

Warum platzt die Flasche Wasser,  
die im Eisfach vergessen wurde? Erklärungen  
reichen nicht aus, Versuche sind gefragt

ANDREA GERDES/LUTZ STÄUDEL

# Modelle für die stoffliche Welt

Chemie: drei Befunde – drei Analysen – drei Ansätze

Die Einsicht in naturwissenschaftliche Phänomene und Strukturen kann nicht nur kognitiv erworben werden. Notwendig ist vielmehr ein Zusammengehen von gedanklicher Auseinandersetzung und praktischen Übungen – die Verknüpfung von „minds on“ mit „hands on“.

## Befund 1: Stoffe, die verschwinden

Zwei Achtklässler sitzen vor einer Petrischale mit Wasser, in der sich langsam ein kleines Häufchen Kochsalz auflöst. Die Lehrkraft versucht mit ihnen zusammen herauszufinden, wo das Salz wohl bleibt.

L: Wenn ihr zu Hause etwas kocht, macht ihr auch das Salz rein und das Salz ist immer noch in der Suppe drin, sonst würde es nicht so salzig schmecken.

S1: Ja.

L: Aber man sieht es nicht.

S1: Aber wenn man z. B. Suppe kocht, dann sieht man das Salz nicht mehr, aber man schmeckt es. Vielleicht ist es ja genauso hier?! Also das hat sich richtig aufgelöst und wenn wir probieren, dann

schmeckt es ja salzig. Obwohl da kein Salz mehr drin ist. Also solche Stücke sind nicht mehr da. Aber dieser Geschmack ist da.

L: Und woher weiß deine Zunge, dass da Salz drin ist?

S1 und S2: Schmeckt es.

L: Aber es muss ja irgendwas da sein.

S2: Geschmack.

L: Nur der Geschmack ganz alleine?

S2: Ja.

(L: Lehrer; S1, S2: Schülerinnen, Klasse 8, R)

Wo also bleibt das Salz, wenn es sich im Nudelwasser aufgelöst hat? Oder der Zucker im Kaffee? Ihre Eigenschaften sind am Geschmack noch deutlich erkennbar, ihre Existenz als Stoffe aber ist keineswegs mehr sicher.

## Analyse 1: Begriffe entstehen nicht von selbst

Justus von Liebig (1803–1873) begründete die Notwendigkeit der praktischen Übungen im Labor für Chemiker mit den Worten: „In den Vorlesungen lehren wir das Alphabet, in den Laboratorien den Gebrauch dieser Zeichen; der Schüler erwirbt sich darin Fertigkeit im Lesen der Sprache der Erscheinungen, er lernt die Regeln der Combinationen, so wie Gewandtheit und die Gelegenheit, sie in Anwendung zu bringen“ (Liebig 1865, S. 9) und: „Jeder Versuch ist ein in Erscheinung gebrachter Gedanke“ (Liebig 1840, S. 114). Und sein Zeitgenosse Arendt ergänzte: „Eine chemische Beobachtung kann nie eine unmittelbare sein ... selbst wenn man mit dem einfachsten Experiment beginnt, wird die Vorstellung nur durch eine gleichzeitige Verstandesoperation ... gewonnen.“ (...) „Die chemischen Prozesse ... bleiben unserem Blicke völlig verschlossen, und selbst der nüchternste und aufmerksamste Beobachter wird daraus nicht eine einzige Vorstellung gewinnen können, welche einer chemischen Betrachtung der Naturvorgänge irgendwie als Basis dienen könnte“ (Arendt 1868, S. 14f.).

Beide waren der Meinung, dass es vermittels eines theoriegeleiteten praktischen Übens erst eine – gemeinsame – begriffliche

Basis zu schaffen gelte: für die Verständigung über die stoffliche Welt, die Eigenschaften und Reaktionen der Stoffe.

Heute, 150 Jahre später, stellen Fachdidaktiker in empirischen Studien fest, dass Begrifflichkeiten, die lediglich verbal vermittelt werden, wenig Bestand im Denken von Kindern und Jugendlichen haben. Die Versatzstücke wissenschaftlicher Weltansicht machen schnell den viel stabileren (naiven) Alltagsbegriffen wieder Platz; der Donner rührt dann wieder vom Zusammenstoß der Wolken her (Daumenlang) und Stoffe verschwinden oder bilden sich scheinbar aus dem Nichts. – Liebig wäre angesichts der geringen Bedeutung des praktischen Tuns und seiner gedanklichen Begleitung im heutigen naturwissenschaftlichen Unterricht darüber wohl kaum erstaunt.

### Praxisansatz 1: Lautes Denken

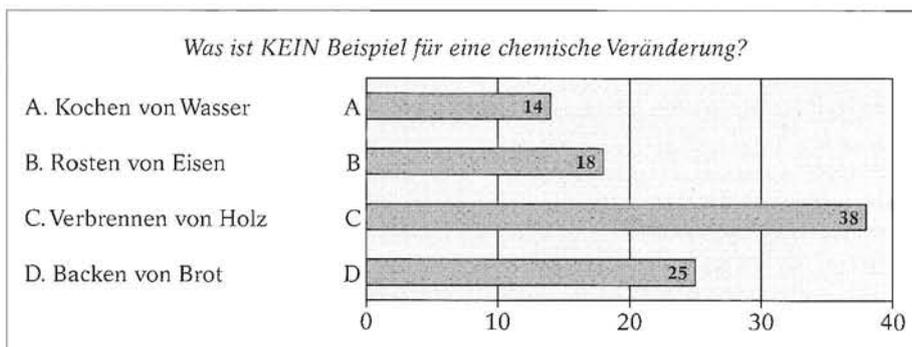
Im Treppenhaus des Kasseler Finanzamtes leuchtet, eher unerwartet, eine Neonschrift „Sprechen heißt Gedanken klären“<sup>32</sup>; im Geiste Liebigs könnte man hinzufügen „Experimentieren bedeutet die Begriffe schärfen“. Da noch nicht einmal das vermeintlich Einfache, Grundlegende „von selbst“ kommt, etwa die Vorstellung, dass die uns umgebende und uns konstituierende Materie aus kleinen Teilchen aufgebaut ist, muss den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit gegeben werden, solche Modelle praktisch zu erproben, ihre Nützlichkeit im Einzelfall zu erfahren, eine in sich konsistente Betrachtungsweise zu entwickeln.

Wenn das Sprechen zur Schärfung der Gedanken und Begriffe beiträgt, dann lassen wir die Schüler doch sprechen! „Lautes Denken“, die unmittelbare Verbalisierung von Vorstellungen, das funktioniert am besten in Zweiergruppen, bedarf anfangs sicher der Ermunterung und Begleitung durch die Lehrkraft, kann dann aber bald als eingeführte Methode in die Hände der Schüler übergeben werden, die sie im Zusammenhang mit vielen Phänomenen umsetzen können. Später können Verschriftlichungen hinzukommen, als Wegsteine des eigenen Prozesses der Begriffsbildung und zur besseren Kommunizierbarkeit von Ergebnissen.

Beobachtet und „besprochen“ werden können einfache Phänomene wie das eingangs erwähnte Auflösen von Zucker oder Salz, die Bildung von Niederschlägen, Farbveränderungen, Gasbildungen und anderes mehr.

### Befund 2: Mangelnde Transferfähigkeit

Dass Basiskonzepte wie das Teilchenmodell tatsächlich nur sehr bedingt verfügbar sind,



TIMSS: Nur wenige Schüler konnten die Frage nach dem Wesen einer chemischen Reaktion richtig beantworten

brachte auch die internationale Vergleichsuntersuchung TIMSS<sup>31</sup> zum Vorschein: So konnten nur wenige Schülerinnen und Schüler die (indirekte) Frage nach dem Wesen einer chemischen Reaktion richtig beantworten. Die für diese Jahrgangsstufe angemessene Antwort A wurde sogar deutlich weniger oft angekreuzt als die (falschen) Alternativen (s. Kasten).

Wie daran unschwer zu erkennen ist, sind die Verbindungen von der naturwissenschaftlichen Sicht der Welt zu den Phänomenen und Erfahrungen des Alltags kaum ausgeprägt. Altmeister Liebig würde vermutlich kommentieren: „Kein Wunder!“ Solange die Begriffe und Konzepte nicht immer wieder in praktischen Bezügen angewandt und weiter geschärft werden, so sein vermutlicher Ratschlag, muss man sich nicht wundern, wenn die Worte leer bleiben und ohne Bedeutung für das Denken.

### Analyse 2: Strukturen müssen erarbeitet werden

Für Liebig war die praktische Übung von doppelter Bedeutung: Neben einer Einübung in den sachgerechten Umgang mit den Laborutensilien bringt sie überhaupt erst den Gegenstand hervor, der Ziel der gedanklichen Auseinandersetzung im Weiteren sein soll. Übung in diesem Sinn bedeutet von Denken begleitete Versuche.

Ein Beispiel: das Filtrieren. Mit der Trennung von Gemischen setzt in der Regel der Chemieunterricht in der Klasse 8 ein. Während die Übertragung von Alltagserfahrungen für den Fall des (sehr artifiziellen) Gemisches von Sand und Wasser durchaus gelingt, bedeutet das noch lange nicht, dass die gleichzeitig eingeführten Begriffe Gemisch, Lösung, Aufschlammung, Suspension, Emulsion ... eine wirkliche Bedeutung erlangen. Die aus dem Alltag leicht transferierten Handlungskonzepte – etwa die Benutzung eines Siebs oder eines Kaffeefilters – täuschen darüber hinweg, dass ihnen kein geistiges Konzept von Strukturen zugrunde liegt. Also ist mit den Schüler/innen zu klären: Warum wird der Sand zurückgehal-

ten? Was ist das Filter eigentlich seiner Funktion nach? In welcher Form durchdringt das Wasser das Filter? Lässt sich diese Vorstellung auf Wasser insgesamt und in jedem Zusammenhang anwenden?

### Praxisansatz 2: Verschriftlichen und Erspielen

Von Nutzen kann hier die Verschriftlichung sein, das Niederschreiben von Gedanken und Vorstellungen – wobei nicht die korrekte Verwendung von Begriffen oberste Richtschnur sein darf – oder, noch offener, wiederum im Zweier- oder Dreiergespräch als „lautes Denken“. Die Beispiele sollten dabei zwischen Lebenswelt und der straff geordneten Welt des Labors oszillieren: Vorstellungen von einem Transfer der erarbeiteten Begriffe stellen sich nicht von selbst ein, sondern bedürfen des übenden Umgangs. Also Stofftrennungen – um beim gewählten Beispiel zu bleiben – im Alltag, im Labor und wieder im Alltag, jetzt aber mit einem teilweise schon entwickelten Begriffskonzept.

Was damit gemeint ist, lässt sich am Beispiel von Wasser und den Aggregatzuständen erläutern: Wie können die ersten Vorstellungen von Teilchen auf den Übergang zwischen fest – flüssig – gasförmig angewandt und dort geschärft werden? Eine Schneeflocke oder ein Stück Eis aus dem Kühlschrank auf der Hand – was passiert beim Schmelzen? Wie unterscheidet sich flüssiges Wasser und „festes“ in der Vorstellung? Was sind mögliche Bedingungen für die Veränderung? Wie erkennbar ist, erfordert dieser Übergang bereits eine weitere Differenzierung des Teilchenkonzeptes durch eine wie auch immer geartete Wechselwirkung.

Als Anstoß für eine solche Begriffsbildung muss nicht unbedingt das Niederschreiben oder das Sprechen über die je einzelnen Vorstellungen wirken, ebenso kann auch gespielt werden:<sup>33</sup> Alle stehen im Klassenraum und jeder/jede fasst zwei weitere an den Schaltern. Die Temperatur steigt (von –5 °C auf Null) und die miteinander verbundenen Teilchen bewegen sich schneller – bis sie sich in Schichten ablösen und später, bei 100 °C als

11.3.99  
Versuchsbeschreibung

1. Versuch: Man nimmt einen Eisbrocken und legt ihn in ein Topf. Dann massiert man den Topf mit dem Eis auf dem Herd stellen und warten bis es schmelzen tut. Dann warten wir bis es anfängt zu kochen und dann kommt der Deckel drauf um zu gucken wo das verdampfte Wasser hinght.

2. Bemerkung: Das nennt sich Kondenswasser, und es hängt am Deckel.

1 - Zuerst wachme mit Eisstückel in das Reagenzglas und heizen es mit einer Zange über das Feuer.  
2 - Nach ner Zeit schmelzen alle Eisstückel.  
3 - Dann dampft es später.  
4 - Zur Abkühlung huen wir es kalt stellen.  
5 - Wenn man es wieder zu Eisstückel lassen will, muss man Deckel drauf setzen, es wieder in dem Kühlstrom machen.

1 - Man hält das Reagenzglas mit Zange unter dem Gasbrenner. Es an feuerheftig ist. Man darf Reagenzglas mit einer Schiefe, damit Plateau auf dem Boden vom Reagenzglas. Das Gas beschleunigt und wird feuer. Wachen.

2 - Man hält das Reagenzglas mit dem Wasser unter dem Gasbrenner. Es an feuerheftig ist. Man darf Reagenzglas mit einer Schiefe, damit Plateau auf dem Boden vom Reagenzglas. Das Gas beschleunigt und wird feuer. Wachen.

**Wie ändert Wasser seine Aggregatzustände?  
Schüler beschreiben ihre selbst entwickelten  
Versuche**

einzelne Teilchen durch den Raum rasen: ein dynamisches Teilchenkonzept, das auf praktisch alle relevanten Phasenübergänge angewendet werden kann. Üben in diesem Sinn, d. h. die wiederholte Anwendung von Struktur-Konzepten und den zugehörigen Begriffen kann dazu führen, dass sogar Fragen à la TIMSS richtig beantwortet werden: Beim Wasser bleiben die einzelnen Teilchen praktisch unverändert, beim Rosten, Verbrennen oder Backen findet man völlig neue Eigenschaften, die Teilchen selbst haben sich verändert, durch Umlagerung oder Neubildung aus anderen.

Ziel solcher Übung muss es sein, dass solche Konzepte verfügbar und transferierbar sind: dass sich also ein Schüler einen Tisch – oder einfacher: ein Stück Holz – aus sol-

cherart Teilchen aufgebaut denken kann; oder seinen Füllfederhalter oder die in ihm befindliche Tinte oder Papier, auf das er schreibt, und auch die schreibende Hand.

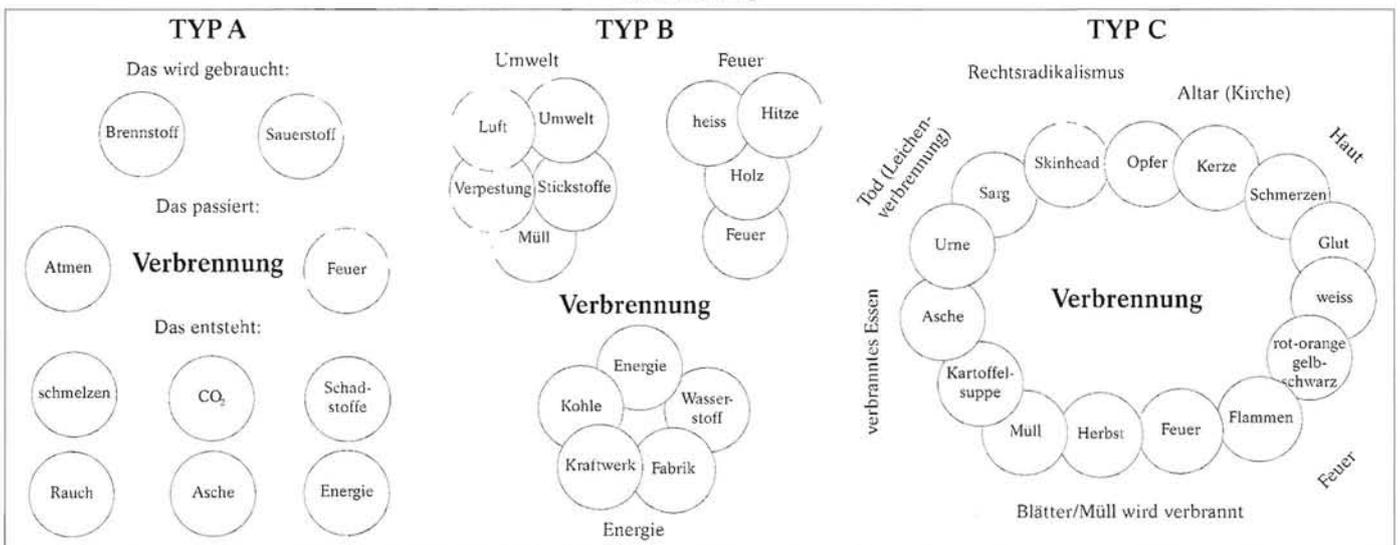
Hilfreich ist es auch – und Anlass zum Aufschreiben allemal, wenn die Schülerinnen und Schüler selbst Verfahren ausdenken, entwickeln und erproben. Zum Beispiel zur vermeintlich einfachen Frage, wie man zeigen kann, wie Wasser seine Zustandsformen ändert und doch immer Wasser bleibt, reversibel fest, flüssig, gasförmig werden kann (s. Kasten oben).

Werden dann noch die Versuchsanleitungen für die Erprobung miteinander ausgetauscht, dann stellen sich einige Fragen ganz von selbst: Sind die Anweisungen verständlich? Werden Begriffe eindeutig benutzt? Und für die Lehrkraft kann bei der Verschriftlichung von Beobachtung und Interpretation deutlich werden, wie sicher die Schülerinnen und Schüler bereits bei der Nutzung von Modellen und Begriffen sind und wo noch Unterstützungsbedarf besteht.

**Befund 3:  
Höchst unterschiedliche Begriffsnetze**

Dass es nicht damit getan ist, die abstrakten Begriffe wiederholt ins Spiel zu bringen, wie im Chemieunterricht oft üblich, zeigt eine

**Assoziationen zum Begriff  
„Verbrennung“**



Untersuchung, die mit 400 Schülerinnen und Schülern aus 8. Klassen an hessischen Gesamtschulen durchgeführt wurde. Sie brachte Interessantes zu den Begriffsstrukturen in dieser Altersstufe zutage, und zwar mittels einer relativ einfachen Methode: Den Schülern wurde ein großes quadratisches Blatt vorgelegt und eine Anzahl kleiner runder Blättchen. In der Mitte der Vorlage steht der jeweils zentrale Begriff geschrieben, zu dem die Untersuchungsteilnehmer ihre spontanen Assoziationen einzeln auf die runden Papiere schreiben sollen. Diese werden anschließend um das Zentrum angeordnet und schließlich mit Klebestift fixiert.<sup>3)</sup> Ausgewählt wurde der für das Verständnis der Chemie überaus bedeutsame Begriff der „Verbrennung“. Drei charakteristische Ergebnisse sind im Kasten auf S. 126 zu sehen.

Der „rationale“ Typ (A), der die Verbrennung prozesshaft begreift und vorzugsweise mit Begriffen aus der Fachterminologie verbindet und mit dem der Fachlehrer in der Regel besonders gerne arbeitet, ist allerdings mit ca. 20 % nur relativ selten anzutreffen. Weitere 40 % ähneln dem Typus B, was in gewisser Weise den Vorstellungen von Gesamtschule und ihren „Produkten“ entspricht: Ein Schüler, der fest in der Erfahrungswelt verankert ist, der sensibel ist für die Umwelt und der Beziehungen zwischen den Welten (des Faches und der Realität) herstellen kann. Man beachte jedoch, dass ihm oder ihr die Fachsprache längst nicht so nahe ist wie einem aus der Gruppe A. Diejenigen, die sich dem Typus C zuordnen lassen, in der Mehrzahl Mädchen, denken offensichtlich in ganz anderen Kategorien als es Lehrplan oder Lehrkraft möglicherweise antizipieren. Dieses Begriffsnetz weist in hohem Maß subjektive Anteile auf, emotional Bedeutsames, auch Bedrohliches – das Feuer eben, das verletzt, verbrennt, Schmerzen verursacht, tötet. Damit ist die Frage nach dem Sinn und Nutzen eines bloß kognitiv orientierten Übens – etwa eines Begriffes und der zugehörigen Attribute und Verknüpfungen – mehr oder weniger beantwortet: Diese Gruppe erreicht man damit mit Sicherheit nicht.

### Analyse 3: Erfahrungswelten

Üben, gewiss – aber wie? Die Untersuchung der Begriffsnetze zeigt, dass das Denken in hohem Maß auf ganz unterschiedliche Erfahrungsfelder zurückgreift. Dieser Befund tauchte jüngst auch in der Diskussion um die Umwelterziehung auf und machte deutlich, dass Unterricht wohl kaum in der Lage ist, alle Schülerinnen und Schüler auf die gleiche Weise zu motivieren. Zwar unterscheiden sich im Hinblick auf chemische Phänomene die Erfahrungswelten heutiger

Schüler nicht allzu sehr – längst sind spezifische „Lernorte“ dem Zugriff entzogen und statt überschaubarer Handwerksbetriebe, bei denen noch die Verwendung von Säuren, Fetten, Salzen oder des Feuers nachvollziehbar beobachtet werden konnte, sind Fabriken hinter glänzendem Edelstahl verschwunden –, jedoch besitzen die konkreten Erfahrungen für die einzelnen Schüler eine sehr unterschiedliche Bedeutsamkeit.

Wenn also der Lehrer, die Lehrerin vor der Klasse steht und von Verbrennung spricht oder vom Wasser oder von Metallen, dann werden in den Köpfen vor ihr oder ihm höchst unterschiedliche Bilder aktiviert. Ein produktiver Umgang mit dieser Situation ist erst dann möglich, so unsere Überzeugung, wenn man sie in ihrer ganzen Tragweite zur Kenntnis nimmt.

### Praxisansatz 3: Verstärkung der sachbezogenen Kommunikation

Jede Begriffsbildung bedeutet Abstraktion (so wie die Naturwissenschaft auch eine Form der Abstraktion von der Vielfalt der Erscheinungen zugunsten generalisierenden Aussagen ist). Bereits die Abstraktion von der Form – z. B. eines Eiswürfels – erfordert eine nicht unbedeutende Abstraktionsleistung, an deren Ende die Unterscheidung steht zwischen eben diesem konkreten Eiswürfel und dem Reinstoff Wasser im festen Aggregatzustand. Auf dem Weg von der (Alltags-)Erfahrung zur verallgemeinerten Betrachtung bedarf es aber noch ganz anderer Abstraktionen: das Absehen von den vielfältigen emotionalen Assoziationen. Das aber geht nur mit einer Übung anderer Art: Wenn Jugendliche ihre durchaus begründete Scheu vor dem Feuer überwinden sollen, reicht das einmalige Entzünden des Bunsenbrenners nicht aus. Bevor Erfahrungen mit dem Verbrennen von Flüssigkeiten wie Benzin, Feststoffen wie Holz, Kohle oder einem Magnesiumband zu einem theoretisch begründeten Begriff verdichtet werden können, müssen sie zahlreich genug gewesen sein. Der übende Umgang – das Schülerexperiment – kann langsam jene Barrieren überwinden helfen. Aus den verschiedenen Flammen der unterschiedlichsten Versuche bildet sich dann – vielleicht – der transferfähige Begriff, nach dem bei der zitierten TIMSS-Aufgabe gefragt wurde.

Damit aber nicht genug: Soll dieser Begriff wiederum relevant werden für den Alltag und zu einer wirksamen Erweiterung der Weltsicht und des Verständnisses durch die naturwissenschaftliche Betrachtungsweise, dann reicht es nicht, quasi zum wissenschaftlichen Kern der Begrifflichkeit vorzudringen. Vielmehr muss umgekehrt eine Einbettung in den Kontext von Alltag und Le-

benswelt erfolgen, der Transfer erprobt – und geübt – werden.

Praktisch heißt dies, sich mit möglichst vielen der vorfindbaren Bedeutungsmuster auseinander zu setzen bzw. eine solche Auseinandersetzung zu initiieren. Denn jene emotionalen Bedeutungsstränge können nicht einfach weg-abstrahiert werden, sie müssen einer Bearbeitung eröffnet werden, wenn sich darüber die Gedanken klären sollen. Bei der Verbrennung gehören dazu Umweltaspekte (wie beim Typ B) ebenso wie beispielsweise die Frage danach, wie Brandblasen entstehen, aber auch die – gesellschaftlich relevante und individuelle als bedrohlich erfahrene – Nähe von Feuer und Aggressivität. Umgekehrt, und auch das zeigte die durchgeführte Studie, gibt es auch gemeinsames: das Phänomen Feuer selbst nämlich, das bei fast allem zuallererst assoziiert wurde.

Was also „üben“? Besonders Lehrkräfte müssen üben, die Erscheinungen des Alltags in ihrer Breite zuzulassen, wenn sie wollen, dass sich daraus stabile Begriffe kondensieren lassen. Die Schülerinnen und Schüler umgekehrt müssen üben, sich einzulassen auf einen Prozess, der ihre selbstverständliche, unhinterfragte Weltsicht zunächst stört, bevor mit den daraus hervorgegangenen übergreifenden Begriffen und Modellen eine Sicht allgemeinerer Art ermöglicht wird. ■

### Anmerkungen

- 1) Neonobjekt des Florentiner Künstlers Mazzini.
- 2) Third International Mathematics and Science Study, durchgeführt 1995 in 42 Ländern. Das nur mittelmäßige Abschneiden Deutschlands führte zu heftigen bildungspolitischen Diskussionen um die Effektivierung des Unterrichts und zur Einrichtung des Modellversuchsprogramms SINUS.
- 3) Nach einer Idee von G. Klemmer, Bonn.
- 4) Nach einer Idee von M. Stamme, Kassel, ausführlich beschrieben auf dem Homepage der BLK-Modellversuchs „GuteUnterrichtsPraxis“ Effektivierung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts (Hessen) (<http://www.uni-kassel.de/lb19/chemdid/bkl/index.htm>).
- 5) Versuchsdesign und Durchführung sind Teil der Dissertation der Autorin Andrea Gerdes.

### Literatur

- R. Arendt: Organisation, Technik und Apparat des Unterrichts in der Chemie an niederen und höheren Lehranstalten. Leipzig 1868.
- Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (BLK): Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Heft 60 der Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung. Bonn 1997.
- K. Daumenlang: Physikalische Konzepte junger Erwachsener – ihre Abhängigkeit von Schule und Familienkonstellation. Dissertation Nürnberg 1969.
- Reinders Duit: Energievorstellungen. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie, 34. Jg., H. 13/1986, S. 105–107.
- Peter Haupt: Verbrennungs- und Oxidationsvorgänge im Verständnis von Schülern. Köln 1984.
- Christel Jenelten-Allkofer, Reinders Duit: Entwicklung des Energiebegriffs bei 5- bis 16-jährigen. In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie, 30. Jg., 1986, S. 408–413.
- Justus von Liebig: Der Zustand der Chemie in Preussen. In: Annalen der Chemie und Pharmacie, 34. Jg., 1840.
- Justus von Liebig: Chemische Briefe. Leipzig/Heidelberg 1865.
- K. Scheid: Methodik des chemischen Unterrichts. Leipzig 1913.