender Weise phänomenologisch zu greifen. Wasserstoff als spezifisch leichtestes Element mit dem tiefsten Kondensationspunkt markiert als praktisch permanentes Gas den Übergang der Erdatmosphäre in den Weltraum, wo er auch als ein von der Erde sich entfernender angetroffen wird. Er ist damit den irdischen Qualitäten wie Verfestigung und Gewicht am fernsten. Das drückt sich u.a. in seiner geringen Molmasse aus. Er kommt bezeichnenderweise nur mit der geringsten Wertigkeit vor. Mit den weiteren Elementen verdichtet sich das Stoffliche, die Molmassen steigen. Dann aber wirkt der zersplitternde Einfluss des Irdischen vermannigfaltigend: immer mehr Wertigkeitsstufen kommen hinzu, vor allem gegenüber dem nicht erdenflüchtigen sondern herunterziehenden, mineralisierenden Element Sauerstoff; es geht bis zur Achtwertigkeit bei den schwersten Elementen (Osmiumtetroxyd). So gesehen ist die Reihe der Elemente einer Periode mit ihrer zunehmenden oxidativen Wertigkeit ein Weg in die Verbindungsbildung hinein, ein Untertauchen des einen Stoffes in den anderen Stoffen.

Wohin mit dem Periodensystem? Das Periodensystem wäre phänomenologisch nur als ein Diversifikations- und Wertigkeitssystem einzuführen. Denn es muss auch bedacht werden, dass die so viel herausgestellten Eigenschaftsähnlichkeiten zwischen Elementen einer Gruppe (Spalte) schon bei den Paradebeispielen an den Flügeln des Systems (Na/K und Cl/Br) in den Lebensprozessen fehlen (Natrium in der Zelle, Näheres s. S. 47f). So lockend vielleicht eine periodische Anordnung aller Elemente nach Molmassen wäre, so aufgepfropft ist – beim Kenntnisstand der Altersstufe – deren Interpretation aus dem physikalischen Messwesen; von der Überfrachtung des Unterrichts mit den vielen aufgeführten Elementen ganz abgesehen. Man kann das Periodensystem besser weglassen oder streift es nur.

7. Was ist erreichbar ?

Endergebnis. Die Schüler wissen: Das Elementkürzel vertritt eine Gewichtsmenge (Masse), die für jedes Element geschickt festgesetzt wurde. Bei gasförmigen Elementen füllt diese Molmasse auch noch einen für alle Elemente gleichen Raum (allgemeines Molvolumen). Das ist aber in der Festsetzung der Molmassen schon berücksichtigt, so dass die Schüler nur an Gewichte denken müssen, wenn sie Formeln schreiben. Auf diesen Rumpf können die vielfältigen Bewandnisse der Formelschrift zunächst schrumpfen. – Müssen sie das?

Goetheanismus als beruflicher Vorteil. Alles schreit nach möglichst viel formaler Bildung, nach Verwissenschaftlichung, Reduktionismus, Abstraktion: „Internet im Kindergarten!“ – wegen der Berufsvorteile. Aber diese Art Arbeitsplätze gibt es gar nicht für viele, 80% müssen etwas anderes tun. Phänomenologische Chemie qualifiziert für Führungstätigkeit unter nicht-formalen Leitsystemen, die wirken in biologischer Landwirtschaft, Naturmedizin und -pharmazie, Ernährung und Gesundheitsführung, Umwelt- und Naturkunde, in angepasster Technik in puncto Bekleidung, Reinigungsmitteln, Farben, Baustoffen und dergleichen. Ihr gehört die Zukunft eines Teils der Berufsarbeit; dort, wo die Formalwissenschaften versagen.