

# Forschung, Wissenschaft

## Didaktik des Chemie-Unterrichts

Das Bild der Chemie ist heute in weiten Kreisen der Bevölkerung kein sehr positives. Mindestens die chemische Industrie wird von vielen Laien und besonders von Jugendlichen eher als lebensbedrohend denn als lebenserhaltend beurteilt. Umfragen in Schulen, besonders auch Aufforderungen an die Schüler zur zeichnerischen Darstellung ihrer Vorstellungen von der Chemie (siehe z.B. Chemie in unserer Zeit, 7, Nr. 3, p. 69, 1983) beweisen das und müssen jeden Chemiker nachdenklich stimmen. Die im Durchschnitt stagnierenden Zahlen des Chemikernachwuchses an Universitäten und höheren technischen Lehranstalten stehen in krassem Gegensatz zum Zulauf, den gewisse andere Fächer erleben. Die Berufswahl wird bei angehenden Akademikerinnen und Akademikern vor oder bald nach der Maturität getroffen; früher nur bei solchen Studienanwärtern, die den dritten Bildungsweg gewählt haben und durch ihre praktischen Erfahrungen besonders stark motiviert sind. So spielt denn der Gymnasialunterricht in Chemie für die Nachwuchssicherung in diesem Fach eine sehr wichtige Rolle.

Vor vierzehn Jahren hatte der Schweizerische Chemiker-Verband eine Vortragstagung über Probleme der Chemieausbildung an Hochschulen, höheren technischen Lehranstalten und Gymnasien veranstaltet, an der K. Grob über die Probleme des Mittelschulunterrichtes in Chemie sprach (CHIMIA 24, 264 [1970]). Seither ist der Stand der Chemie neben den übrigen Unterrichtsfächern eher noch schwieriger geworden. Das Thema hat somit nichts an Aktualität verloren und soll deshalb wieder einmal in unserer Zeitschrift zur Sprache kommen. Der Autor des nachstehenden Artikels, Prof. Dr. H. Stork, ist Dozent für Didaktik des Chemie-Unterrichts an der Gesamthochschule Universität Essen, BRD. In seinem Basler Vortrag redet er mit praktischen Vorschlägen sehr direkt unsere Mittelschullehrer an. Seine Überlegungen dürften aber auch viele selber nicht unterrichtenden Chemiker interessieren.

Red.

Zum Thema siehe auch Seite 176 dieses Heftes.

## Zur Aufrechterhaltung von Motivation und Lebensnähe in einem fachlich anspruchsvollen Chemieunterricht\*

Heinrich Stork

Institut für Chemie und ihre Didaktik, Universität Essen, D-4300 Essen

### Abstract

In the academic stream of Swiss secondary schools (Gymnasium) chemistry is taught in grades 11, 12 and 13, to students at the age of 16 to 19 years. The theoretical-deductive manner of teaching, which is preferred by most teachers, is suitable to these students, to their ability and their synoptical-deductive tendencies. On the other hand this manner of teaching involves some serious disadvantages:

- experience as a basis of chemistry gets into background;
- ideas and concepts (exactly: their names) are used in statements, but they are short of 'operational' meaning, gained in experimental situations ('verbalism');
- teaching tends to restrict itself to the network of chemical ideas and to forget the wealth and necessities of life.

To obviate these negative effects, five kinds of proceedings are recommended; four of them are illustrated by examples, the fifth is a special one and treated more generally:

1. «Save the phenomena» (Wagenschein).
2. Include short problem-solving units into your lessons.
3. For repetition and exercises let students apply their new knowledge to phenomena and problems, which were not involved in the learning process.
4. Include events and developments from the history of chemistry, to prove chemistry as science and as a result of creative, cooperating persons.

5. Examples of problems concerning «Chemistry, society and environment» should be treated, but not without widening the discussion to facts and aspects of social history.

### 1. Vor- und Nachteile einer überwiegend theoretisch-deduktiven Lehrweise

Im Jahre 1647 erschien in Nürnberg ein Buch von Georg Philipp Harsdörffer mit dem Titel: «Poetischer Trichter, Die Teutsche Dicht- und Reimkunst, ohne Behuf der lateinischen Sprache, in VI Stunden einzugießen». Einen solchen Nürnberger Trichter, der alle Probleme der Vermittlung von Chemie dadurch löst, dass man sie den Schülern in einer bestimmten Zahl von Stunden eingiesst, habe ich Ihnen nicht mitgebracht. Das werden Sie allerdings auch kaum erwartet haben. Enttäuschen aber — sei es positiv, sei es negativ — wird Sie vielleicht meine Feststellung, dass ich Ihnen auch keine *grundsätzlich* andere Lehrweise empfehlen kann, als sie meines Wissens in den Gymnasien der Schweiz praktiziert wird. Diesen Unterricht möchte ich kurz und aufs Typische gestrafft wie folgt charakterisieren:

1. Der Unterricht wird stark theoretisch-deduktiv geführt.
2. Er ist auf die allgemeine Chemie hin ausgerichtet; stoffliche Details dienen vor allem zur Verdeutlichung allgemeiner Zusammenhänge.

\* Manuskript eines Vortrages, der am 11. Januar 1984 am Institut für physikalische Chemie der Universität Basel gehalten wurde.

3. Die Experimente (im Praktikumsunterricht) haben primär bestätigenden (oder differenzierenden) Charakter; sie weisen theoretisch durchschaute Gesetze an konkreten Einzelfällen auf (oder entfalten sie weiter). Ich glaube, dass diese Art des Unterrichts den gegebenen Umständen angemessen ist. Dabei gehe ich davon aus, dass die Lernenden Schüler der Oberstufe des Gymnasiums sind, die zwei bis zweieinhalb Jahre lang Chemie mit 4 bis 5 Wochenstunden pro Jahr betreiben. Schüler dieser Klassen im Alter von 17 bis 19 Jahren sind lerntheoretisch als lerngeübte junge Erwachsene einzuordnen. Bei Lernenden dieser Art spielt sprachliche Anweisung eine wichtige Rolle. Sie verfügen über einen grossen Wortschatz und kennen die Bedeutung vieler Worte; sie sind leicht imstande, sprachliche Ketten aufzubauen und Unterscheidungen auch feinerer Art zu treffen. So kennen sie z.B. die Bedeutung der Worte «heterogen» und «Mischung». Hat man ihnen nun den Begriff «heterogene Mischung» verbal vermittelt, so sind sie schnell in der Lage, mehrere Arten von stofflichen Systemen, z.B. eine Suspension, Rauch oder Nebel als «heterogene Mischungen» zu identifizieren und andere Systeme — z.B. eine Wasser-Alkohol-Mischung oder eine Zuckerlösung — als «homogene Mischung» davon abzugrenzen. Hinzu kommt eine ausgeprägte Fähigkeit des Lernens per Definition. Wenn ein Atom als der kleinste Teil eines Elements definiert wird, und wenn vom Molekül gesagt wird, dass es aus mehreren Atomen des gleichen Elements oder verschiedener Elemente bestehe, so sieht der Lerngeübte und abstrakt Denkende leicht ein, dass es Moleküle von Elementen und Moleküle von Verbindungen gibt. Weiss er ausserdem, dass die Atome verschiedener Elemente unterschiedliche Massen haben, dass bei Atomen eines Elements aber die Masse gleich ist, so sieht er die Gesetze von den konstanten und multiplen Proportionen sofort ein und erkennt — andersherum aufgeklärt — dass sie ein sehr starkes Argument für die Richtigkeit der Atomvorstellung sind. Anhand der genannten Beispiele wird auch deutlich, dass es bei entwickeltem Abstraktionsvermögen sinnvoll ist, zusammenhängende Begriffsgefüge in relativ schneller Folge zu erlernen, weil die einzelnen Begriffe einander stützen und sich durch Abgrenzung verdeutlichen, wie dies z.B. bei den Begriffen

*ionische Bindung - kovalente Bindung* oder *Ionenverbindungen — Molekülverbindungen — Festkörperverbindungen* sichtbar der Fall ist.

Diesen lerntheoretischen Befunden entspricht die Motivationslage. Es ist recht aussichtslos, in dieser Altersstufe einen überwiegend induktiv geführten Unterricht treiben zu wollen. Ein frisch-fröhlicher Experimentalunterricht mit möglichst viel Schülerexperimenten, der Phänomene vielfältig erleben lässt, zu einer Reihe verallgemeinerungsfähiger Befunde führt (die dann schliesslich theoretisch überwölbt werden)

und — last not least — eine empirische Einstellung formt: Ein solcher Unterricht ist in der gymnasialen Oberstufe nicht mehr zu realisieren. Er scheitert an der Interessenlage der Schüler. Zwar ist es Gott sei Dank so, dass in unserer verkopften Schule vom manuellen Experimentieren auch in der Oberstufe noch ein gewisser Reiz ausgeht, den wir uns als Lehrer selbstverständlich zunutze machen sollten. Aber eine dauerhafte und starke Motivationshilfe stellt dieser Reiz nicht dar. Die Intention dieser Schüler ist vielmehr auf das System der erklärenden Regeln gerichtet, in dem man sich logisch-ableitend bewegen kann, aus dem heraus man also Prognosen für den Einzelfall zu treffen vermag. Dieses System möchte man kennenlernen und anwenden, nicht aber erneut induktiv herleiten und «beweisen». In dieser Altersstufe muss eher die Theorie zum Experiment motivieren als umgekehrt. Dieser Situation wird das oben umrissene unterrichtliche Vorgehen gerecht, und darum bietet es die Chance, in einer leistungsfähigen Altersstufe relativ viel Chemie zu lehren und zu lernen.

Diesen möglichen Positiva stehen allerdings gewichtige Negativa gegenüber, denen wir uns jetzt zuwenden müssen:

1. Die Entscheidungsfunktion des Experiments wird nicht deutlich. Es besteht die Gefahr, dass die Schüler die Chemie nicht als *empirische Wissenschaft* empfinden. Dies gilt vor allem für den praktikumsfrei geführten Unterricht; aber auch im Praktikum dienen die Experimente vor allem der beispielhaften Konkretisierung bekannter, theoretisch durchschaubarer allgemeiner Gesetzmässigkeiten; es handelt sich gewissermassen um auf den Labortisch herunter geholte Deduktionen. Das ist etwas anderes als die Ermittlung von Gesetzmässigkeiten durch experimentelle Prüfung von Vermutungen.

2. Das schnelle Eindringen in Begriffs- und Regelgefüge birgt die Gefahr des *Verbalismus* in sich. Verbalismus besteht im sprachlich richtigen Gebrauch von Begriffen, deren Bedeutung für den Sprecher diffus bleibt, weil er sie nicht in konkreten Problemsituationen erfahren hat. Der Gebrauch solcher verbal gelerten Begriffe ist für den Lernenden nutzlos, «wenn er nicht zuvor den Begriff in Bezug auf eine Klasse konkreter Situationen kennt. Es ist anzumerken, dass diese Beobachtung weitreichende Implikationen für die Unterrichtspraxis enthält. Hier liegt beispielsweise die fundamentale Begründung für die praktische Labortätigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht. Begriffe können durch sprachliche Mittel mobilisiert werden... Aber um passende Werkzeuge für das Nachdenken über und die Auseinandersetzung mit der realen Welt abzugeben, müssen Begriffe auf aktuelle Reizsituationen rückführbar sein. Diese liefern ihnen eine operationale Bedeutung, die auf keine andere Weise zu gewinnen ist» [1]; sie fehlt also beim Verbalisten.

3. Der dritte Nachteil ist mit dem zweiten verknüpft: Wenn die deduktive Plausibilität schon den Rückgriff auf experimentelle Erfahrungen im Schullabor als zweitrangig oder gar überflüssig erscheinen lässt, so gilt dies a fortiori für den Rückgriff auf Erfahrungen aus der Lebenswelt. Der Unterricht beschränkt sich weitgehend auf Probleme, die bei der Knüpfung des Netzes chemischer Begriffe auftreten. In der Sicht des Schülers *schrumpft Chemie auf das, was im Unterricht abläuft*; bei der Bewältigung von Lebenssituationen scheinen ihm chemische Kenntnisse wenig hilfreich zu sein. Dies gilt sowohl für Situationen, in denen er sich der Natur, der natürlichen Umwelt, gegenübergestellt sieht, als auch bei seinen Begegnungen mit der vom Menschen geschaffenen Umwelt, der gesellschaftlich gestalteten Umwelt, wie man heute gern sagt. Es ist nicht verwunderlich, dass infolgedessen auch die Motivation schrumpft. Zwar spielt die oben geschilderte intrinsische Motivation — also die Freude daran, sich in einem konsistenten Begriffssystem erklärend und ableitend zu bewegen — im Unterrichtsgeschehen eine wichtige Rolle, aber sie wirkt nur bei einem Teil der Schüler, und selbst bei diesen bedarf sie der Ergänzung.

## 2. Massnahmen, durch die sich die Nachteile verringern lassen

Ziehen wir ein kurzes Zwischenfazit. Zwar ist, wie ich meine, Ihre generelle Unterrichtsmethodik Ihren herangewachsenen Schülern angemessen, aber sie hat schwerwiegende Nachteile. Wie lassen sie sich vermeiden oder doch deutlich verringern? Dazu scheinen mir fünf Gruppen von Massnahmen besonders geeignet:

1. «Rettet die Phänomene» (*Wagenschein*).
2. Bauen Sie kurze problemlösende Phasen in den Unterricht ein.
3. Lassen Sie zur Wiederholung und Übung das Gelernte auf Phänomene oder Fragestellungen anwenden, die im Lernprozess nicht auftraten.
4. Beziehen Sie Ereignisse oder Entwicklungen aus der Geschichte der Chemie in den Unterricht ein, die
  - Chemie als Ergebnis der Tätigkeit kreativer, kooperierender Menschen zeigen;
  - Charakteristika der empirischen Naturwissenschaft Chemie erkennen lassen.
5. Greifen Sie beispielhaft Probleme aus dem Bereich «Chemie, Gesellschaft, Umwelt» auf, *jedoch nicht ohne die Erörterung sozialhistorisch auszuweiten*.

### 2.1. Zur «Rettung der Phänomene»

Mit *Wagenschein* bin ich der Auffassung, dass das Feld des Schulunterrichts nicht (allein) «die hastig bestiegene Ebene der physikalischen Begriffe» ist. «Das Feld der Schule ist der Weg zwischen den Phänomenen und der physikalischen Denkwelt, hin und auch immer wieder zurück» [2]. Dieser aus dem Kontext

gelöste Satz legt den Einwand nahe, jede Naturwissenschaft bewege sich doch zwischen empirischen Befunden und theoretischer Deutung, aber dieser Einwand geht fehl. *Wagenschein* zielt auf jene Basisphänomene, die man weithin für so selbstverständlich hält, dass sie nicht mehr Bestandteil des Unterrichts sind. Nehmen Sie sie wieder auf! Zeigen Sie den Schülern die «Brownsche Bewegung» nicht nur als Zick-Zack-Linie im Buch, sondern als wirklichen Vorgang, etwa die Bewegung von Teilchen des Zigarettenrauchs im Leyboldschen Rauchkammerchen oder das Zittern der Fettröpfchen in verdünnter Milch. Das Phänomen ist eindrucksvoll, und der Schluss von den sichtbaren gestossenen Teilchen auf die unsichtbaren stossenden vergisst sich nicht, weil er mit der Erinnerung an eine Betrachtung von Wirklichem einhergeht. Ein weiteres Beispiel: Gase nehmen einen Raum ein, jeder Schüler wird es Ihnen verbal bestätigen. Verzichten Sie dennoch nicht auf den Versuch, bei dem ein Analysen-trichter durch einen Gummistopfen geschoben wird, der im Hals einer Saugflasche steckt. Schiebt man auf die Olive der Flasche ein Stückchen Schlauch und klemmt ihn zu, so kann man den Trichter mit Wasser füllen, ohne dass es in die Flasche fliesst; beim Öffnen des Schlauchstücks aber geschieht dies kontinuierlich und quantitativ. Auch das ist für manchen theoretisch informierten, aber an Erfahrung armen Schüler ein kleines Aha-Erlebnis. Ausserordentlich eindrucksvoll ist der Versuch, bei dem man Wasser oder Alkohol im Exsikkator durch Druckverminderung zum Sieden bringt; dieser tatsächliche Befund trifft viele Schüler unerwartet. (Dies auch dann, wenn das Zustandsdiagramm vorher theoretisch behandelt worden ist; soviel Wirklichkeitserfassung hatte man ihm gar nicht zugetraut.) Verzichten Sie beim Unterrichtsgegenstand «Elektrochemie» auch nicht darauf, auf einem Zinkblech einen Kupferüberzug dadurch zu erzeugen, dass Sie dieses Blech einfach in eine Kupfersalzlösung halten, und auf analoge Weise ein Kupferblech mit einer Silberschicht überziehen (wobei ich eine Versuchsausführung im Auge habe, die zu deckenden, metallisch glänzenden Überzügen führt, nicht zu einem schwarzen Schlamm). Viele Schüler erwarten solche Effekte beim Einsatz elektrischen Stromes, weil sie etwas über das Galvanisieren gehört haben. Dass es ohne Strom geht, überrascht und beeindruckt sie, was der Erörterung der Spannungsreihe zugute kommt. Eine Kombination von zwei Halbelementen, die einen Minimotor treibt, vervollständigt diese kleine Versuchsreihe. — Bei der Umsetzung einer Säure mit Alkohol entstehen ein Ester und Wasser. Führt man diesen Versuch mit Toluol als Lösungsmittel durch, und kreist man das entstehende Wasser aus, identifiziert es durch Siedepunkt und weisses Kupfersulfat — dann ist dieses Entstehen von Wasser erlebte Realität und damit etwas ganz anderes als das Auftreten von H<sub>2</sub>O in einem Reaktionsschema, und sei es noch so plausibel!

Meine grundsätzlichen Äusserungen zu Ihrem Unterricht sind wohl so deutlich ausgefallen, dass nicht der Verdacht aufkommt, ich plädierte für einen theoretisch anspruchslosen, um nicht zu sagen primitiven Chemieunterricht. Die vorgeschlagenen Experimente nehmen dem Unterricht nichts weg! Sie verknüpfen aber theoretische Überlegungen mit erlebter Wirklichkeit. Dies zeigt die Relevanz des Unterrichts und erhöht unsere — der Lehrenden — Glaubwürdigkeit. Glaubwürdigkeit ist hier nicht im Sinne induktiven «Beweisens» gemeint (von Induktion ist in diesem Zusammenhang keine Rede), sondern im Sinne des gesunden Menschenverstandes: Es gibt erstaunliche Phänomene, die des Verständlichmachens aus Ursachen bedürfen! — Ich streite nicht ab, dass es auch im Praktikumsunterricht einzelne Versuche geben mag, die die beschriebene Wirkung ausüben. In der Regel sind diese Versuche aber spezieller und theoriebestimmter Art; ich hatte sie eingangs als «auf den Labortisch heruntergeholte Deduktionen» bezeichnet.

## 2.2. Zum Einbau kurzer, problemlösender Phasen

Kurze problemlösende Phasen unterbrechen den nachvollziehenden Aufbau der Hierarchie chemischer Begriffe und Regeln; sie appellieren an andere Fähigkeiten des Schülers, und dies wirkt — wie jede methodische Abwechslung — anregend, unter Umständen sogar herausfordernd. An drei Beispielen möchte ich ein solches Vorgehen verdeutlichen.

Das erste ist ganz einfacher Art. Die Brönstedtsche Säure-Base-Theorie soll erarbeitet und als sinnvoll erkannt werden. Vorausgesetzt sei, dass die Arrheniusche Definition den Schülern bekannt ist und durch Kenntnis von mehr Substanzen auf eine breitere Basis gestellt werden soll. Dazu untersuchen die Schüler eine Reihe wässriger Lösungen von verschiedenen Stoffen mit Indikatoren auf eine alkalische oder saure Reaktion hin. Der Einsatz von Stoffen, die schon durch ihre Benennung als Säuren oder Laugen erkennbar sind, führt zum erwarteten Ergebnis (Essigsäure, Ameisensäure, Zitronensäure, Oxalsäure, Kalilauge), Kalkwasser und Barytwasser treten als Laugen hinzu. Auch Salze werden in die Untersuchung einbezogen. Dabei zeigt sich, dass zwar die Lösungen von Natriumchlorid und Kaliumnitrat neutral reagieren — wie erwartet — dass aber die Lösung von Natriumacetat alkalisch reagiert. Warum? Im Gitter dieses Salzes gibt es doch keine Hydroxidionen, die sich im Wasser hätten verteilen können. Die Schüler finden die Lösung, spätestens dann, wenn der Lehrer ihre Aufmerksamkeit auf das polarisierte  $H_2O$ -Molekül gelenkt hat. Der überraschende Befund lässt die Frage aufwerfen: Gibt es auch Salze, deren wässrige Lösung sauer reagiert, obwohl sie keine Protonen im Gitter enthalten? Ja! Experimentell wird festgestellt, dass eine wässrige Lösung von Ammoniumchlorid sauer reagiert. Wiederum bemühen sich die Schüler mit Erfolg

um eine Erklärung. Sie sehen auch ein, wie vorteilhaft es ist, solche protolytisch aktiven Anionen und Kationen in die Säure-Base-Definition mit einzubeziehen; ebendies ist das Ziel *Brönstedts*.

Ein zweites Beispiel: Sie wollen die Tetraederstruktur des Methans erarbeiten lassen; die Schüler sollen also die Winkel herausfinden, die die Bindungen des gesättigten Kohlenstoffatoms miteinander bilden [3]. Der Lehrer gibt vor, dass die Valenzelektronenpaare einander abstossen, infolgedessen also die Anordnung verwirklicht wird, bei der diese Elektronenpaare (und damit die Bindungspartner) den grösstmöglichen Abstand voneinander haben. Sofort gefunden wird dann eine Anordnung mit vier  $90^\circ$ -Winkeln. Der Lehrer beharrt darauf, dass dies nicht die wirkliche Anordnung sei; es gebe eine mit vier ebenfalls gleichen, aber grösseren Bindungswinkeln. (Sie können ausserdem darauf verweisen, dass die von den Schülern vorgeschlagene Struktur zwei unterschiedliche Disubstitutionsprodukte voraussehen lasse, die man aber nicht habe finden können). Falls nötig, kann man den Schülern dadurch auf die Sprünge helfen, dass man sie nach anderen Anordnungen mit ebenfalls  $90^\circ$ -Winkeln fragt. Dem einen oder anderen fällt dann ein, dass eine Bindung ja auch senkrecht auf der Papier- oder Tafelenebene stehen kann. Das löst zwar nicht das Problem (im Gegenteil: der ausserhalb der Ebene liegende Bindungspartner ist einem der drei anderen näher als vorher), aber die Aufmerksamkeit der Schüler ist nun auf die dritte Dimension des Raumes gelenkt.

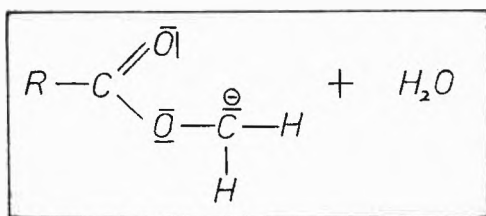
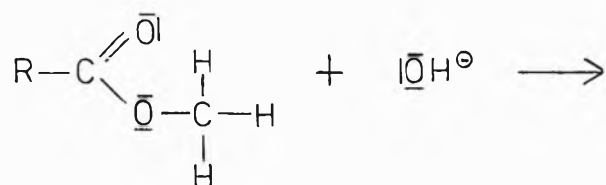
Leichter und quantitativ exakter gelingt die Problemlösung mit Hilfe *dieser* Vorrichtung\* [4]. Je drei Schüler erhalten ein solches Bündel und werden aufgefordert, zunächst zwei, dann drei und schliesslich alle vier Kugeln so anzuordnen, dass die Abstände zwischen ihnen gleich und möglichst gross sind. Die lineare Konfiguration und auch die ebene Anordnung mit  $120^\circ$ -Winkeln werden leicht gefunden. (Die Winkel werden mit einem grossen Winkelmesser bestimmt, darum muss die Gruppe drei Schüler umfassen: zwei zum Halten der Fäden, einen zum Messen.) Bei der Vierer-Anordnung tritt wiederum das ebene Kreuz mit  $90^\circ$ -Winkeln auf, daneben aber auch die richtige Anordnung mit Winkeln von «ungefähr  $110^\circ$ », die nun als «tetraedrisch» bezeichnet wird. Sie allein erfüllt die Bedingungen. (Das ebene Kreuz täuscht dies nur vor, weil man sich bei der Prüfung gern auf die je benachbarten Atome beschränkt und übersieht, dass der Abstand zwischen gegenüberliegenden Atomen wesentlich grösser ist.)

Ein drittes, komplizierteres Beispiel: Thematisiert wird die alkalische Spaltung von Estern [5]. (Den Schülern sind Carbonsäuren und Alkohole aus dem

\* Es handelt sich bei ihr um zwei bunte Schnüre von etwa 60 cm Länge, die an den Mittelpunkten miteinander verknüpft wurden. An den so entstehenden vier Enden sind Holzkugeln von etwa 4 cm Durchmesser befestigt.

vorhergehenden Unterricht bekannt; von Estern kennen sie die Strukturformel mit der funktionellen Gruppe -COOR.) Auf Aufforderung des Lehrers führen die Schüler die Rojahn-Probe durch; sie geben also das Rojahn-Reagenz\*\* zu einem (ihnen nicht näher benannten) Ester; nach kurzer Zeit entfärbt sich das Reaktionsgemisch. Die Schüler schliessen daraus, dass Hydroxidionen verbraucht werden. Welche Reaktion gehen sie ein?

Schüler eines 11. Schuljahres äusserten dazu folgende Vermutungen:\*\*\* Estermoleküle geben Protonen an Hydroxidionen ab, wobei «Ester-Ionen» und Wasser entstehen:

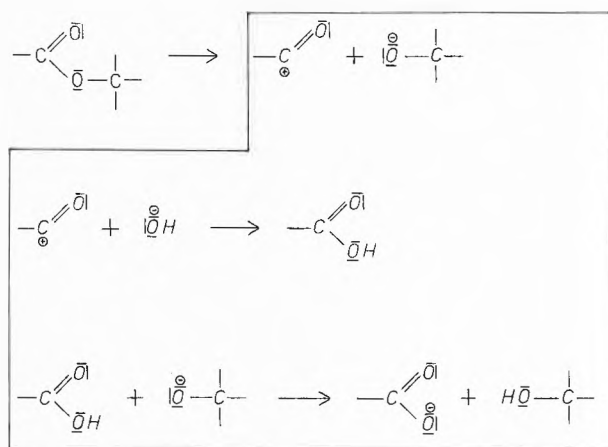


Dem widersprachen andere; von Wasserstoffatomen am Kohlenstoffatom sei eine solche Reaktion nicht zu erwarten. Nicht der Ester, sondern das Hydroxidion selbst gebe ein Proton ab und gehe dabei in das Oxid-Anion über. Dagegen wurde eingewandt, dass das Oxid-Anion mit Wasser wieder unter Bildung von Hydroxidionen reagieren würde, deren Konzentration sich also nicht verringere. Schliesslich brachte ein Schüler eine ganz andere Möglichkeit ins Gespräch ein: Zunächst könne doch das Estermolekül aufgespalten werden, und eines der Spaltstücke könne mit den Hydroxidionen reagieren. Daraufhin formulierten die Schüler folgendes Spaltungsschema (2):

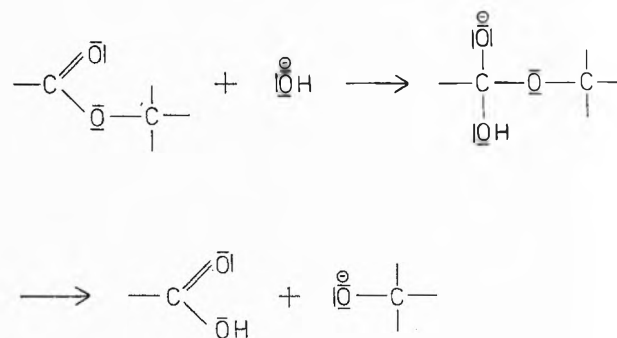
Das beim ersten Schritt entstehende positive Ion ist ein guter Partner für ein Hydroxidion; beide gehen in ein Carbonsäuremolekül über. Dieses gibt dann ein Proton an das andere Spaltstück ab, ein stark basisches Alkoholat. Trifft dieses Schema zu, so müsste ein Alkohol entstehen, und die Schüler schlugen vor,

\*\* Das Rojahn-Reagenz ist eine wässrig-alkoholische Natronlauge, die mit Phenolphthalein rot gefärbt ist.

\*\*\* Sowohl die Konzeption des geschilderten Unterrichtsabschnittes als auch der Bericht über die Erfahrungen, die bei seiner praktischen Erprobung gesammelt wurden, stammen von A. Gramm und E. Sumfleth [5]. Die von den Schülern selbst an der Tafel fixierten Formelvorschläge sind durch Kursivschrift und Einrahmen gekennzeichnet.



diesen mit Cerammonitrat nachzuweisen. Zu diesem Zweck muss natürlich der Ester mit wässriger Natronlauge erwärmt werden, und tatsächlich lässt eine Probe dieses Reaktionsgemischs die Farbe der Cerammonitrat-Lösung von rosa nach tiefrot umschlagen. Die Schüler fühlen sich bestätigt, und der Lehrer bestätigt ihnen, dass ihre Vermutungen und Schlüsse bezüglich der Endprodukte richtig sind, bezüglich des Reaktionsablaufs den Vorstellungen der Chemiker nahekommen. Allerdings seien diese der Meinung, dass zuerst die Anlagerung des Hydroxidions erfolge, und dann die Spaltung:



Dabei stellt der Lehrer die positive Partialladung am Carbonyl-Kohlenstoffatom heraus, ebenso die Fähigkeit des Carbonyl-Sauerstoffatoms, ein Elektronenpaar der Doppelbindung allein zu übernehmen. Dieses Wissen ist für das Verständnis weiterer Reaktionswege wichtig, z.B. auch für das Entstehen von Estern unter saurer Katalyse.\*

### 2.3. Zur Wiederholung und Übung

Meine dritte Empfehlung richtet sich auf die Wiederholung und Übung. Jeder Praktiker weiss, dass ohne sie kein dauerhafter Lernerfolg eintritt. Viel mehr aber weiss man nicht, die Psychologen lassen uns hier weitgehend allein. Das Wenige, was bekannt ist, lässt sich folgendermassen zusammenfassen [6]:

a) Auch sinnvolle Texte bedürfen der Wiederholung.

\* Fussnote siehe folgende Seite!

Auf diese Weise gelangt das flüchtig Aufgenommene in den Langzeitspeicher des Gedächtnisses.

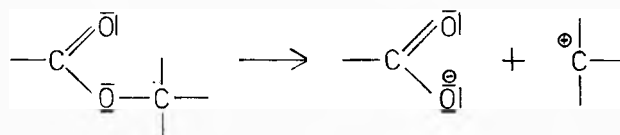
b) Eine Häufung reiner Einprägungswiederholungen trägt wenig zum Aufbau einsichtig erfasster Denkstrukturen bei. Sie begünstigt die Langeweile und lässt die Motivation schwinden.

c) Für die Wiederholung ist eine variierte Form der Darbietung günstig. Aber: «Dies sollte nicht zu einer Überstrapazierung des Begriffs Variation Anlass geben. Wie sich zeigt, wird eine vom Lernprozess selbst allzu verschiedene Nacharbeitung nicht mehr als Wiederholung empfunden» [7]. Sie erscheint als konkurrierendes Neulernen.

d) Die Wiederholung sollte nicht unmittelbar nach dem Lernprozess stattfinden. Sie wirkt bei zeitlicher Distanz besser.

Die Punkte b und c weisen uns an, die Wiederholung nicht in Form einer identischen Reproduktion ablaufen zu lassen. *Statt dessen sollte der Lehrer die Schüler mit etwas Neuem konfrontieren*, dessen Bewältigung die Formulierung und Anwendung des zu wiederholenden Stoffes erfordert. Nehmen wir z.B. an, es seien die Aggregatzustände besprochen und mit dem unterschiedlichen Ordnungszustand und Bewegungsverhalten der Teilchen erklärt worden. Zur Sprache (und hoffentlich auch zur Veranschaulichung im Modell!) kam also, dass die Teilchen eines Stoffes im festen Zustand dieses Stoffes regelmässig und dicht beieinander angeordnet sind, dass sie im flüssigen Zustand ungeordnet aneinander vorbeigleiten, und dass sie sich im gasförmigen Zustand voneinander getrennt haben, um sich innerhalb eines vergrößerten Raumes schnell zu bewegen. Die Wiederholung dieser Sachverhalte könnte von einer bildlichen Darstellung ausgehen (siehe Abb. 1). Sie zeigt das Verhalten je eines gasförmigen, flüssigen und festen Stoffes unter Druck. Die Schüler erkennen (und der Lehrer vergewissert sich dessen): Gase kann man stark komprimieren, Flüssigkeiten ganz wenig, feste Stoffe nicht. Was

\* Während des geschilderten Ablaufs der Problemlösung hält sich der Lehrer weitgehend zurück. Nur in einem Falle kommt er nicht umhin, sein besseres Wissen zur Geltung zu bringen: wenn nämlich (wie im Unterricht geschehen) in der Folge des ersten Spaltungsvorschlages ein anderer gemacht wird, und zwar dieser:



Er wird empfohlen durch die einleuchtende Feststellung, so komme man viel schneller zum Alkohol; das Hydroxidion könne nun unmittelbar mit dem positiven Ion reagieren. Man kann in dieser Situation die Schüler noch dazu anregen, den unterschiedlichen Verbleib des Sauerstoffatoms festzustellen und die Idee einer «Kennzeichnung» der Atome zu entwickeln; dann aber muss man mitteilen, dass die Ergebnisse bei Versuchen mit «gekennzeichneten» (isotopen) Sauerstoffatomen die zweitgenannte Spaltungsart für die überwiegende Mehrheit der Ester ausschliessen.

mag die Ursache dieses unterschiedlichen Verhaltens sein? Bei der Begründung kommt das mikroskopische Bild der Aggregatzustände noch einmal ausführlich zur Sprache und wird mit einem zusätzlichen empirischen Befund verknüpft.

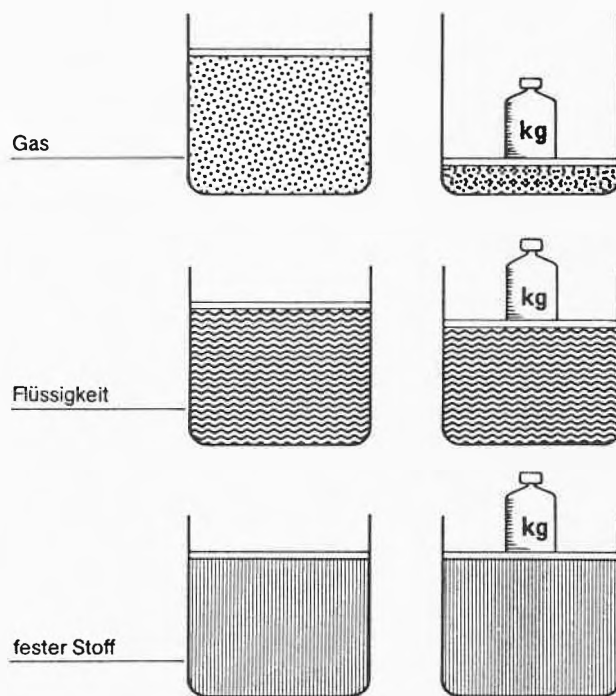


Abb. 1: Graphische Darstellung zur Verdeutlichung der Kompressibilität gasförmiger, flüssiger und fester Stoffe, die zur wiederholenden Erörterung der Anordnung und Bewegung von Teilchen in den drei Aggregatzuständen anregen kann. Näheres siehe im Text.

Das ist ein recht einfaches Beispiel. Aber solche Möglichkeiten intelligenten Wiederholens und Übens lassen sich auch bei komplexeren Lehrgehalten finden; hier dürfte es sogar leichter sein. Nehmen wir an, Sie hätten die kovalente Bindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen mit dem Einander-Durchbringen zweier  $sp^3$ -Hybridorbitale verständlich gemacht. Die Schüler kennen Orbitale als Raumgebiete um den Atomkern, in denen (korpuskuläre) Valenzelektronen sich bewegen. Sie vollziehen nach, dass im Durchdringungsgebiet eine hohe negative Ladungsdichte auftritt (weil es von zwei Elektronen «befahren» wird), dass dieses Gebiet anziehend auf beide positiven Kerne wirkt, und dass die Kerne dieser Anziehung so lange folgen, bis ihre gleichsinnige Ladung zu einer Abstoßung führt, die der Anziehung durch das Durchdringungsgebiet die Waage hält. Die Schüler erkennen auch, dass diese bei einem bestimmten Abstand eintretende Kompensation einen Zustand minimaler Energie darstellt. Will man nämlich den Abstand vergrößern, so muss man Arbeit gegen die anziehende Kraft des Durchdringungsgebietes leisten; will man ihn verkleinern, so muss man gegen die Abstoßung anarbeiten, die beide Kerne aufeinander ausüben. Das Energie-

Abstands-Diagramm bringt diesen Sachverhalt zum Ausdruck (siehe Abb. 2). Diesen relativ stabilen Zustand geringer Energie nennen wir eine Bindung.

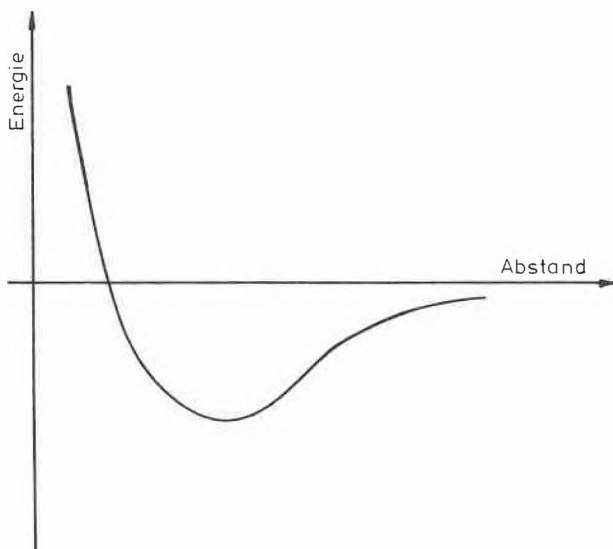


Abb. 2: Energie-Abstands-Diagramm (nur bindender Zustand) für eine C..C-Einfachbindung ( $\sigma$ -Bindung). Näheres siehe im Text.

In der darauffolgenden Stunde nun beginnt der Lehrer nicht mit der Wiederholung, sondern er behandelt zunächst die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung. Bei ihr tritt zu einer Durchdringungszone in der Kernverbindungsline noch ein zweigeteiltes zusätzliches Durchdringungsgebiet oberhalb und unterhalb dieser Linie. Dies stellt der Lehrer dar, mehr nicht. Dann konfrontiert er die Schüler mit einem Graphen (Abb. 3) und bittet sie, ihm folgendes zu erklären (aus Ursachen verständlich zu machen):

a) Warum liegt das Energieminimum bei der Doppel-

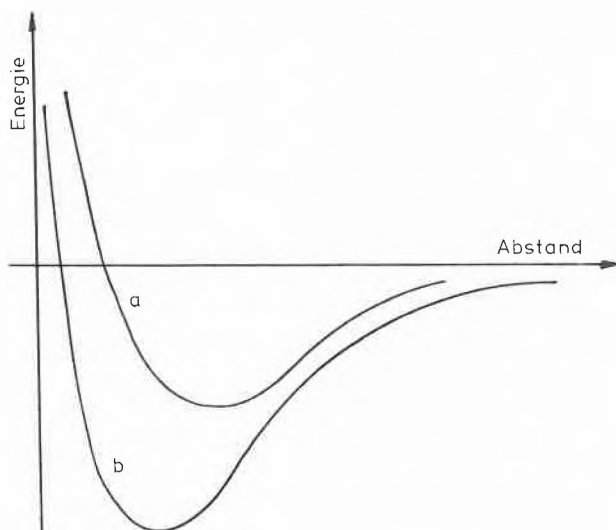


Abb. 3: Energie-Abstands-Diagramm (nur bindende Zustände) für eine C..C-Einfachbindung (a) und Doppelbindung (b).

bindung bei einem kürzeren Abstand als bei der Einfachbindung?

b) Warum liegt das Energieminimum bei der Doppelbindung tiefer?

Bei der Antwort auf beide Fragen muss auch der Gehalt der vorangegangenen Stunde verstehend zur Sprache gebracht werden.

Als drittes Beispiel sei eines mit mittlerem Schwierigkeitsgrad benannt. Es soll unter anderem zeigen, dass auch eine umfangreichere Wiederholung durch Erörterung von neu Erfahrenem angestossen werden kann. Anstoss zur Wiederholung gibt in diesem Fall ein Phänomen. Angenommen sei, dass der Lehrer nach einem entsprechenden Unterrichtsabschnitt die Begriffe Gitterenergie, Hydratationsenergie, die Konkurrenz von beiden beim Lösungsvorgang, und die Herabsetzung der Gefrieretemperatur von Lösungen wiederholen möchte. Zu diesem Zweck lässt er zu Beginn der Stunde von einigen Schülern vor den Augen der anderen zwei Lösungen und ein Gemisch herstellen:

- einmal eine Lösung von wasserfreiem Calciumchlorid in Wasser;

- zum anderen eine Lösung von Calciumchlorid mit 6 Molekülen Kristallwasser in Wasser;

- zum dritten ein Gemisch aus dem wasserhaltigen Salz und Eis.

Alle Schüler beobachten, was dabei geschieht: Die Temperatur der erstgenannten Lösung steigt, die der zweiten sinkt, die des Gemisches sinkt extrem. «Warum?» — so fragt der Lehrer und fragen die Schüler sich selbst. Wiederum ist der sinnvolle Einsatz (und damit eine verstehende Wiederholung von Gelerntem) erforderlich.

#### 2.4. Zur Einbeziehung von Ereignissen und Entwicklungen aus der Chemieggeschichte

Als erstes der Beispiele, die die empfohlene Einbeziehung der Chemieggeschichte in den Unterricht verdeutlichen sollen, nenne ich einen geradezu klassischen Topos dieser Geschichte: die Aufstellung der Benzolformel durch Kekulé im Jahre 1865. Die Strukturtheorie der Aliphaten hatte dank Couper, Kekulé und Butlerow grosse Fortschritte gemacht; man kannte den Bau vieler Kohlenwasserstoffe und konnte sogar die Strukturisomerie erklären. Aber das Benzol schien sich dieser Theorie zu entziehen. Elementaranalyse und Molmassenbestimmung forderten eine  $C_6H_6$ -Einheit. Wie sollte aber ein solches Molekül gebaut sein? Die Lösung dieses Problems hielt Kekulé für ausserordentlich wichtig.

«Wann immer Kekulé ... mit Kollegen zusammentraf, wies er unerschütterlich darauf hin, dass die Benzolformel gefunden werden müsse, wenn man in der organischen Chemie vorankommen wolle ... Allmählich begann man schon, sich über Kekulé lustig zu machen. Gerade 31 Jahre alt, war er starrsinnig wie ein Neunzigjähriger. Schliesslich gab es noch genug zu erforschen; musste es denn unbedingt das verdammte Benzol sein?» [8].

Aber *Kekulé* suchte unverdrossen über fünf Jahre hinweg nach einer Lösung. Wie er sie fand, hat er selbst beschrieben:

«Während meines Aufenthaltes in Gent in Belgien bewohnte ich elegante Junggesellenzimmer in der Hauptstrasse. Mein Arbeitszimmer aber lag nach einer engen Seitengasse und hatte während des Tages kein Licht. Für den Chemiker, der die Tagesstunden im Laboratorium verbringt, war dies kein Nachteil. Da sass ich und schrieb an meinem Lehrbuch; aber es ging nicht recht; mein Geist war bei anderen Dingen. Ich drehte den Stuhl nach dem Kamin und versank in Halbschlaf. Wieder gaukelten die Atome vor meinen Augen. Kleinere Gruppen hielten sich diesmal bescheiden im Hintergrund. Mein geistiges Auge, durch wiederholte Gesichte ähnlicher Art geschärft, unterschied jetzt grössere Gebilde von mannigfacher Gestaltung. Lange Reihen, vielfach dichter zusammengefügt; alles in Bewegung, schlangenartig sich windend und drehend. Und siehe, was war das? Eine der Schlangen erfasste den eigenen Schwanz und höhnisch wirbelte das Gebilde vor meinen Augen. Wie durch einen Blitzstrahl erwachte ich; auch diesmal verbrachte ich den Rest der Nacht, um die Konsequenzen der Hypothese auszuarbeiten» [9].

Bei allem Respekt vor den Grossen der Wissenschaft muss man solche Schilderungen nicht unkritisch nachvollziehen, auch nicht in der Schule! Der Psychologe *Guilford* hat wohl nicht unrecht, wenn er meint, solche Berichte seien eher dramatisch als überprüfbar [10]. Dennoch lassen *Kekulé's* Worte drei Gegebenheiten erkennen, die die Psychologen für einigermaßen gesichert halten:

- Es gibt eine Gerichtetheit auf die Lösung der Aufgabe, die auch bei manifestem Steckenbleiben nicht aussetzt;
- Problemlösungen können als uns einfallend, quasi passivisch, erlebt werden;
- solche Einfälle müssen auf ihre tatsächliche Brauchbarkeit überprüft und gegebenenfalls abgeändert werden [11].

Das tat auch *Kekulé*, indem er z.B. für das regelmässige Sechseck die Möglichkeiten des Auftretens isomerer Derivate untersuchte und mit den bekannten Isomeren verglich. — Das Beispiel verdeutlicht gut, wie Einbildungskraft und kritischer Verstand beim Entstehen von Naturwissenschaft zusammenwirken. Mehrere solcher Beispiele sollten den Schülern zeigen, dass chemische Erkenntnisse trotz intersubjektiver Geltung von Individuen erarbeitet werden, die experimentieren, nachdenken, sich mündlich und schriftlich austauschen und ihre Ergebnisse tradieren. Die Schüler empfinden die Behandlung solcher Aspekte der Naturwissenschaften gewissermassen als Erholungspause von der strengen Intersubjektivität; es treten handelnde Individuen auf, mit denen man sich identifizieren oder über die man den Kopf schütteln kann, die jedenfalls Anteilnahme wecken.

Als zweites Beispiel für eine historische Entwicklung, die man in den Unterricht einbeziehen kann und sollte, sei die Entstehung der Atomtheorie *Dalton's* genannt. Sie ist vor allem aus wissenschaftstheoretischen Gründen interessant; manche Chemiehistoriker meinen, mit ihr beginne die empirische Wissenschaft Chemie. — Um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhun-

dert gab es zwischen *Berthollet* und *Proust* einen lebhaften Streit, der über ein Jahrzehnt lang die wissenschaftliche Öffentlichkeit beschäftigte. *Berthollet* behauptete, die Gewichtsverhältnisse miteinander reagierender Stoffe könnten sich — je nach den Reaktionsbedingungen — stetig ändern; *Proust* dagegen behauptete, diese Verhältnisse seien konstant. Der Streit wurde durchaus empirisch geführt; beide Kontrahenten beriefen sich auf die Ergebnisse von Wägungen. In unermüdlicher und präziser Arbeit vermochte *Proust* seinen Standpunkt durch immer mehr empirische Befunde zu untermauern und gelangte so zum «Gesetz der konstanten Proportionen». *Proust* hat dieses Gesetz induktiv gefunden; durch Verallgemeinerung von Beobachtungsergebnissen gelangte er zu einem empirischen Allsatz. Eine Begründung für diese doch auffallende Gesetzmässigkeit hat *Proust* nicht gegeben, dazu dachte er zu ausschliesslich empirisch. Eine Erklärung des Gesetzes der konstanten Proportionen auf einer theoretischen Grundlage gab *John Dalton* im Jahre 1808. («Erklärung» bedeutet hier ein Verständlichmachen aus Ursachen.) Er griff dazu auf den in der Philosophie bereitliegenden traditionsreichen Begriff des Atoms zurück. Aber nicht dieser Rückgriff ist das Verdienst *Dalton's*; er spricht von den Atomen als von etwas, das jedermann längst bekannt ist. Entscheidend ist, dass *Dalton* den vorhandenen Spekulationen über die Atome keine weiteren hinzufügte; er schrieb vielmehr seinen Atomen Eigenschaften zu, deren Konsequenzen experimentell prüfbar waren. Allen Atomen eines Elements komme — so *Dalton* — die gleiche Masse zu, Atomen unterschiedlicher Elemente aber unterschiedliche Massen. Ist nun Verbindungsbildung aus Elementen ein Zusammentreten von Atomen in einem festen Zahlenverhältnis, so *müssen* sich konstante Proportionen ergeben.

Eine solche Deutung ist offensichtlich etwas anderes als eine Verbreiterung der empirischen Basis durch neue Experimente. Die grosse Fruchtbarkeit der Theorie zeigte sich sofort bei der Formulierung des 'Zweiten Stöchiometrischen Gesetzes', das auch Dalton'sches Gesetz genannt wird. Es ist das Gesetz der multiplen Proportionen. Schon *Proust* hatte entdeckt, dass bei der Verbindungsbildung zwischen manchen Elementen mehrere Proportionen möglich sind. Er fand zum Beispiel, dass Zinn und Sauerstoff sich sowohl im Verhältnis von 88,1% Zinn und 11,9% Sauerstoff als auch im Verhältnis von 78,7% Zinn und 21,3% Sauerstoff miteinander verbinden. *Proust* stiess aber nicht zur Erkenntnis der multiplen Proportionen vor; er begnügte sich damit — gegenüber *Berthollet* — darauf hinzuweisen, dass, wenn schon zwei Elemente in verschiedenen Gewichtsverhältnissen zusammenträten, auch diese Verhältnisse festgelegt und konstant seien,

dass also Zinnoxide mit Gehalten von beispielsweise 87, 86, 85, 84... Prozenten Zinn nicht auftreten. *Dalton* ging darüber hinaus. Er rechnete die verschiedenen Sauerstoffanteile auf die gleiche Masse Zinn um:

$$\frac{88,1 \text{ Teile Zinn}}{11,9 \text{ Teile Sauerstoff}} = \frac{100 \text{ Teile Zinn}}{x}$$

$$x = 13,5 \text{ Teile Sauerstoff;}$$

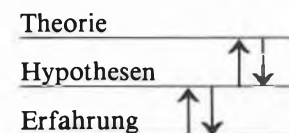
$$\frac{78,7 \text{ Teile Zinn}}{21,3 \text{ Teile Sauerstoff}} = \frac{100 \text{ Teile Zinn}}{y}$$

$$y = 27,0 \text{ Teile Sauerstoff.}$$

13,5 verhält sich zu 27,0 wie 1 zu 2; hier sind an einem Beispiel die einfachen ganzen Zahlen zu erkennen, von denen das Zweite Stöchiometrische Gesetz spricht. *Dalton* hat es durch einfache Proportionsrechnungen aus dem empirischen Material *Prousts* herausgelesen. Für ihn liegt die Deutung des Befundes auf der Hand: Im ersten Falle verbindet sich 1 Atom Zinn mit 1 Atom Sauerstoff; im zweiten Falle verbindet sich 1 Atom Zinn mit 2 Atomen Sauerstoff. Bei der gleichen Masse aller Sauerstoffatome müssen sich also die (mit der gleichen Anzahl von Zinnatomen verbundenen) Sauerstoffmassen wie 1:2 verhalten.

Das historische Beispiel lässt gut erkennen, dass ein empirischer Befund seine Erklärung keineswegs mit sich bringt. Die theoretische Deutung schöpft aus zusätzlichen Quellen. Das Beispiel zeigt weiterhin das Ineinandergreifen von Theorie und Empirie: Einerseits ermöglicht die Theorie die Deutung des empirischen Befundes, andererseits stützt der Befund die Theorie. Erst durch diese Vermittlung entsteht eine empirische Wissenschaft.

Um die Zusammenhänge zwischen Theorie und Empirie angemessen zu verdeutlichen, ist ein dreistufiges (nicht ein zweistufiges!) Schema erforderlich, bei dem sich zwischen die Ebenen der Erfahrung und der Theorie die Ebene der Hypothesen schiebt:



Bei unserem Beispiel, und zwar zunächst beschränkt auf das Gesetz der konstanten Proportionen, wird die Erfahrung durch die *Proustschen* Einzelbefunde repräsentiert: In der Verbindung A ist das Massenverhältnis der anwesenden Elemente konstant, in der Verbindung B ist es konstant, in C ebenfalls und so fort. Die Hypothese ist dann der verallgemeinernde Satz: In ein und derselben Verbindung (gemeint ist: in allen Verbindungen) ist das Massenverhältnis der anwesenden Elemente konstant. Man mag diese Hypothese ein Gesetz nennen, aber in bezug auf die vielen, vielen von *Proust* nicht untersuchten Verbindungen bleibt die Aussage natürlich hypothetisch. Erklärt,

aus Gründen verständlich gemacht, wird dieser Allsatz durch die Theorie *Daltons*. Wir Naturwissenschaftler pflegen gern zu sagen, dass die Theorie aus empirischen Daten von uns erschlossen werde. Diese Formulierung mag hingehen, wenn nicht übersehen wird, dass wir dazu auch theoretische Begriffe und Setzungen heranziehen, die der empirische Befund keineswegs mit sich führt.

Unser Schema kann auch von oben her durchlaufen werden. Die Theorie *Daltons* legt die Überlegung nahe, dass beim Zusammentreffen von Atomen mehrere Zahlenverhältnisse möglich sind; A und B können zu AB, AB<sub>2</sub>, AB<sub>3</sub> zusammentreten. Daraus lässt sich die Hypothese ableiten: In einer solchen Verbindungsreihe müssen sich die Massen von B wie 1:2:3 verhalten. Die empirische Prüfung dieser Hypothese muss an konkreten Einzelbefunden erfolgen; in unserem Beispiel geschah sie (zunächst) anhand des *Proustschen* Erfahrungsmaterials.

Manches spricht dafür, dass *Daltons* Gedankengang so verlaufen ist: Von den konstanten Proportionen zur Theorie, von der Theorie zum Herausfinden der multiplen Proportionen. Wir können diese Reihenfolge auf sich beruhen lassen; eine prinzipielle Bedeutung kommt ihr jedenfalls nicht zu. Keiner der beiden Wege (von unten nach oben, oder von oben nach unten) hat einen prinzipiellen Vorrang vor dem anderen. Die Wissenschaftsgeschichte kennt Exempla für beide. So entwickelten — um zu unserem dritten Beispiel zu kommen — *Bunsen* und *Kirchhoff* um 1860 das Verfahren der Spektralanalyse. Sie gaben sich nicht mehr mit der Färbung zufrieden, die bestimmte Substanzen der Flamme verleihen, in die man sie hineinhält, sondern *Bunsen* und *Kirchhoff* untersuchten diese gefärbten Flammen mit Hilfe eines Prismas. Dabei fanden sie insbesondere heraus, dass jedes chemische Element im gasförmigen Zustand unter gleichen Bedingungen immer das gleiche Linienspektrum aussendet. Dieses Spektrum ist bei jedem Element anders und spezifisch; an ihm kann man das Element erkennen.

Die Spektralanalyse erwies sich als überaus brauchbar. *Bunsen* und *Kirchhoff* selbst entdeckten mit ihrer Hilfe das Rubidium und Caesium, als sie roten und blauen Linien nachgingen, die keinem der bekannten Elemente zuzuordnen waren. Diese Entdeckung geschah zunächst in mineralischer Substanz, dann auch in der Bad Dürkheimer Heilquelle, die *Bunsen* auf Bitten des Kurdirektors hin untersuchte; dabei wurden zur Isolierung von Salzen der beiden Elemente 40 m<sup>3</sup> der Sole eingedampft. Im Jahre 1868 beobachteten *Janssen* und *Lockyer* eine helle gelbe Linie im Spektrum der Sonne, die *Lockyer* einem noch unbekanntem Element zuordnete, das er Helium nannte. Viele Jahre später erst fand man diese Linie auch bei irdischem Material, in einer Gasprobe aus dem Krater des Vesuvus, auch bei Gasen, die man durch Säurebehandlung von Uranmineralien freisetzte.

Diese analytische Brauchbarkeit führte dazu, dass die Spektren mit ständig wachsender Genauigkeit vermessen wurden. Aber diese empirische Arbeit half zunächst nicht weiter; man konnte die Spektren nicht theoretisch deuten. Diese Interpretation geschah erst 1913 durch *Bohr* und in Weiterentwicklung des Bohr'schen Ansatzes durch *Sommerfeld*. *Sommerfeld* schrieb im Jahre 1919:

«Seit der Entdeckung der Spektralanalyse konnte kein Kundiger zweifeln, dass das Problem des Atoms gelöst sein würde, wenn man gelernt hätte, die Sprache der Spektren zu verstehen. Das ungeheure Material, welches sechzig Jahre spektroskopischer Praxis aufgehäuft haben, schien allerdings in seiner Mannigfaltigkeit zunächst unentwirrbar» [12].

So sehr und so lange kann die Empirie der Theorie vorauslaufen!

Den entgegengesetzten Verlauf zeigt die Entdeckungsgeschichte der Elemente Scandium, Gallium und Germanium — um ein viertes Beispiel wenigstens noch zu streifen. Aus einer zweidimensionalen Anordnung der Elemente nach bestimmten Kriterien deduzierte *Mendelejew* die Hypothese, es gebe Eka-Elemente von Bor, Aluminium und Silicium; er sagte eine Reihe von Eigenschaften dieser Elemente und von bestimmten ihrer Verbindungen voraus. Die Hypothese, 1870 aufgestellt, stimulierte die Suche nach diesen Elementen; sie wurden 1875, 1879 und 1886 entdeckt und Scandium, Gallium und Germanium genannt.

Solche einfachen wissenschaftstheoretischen Überlegungen stossen erfahrungsgemäss auf viel Interesse bei den Schülern, zumal wenn sie an historischen Exempla verdeutlicht werden. Daran sollten wir unbedingt anknüpfen; in aller Vielfalt der historischen Abläufe zeigt sich doch immer wieder, wie spekulative Theorie und systemtisch gesuchte Erfahrung in Wechselwirkung treten. Ohne dass wir es ständig formulieren müssen, erfährt der Schüler, dass — wie *Jung* es ausdrückt — die Naturwissenschaften Verbindung mit der Realität liefern, theoretische Entwürfe prüfen und revidieren lehren. Sie sind «eine grosse Schule der realitätsbezogenen kontrollierten Phantasie, eine Medizin gegen Phantasterei» [13].

#### 2.5. Zur Einbeziehung der Sozialgeschichte bei der Behandlung von Fragen aus dem Bereich «Chemie, Gesellschaft, Umwelt»

Mit diesem Punkt hat es eine besondere Bewandnis. Damit meine ich nicht, dass die Einbeziehung von Erörterungen zum Umweltschutz von ungleich höherer Wertigkeit sei als die unter 1 bis 4 empfohlenen Massnahmen. Was die Ausbildung einer dauerhaften — ich betone *dauerhafte* Motivation und die Verwirklichung von Lebensnähe angeht, so steht Punkt 5 in einer Reihe mit den Punkten 1 bis 4. Die besondere Bewandnis besteht darin, dass es m.E. hier nicht genügt (wie bisher geschehen) einzelne Beispiele anzuführen, deren Ausgestaltung und mögliche Wirkung jedermann aus diesem Zuhörerkreis sofort vor Augen ste-

hen. Die Erörterung von Einzelthemen reicht in aller Regel nicht hin, um die verbreitete, emotional fixierte Ablehnung der Chemie so weit in Frage zu stellen, dass eine sachliche Erörterung des jeweiligen Für und Wider erfolgen kann. Hier ist ein intensiver Blick in die Sozialgeschichte wirkungsvoller. Sie erweist die Vorstellung von den guten alten vorindustriellen Zeiten als illusionär und lässt keinen Zweifel daran, dass es die moderne Technik unter wesentlicher Beteiligung der Chemie ist, die uns zu Nahrung, Kleidung, Behausung verhilft und uns die Teilnahme am kulturellen Leben ermöglicht. Für viele wird zwar das Bild der industriellen Technik verdunkelt durch die Massenarmut in der Frühzeit der Industrialisierung, den sogenannten «Pauperismus». Diese Massenarmut wird aber zu Unrecht der industriellen Technik angelastet. Schon Zeitgenossen wiesen darauf hin, dass die Not dort am grössten sei, wo es keine Industrien gebe. So berichtet z.B. der Marburger Professor *Hildebrand* im Jahre 1846 über die Provinz Oberhessen: «Sie besitzt nichts von alledem, was gewöhnlich zu den Ursachen des Pauperismus und des Proletariats gerechnet wird. Sie kennt keine Fabriken und Fabrikarbeiter, keine Spinn-, Dampf- und andere Maschinen, ... sondern in alter patriarchalischer Form herrscht hier neben dem Ackerbau noch der alte Handwerksbetrieb, welcher Gesellen und Lehrlinge zu Familienmitgliedern der Meister macht ... Dabei ist diese Gegend (Oberhessen) nicht etwa von der Natur vernachlässigt ..., nicht eingeschlossen durch enge Zollschränken, nicht mit Steuern überlastet ... kurz ohne irgendeine besondere Eigenschaft, welche Ursache einer speziellen Verarmung sein könnte». Dennoch erreiche die Not eine Höhe, die in den Schilderungen der Armut Epoche machen würde. *Hildebrand* nennt dafür überzeugende Belege, darunter von den Behörden organisierte Bettlerzüge, «welche täglich nach einem festgesetzten Turnus durch regelmässige Umzüge in den einzelnen Stadtteilen und den angrenzenden Dörfern ihre Almosen zusammenbettelten» [14]. Und aus der industriefernen Provinz Preussen, wo die Landbevölkerung noch fast ausschliesslich von Ackerbau und den zugehörigen Hilfsarbeiten lebte, berichtet der Königsberger Professor *Schubert* im Jahre 1847, dass ein Drittel der gesamten Landbevölkerung nur auf die Kartoffel angewiesen sei; sie habe «auf Brot als gewöhnliche Tagesnahrung verzichtet» [15]. Die voluminöse, kohlenhydratreiche und (je Nährwerteinheit) relativ billige Kartoffel als Hauptnahrungsmittel — dies ist die unterste Sprosse jener Leiter, «die eindeutig abwärts führte: vom Fleischstandard des Spätmittelalters über den Getreidestandard der frühen Neuzeit zum Kartoffelstandard im Zeitalter des Pauperismus» [16].

Dieser Pauperismus ist das Ergebnis eines langen Verarmungsprozesses, der schon im Mittelalter begann und in ganz Mitteleuropa stattfand. «Es zeigt sich,

dass vom 14. bis in das 19. Jahrhundert hinein sich die Löhne entgegengesetzt zur Bevölkerung entwickelten» [17]. Der (langfristig) stark steigenden Bevölkerung entspricht ein starker Abfall des Reallohnes. (Die Löhne werden jeweils an ihrer Kaufkraft gegenüber Lebensmitteln gemessen.) Diese Entwicklung liess weite Bevölkerungsteile zunehmend verarmen; in Jahren mit schlechter Ernte führte sie zu einem Massenelend, das uns heute nur noch aus Entwicklungsländern bekannt ist, und von dem bewegende zeitgenössische Schilderungen Kunde geben. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts (im «Pauperismus») hatte die Armut sich zu einer kaum verhüllten dauernden Existenznot gesteigert; von ihr waren Kleinbauern und Tagelöhner, die Masse der Handwerker und der unteren Beamten ebenso hart betroffen wie die (relativ wenigen) Fabrikarbeiter. Der bekannte Nationalökonom *Friedrich List* berichtete im Jahre 1844: «Unter den notwendigsten Lebensbedürfnissen versteht man in vielen Gegenden Deutschlands Kartoffeln ohne Salz, eine Suppe mit Schwarzbrot, zur höchsten Notdurft geschmelzt, Haferbrei, hier und da schwarze Klösse. Die, welche sich besser stehen, sehen kaum einmal in der Woche ein bescheidenes Stück frisches oder geräuchertes Fleisch auf dem Tisch und Braten kennen die meisten nur vom Hörensagen. Ich habe Reviere gesehen, wo ein Hering, an einem an der Zimmerdecke befestigten Faden mitten über dem Tisch hängend, unter den Kartoffelessern von Hand zu Hand herumging, um jeden zu befähigen, durch Reiben an dem gemeinsamen Tafelgut seiner Kartoffel Würze und Geschmack zu geben» [18].

Die frühe industrielle Technik hat also den Pauperismus keineswegs herbeigeführt; sie leitete vielmehr jene Entwicklung ein, die den Trend zu ständiger Verarmung in sein Gegenteil verkehrte. Diese Trendumkehr geht sehr deutlich aus dem folgenden Diagramm hervor (Abb. 4): Von der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts bis zur ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts stieg der Roggenpreis in Deutschland auf das knapp Vierfache, die Löhne dagegen nur auf das Anderthalbfache. Von der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts aber bis zum Dezennium zwischen 1951 und 1960 stieg der Roggenpreis auf das Dreifache, der Lohn dagegen auf das Zwölffache. Eine ähnliche Umkehr trat auch in England ein. Sie ist eine der Folgen des Produktivitätszuwachses, zu dem die industrielle Technik führte; sie ermöglichte jene Wohlfahrt und soziale Sicherheit, die wir heute allzu leicht als selbstverständlich ansehen. Sie sind es nicht! Sozialgeschichtliche Forschungen in Deutschland, England und Frankreich weisen stets in die gleiche Richtung. Es kann keine Rede davon sein, dass die Technik uns aus einem beschaulich-behaglichen vorindustriellen Paradies vertrieben habe. Der englische Sozialhistoriker *Plumb* formuliert ein drastisches Fazit: «Kein Mensch, der bei Sinnen ist, würde sich wünschen, in einer vergangenen Zeit gelebt zu haben, ausser er wüsste genau, dass er in ei-

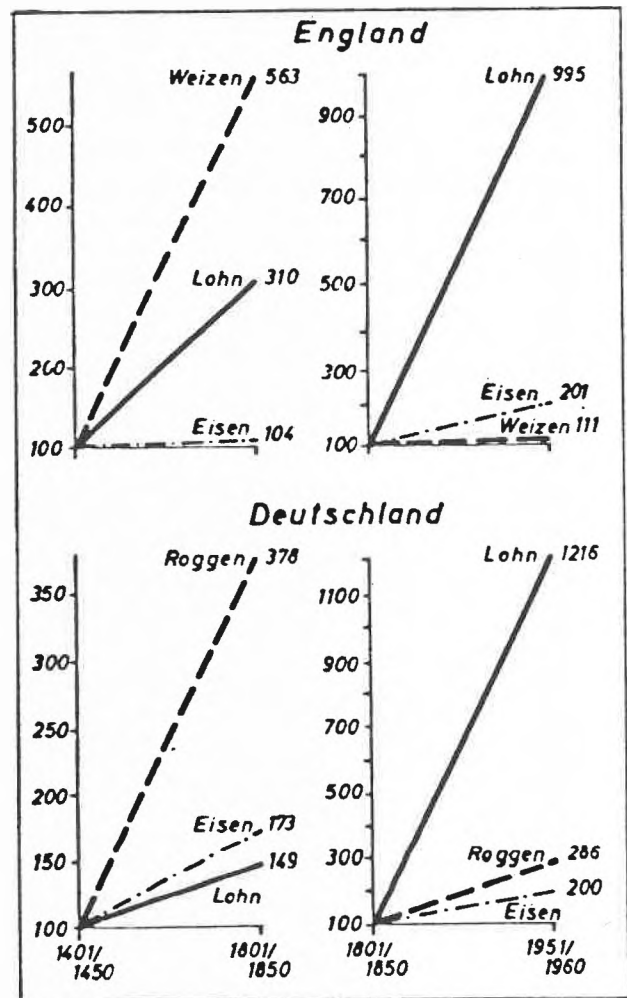


Abb. 4: Preis- und Lohnbewegungen in England und Deutschland [19]. Näheres siehe im Text.

ner reichen Familie geboren worden wäre, dass er sich einer ausserordentlich stabilen Gesundheit erfreut hätte und dass er den Tod der Mehrzahl seiner Kinder mit stoischer Ruhe hätte hinnehmen können» [20]. Ich nehme an, Sie fragen nun sich selbst und mich: «Sollen wir Chemielehrer wirklich solche Informationen und Überlegungen in unseren Unterricht einbeziehen? Dazu sind wir nicht ausgebildet, und dazu ist uns unser Stundendeputat nicht zugemessen!» Beides trifft zu. Dennoch: Wenn *wir* es nicht tun, tut es niemand — von Ausnahmefällen abgesehen. Wie Sie wissen, war die Kultur- und Technikkritik ursprünglich «rechts» angesiedelt (*Spengler, Ernst Jünger, G.F. Jünger*). Ihr stand eine eher «linke», Fortschritt und Technik bejahende Tradition gegenüber, deren Vertreter begriffen hatten, dass die Technik «die einzige Hoffnung der armen Leute ist» [21]. In den letzten beiden Jahrzehnten ist aber die Technikkritik von «rechts» nach «links» gewandert (Symbol dieser Entwicklung: *Marcuse*), ohne doch ihre «rechte» Heimat aufzugeben; sie ist infolgedessen allgemein verbreitet und in weiten «gebildeten» Kreisen nahezu obligato-

risch. Es ist aber intellektuell unredlich, die Stillung unserer vitalen Bedürfnisse (und ein darüber hinausgehendes kräftiges Plus) als selbstverständlich anzusehen und deren Grundlagen methodisch zu ignorieren. Beim Aufweis dieser Inkonsequenz ist die Sozialgeschichte besonders hilfreich.

Mit alledem meine ich allerdings nicht, dass wir zu Apologeten eines unkritischen Fortschrittsbegriffs und gedankenloser Anwendung chemischer Technik werden sollten; diesem Missverständnis möchte ich mit Nachdruck wehren. Die negativen Auswirkungen einer unkritisch betriebenen Technik müssen mit gleicher Offenheit gesehen werden wie die positiven. Gewiss muss der Mensch — wie jedes Lebewesen — unter Inanspruchnahme der Natur sein Leben fristen. Das heisst aber nicht, dass er mit den Vorräten der Natur ganz nach Belieben umgehen könne. Es rechtfertigt auch nicht, dass der Blick des Menschen auf die Natur schrumpft auf den Blick des Magazinverwalters, der seine Bestände unter dem Aspekt ihrer Brauchbarkeit mustert. Gewiss kann der Mensch in der unveränderten Natur nicht überleben, er muss sich eine Heimstatt schaffen. Muss diese aber so luxuriös ausfallen, wie es inzwischen weithin der Fall ist? Muss sie ausser notwendigen und guten Dingen so viel Tand enthalten, der nach kurzer Lebensdauer im Müll landet? Wir haben zu lernen begonnen, dass wir unsere Ansprüche bescheiden müssen, und dass der verbleibende Rest mit einer Technik erfüllt werden muss, die die Natur nicht als Objekt zur beliebigen Verfügung betrachtet, sondern in einer Art Symbiose mit ihr lebt: durch ein Vorgehen, das bedachtsam-haushälterisch ist, die Vorräte streckt, Recycling-Prozesse zur Mehrfachverwendung von Rohstoffen verwirklicht, die Belastbarkeit der Natur und den Umfang ihrer Regenerationsprozesse erwägt und berücksichtigt. In diese Richtung muss die Technik und die angewandte Chemie als deren Bestandteil weiterentwickelt werden.

### 3. Fazit für den Unterricht

Ziehen wir ein abschliessendes Fazit. Ich hatte die von Ihnen weithin praktizierte Lehrweise als Ihren Schülern angemessen bezeichnet, aber drei schwerwiegende Nachteile dieses Vorgehens herausgestellt. Um diese Nachteile zu vermeiden oder doch wesentlich abzumildern, hatte ich Ihnen fünf Gruppen von Massnahmen empfohlen, die ersten vier durch jeweils mehrere Beispiele verdeutlicht und bei der letzten den Einbezug des sozialgeschichtlichen Aspekts dringend nahegelegt. Wie häufig sollen diese Massnahmen, die Ihre gewohnte Methodik modifizieren, im Unterricht eingesetzt werden? Bei der Erörterung dieser Frage möchte ich die dritte Massnahmengruppe insofern ausser acht lassen, als ich der Meinung bin, dass Wiederholung und Übung ausschliesslich in dieser Weise erfolgen sollten. Die Vorteile eines solchen Vorgehens

sind so deutlich, dass ein Beharren auf identischer Reproduktion mir ein Kunstfehler zu sein scheint. Was die dann verbleibenden vier Gruppen von Massnahmen angeht, so ist der Zeitaufwand für sie sehr unterschiedlich; die Vorstellung eines Phänomens ist erheblich kürzer als ein Einblick in die Entstehung der Daltonschen Atomtheorie. Dennoch möchte ich folgende Faustregel aufstellen: Sie sollten an jede 3 bis 5 (theoretische) Stunden umfassende Unterrichtseinheit die Frage stellen: Ist wenigstens eine der vorgeschlagenen Modifikationen verwirklicht worden? Wenn Sie diese Frage einigermaßen regelmässig bejahen können, haben Sie Ihren Unterricht nicht nur verziert, sondern wirksam verändert.

Mir ist klar, dass es nicht leicht ist, diese Forderung zu erfüllen. Sie werden mir mit Recht entgegenhalten: Welchen Vorbereitungsaufwand muten Sie uns eigentlich zu? Sind wir Chemielehrer in dieser Beziehung nicht ohnehin gegenüber den Lehrenden anderer Fächer benachteiligt? Auch das trifft zu. Dennoch: Hat man die Notwendigkeit solcher methodischer Variationen erkannt, so wird man sich als Lehrer mit Nachdruck um die Vervollständigung meines bescheidenen Katalogs von Beispielen bemühen. Im Verlauf einer Reihe von Berufsjahren wächst einem dann ein Bestand von Massnahmen zu, der den Vorbereitungsaufwand für die jeweils aktuelle Unterrichtseinheit in Grenzen hält. Dabei kommt dem Austausch guter Beispiele unter den Lehrern eine grosse Bedeutung zu. Unser aller Phantasie und Fleiss sind aufgerufen, wirksame Einzelmassnahmen der beschriebenen Arten zu finden und in den Unterricht einzubringen.

### Literaturverzeichnis

- 1 *Gagné, R.M.*: Die Bedingungen des menschlichen Lernens. Hannover, 4. Aufl. 1975 (Schroedel Verlag), S. 142 f.
- 2 *Wagenschein, M.*: Rettet die Phänomene! (Der Vorrang des Unmittelbaren); in: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 30 (1977), S. 129 bis 137, hier S. 132.
- 3 Vgl. *Kavanaugh, R.D., Moomaw, W.R.*: Inducing Formal Thought in Introductory Chemistry Students; in: *Journal of Chemical Education* 58 (1981), S. 263 bis 265.
- 4 Vgl. *Halpern, M.*: A Simple Inexpensive Model for Student Discovery of VSEPR; in: *Journal of Chemical Education* 56 (1979), S. 531.
- 5 *Gramm, A. und Sumfleth, E.*: Die Stoffklasse der Ester — eine Unterrichtsstunde in einem Grundkurs 11.1; in: *Der Chemieunterricht* 14 (1983), S. 68 bis 78.
- 6 *Hofer, M.*: Instruktion als Optimierung von Lernprozessen. Teil II: Unterrichtsmedien; in: *Weinert, F.E. et al.* (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*, Bd. 2. Frankfurt 1974 (Fischer Taschenbuch Verlag), S. 827 bis 850.
- 7 *Hofer a.a.O.*, S. 846.
- 8 *Heimann, E.H.*: Der grosse Augenblick in der Chemie. Bayreuth 1976 (Loewes Verlag), S. 109.
- 9 *A. Kekulé*, hier zitiert nach *Bugge, G.* (Hrsg.): *Das Buch der grossen Chemiker*, Bd. II. Weinheim 1974 (Verlag Chemie; unveränderter Nachdruck der 1. Aufl. 1929), S. 207.
- 10 Hier zitiert nach *C.F. Graumann*: *Phänomenologie und deskriptive Psychologie des Denkens*; in: *Handbuch der Psychologie*, 1. Band, 2. Halbband: Lernen und Denken, Göttingen 1964

- (Verlag für Psychologie — Dr. Hogrefe), S. 493 bis 518, hier S. 506.
- 11 Vgl. *Graumann*, a.a.O.
  - 12 *Sommerfeld* schrieb diese Sätze im Vorwort zur 1. Auflage seines berühmten Buches über Atombau und Spektrallinien; hier zitiert nach einem Wiederabdruck in der 7. Auflage von *Sommerfeld*, A.: Atombau und Spektrallinien, 1. Band, Braunschweig 1951 (Verlag Vieweg), S. III.
  - 13 *Jung*, W.: Beiträge zur Didaktik der Physik. Frankfurt/Main etc. 1970 (Verlag Diesterweg), S. 18.
  - 14 Zitiert nach *Abel*, W.: Massenarmut und Hungerkrisen im vorindustriellen Deutschland, Göttingen 1972 (Kleine Vandenhoeck-Reihe), S. 7 f.
  - 15 Zitiert nach *Abel*, a.a.O., S. 10.
  - 16 *Abel*, a.a.O., S. 65.
  - 17 Ebenda, S. 17.
  - 18 Zitiert nach *Abel*, a.a.O., S. 65.
  - 19 Aus *Abel*, a.a.O., S. 75.
  - 20 Zitiert nach *Snow*, C.P.: Die zwei Kulturen. Stuttgart 1967 (Klett Verlag), S. 82.
  - 21 *Snow*, a.a.O., S. 31.