

Abb. 1: Weshalb neigt eine geschüttelte Mineralwasserflasche nach dem Öffnen zum Spritzen?

Der Mineralwasser-Effekt

Modellieren als Element naturwissenschaftlichen Arbeitens

Von Lutz Stäudel

Justus von Liebig hat 1840 in einem Aufsatz die Notwendigkeit der Laborarbeit in der Ausbildung zum Chemiker damit begründet, dass erst das konkrete Arbeiten mit den Stoffen die eigentlichen Gegenstände der Chemie schaffe [1]. Betrachtet man seine Argumentation genauer, dann erkennt man, dass es ihm um die Herausbildung adäquater Begriffe und gedanklicher Strukturen geht. Natürlich sind die „Dinge“ auch vorher schon da, aber damit sie zu „Stoffen“, „chemischen Substanzen“ werden, muss von vielem ihrer realen Existenz abgesehen und das für die chemische Betrachtung Wesentliche herausgearbeitet werden. Liebig war offenbar, ebenso wie heutige Lernpsychologen [2], davon überzeugt, dass sich mit der (theoriegeleiteten) Praxis im Labor kognitive Konstrukte, Modelle der realen Stoffe, entwickeln lassen, die anschließende Interpretationen und Vorhersagen in großem Umfang ermöglichen.

Die Vorstellung einer sich in Wechselbeziehung zur äußeren Welt entwickelnden Begriffswelt impliziert aber weit mehr als nur das allmähliche Wachsen und die Festigung: Begriffe und Modelle können unterschiedlich entwickelt sein, sie können sich – bei gleichem Gegenstand – in ihrer Komplexität unterschei-

den, und sie können die Charakteristika ihres realen Bezugsobjektes sehr unterschiedlich repräsentieren. Darüber hinaus lässt uns das Bild von gedanklichen Konstrukten, die sich in konkreter Auseinandersetzung allmählich entwickeln, auch begreifen, warum die Mehrzahl der Schülerinnen und Schüler so große Probleme mit dem Denken in chemischen Kategorien und mit der Fachsprache haben. Die folgenden Überlegungen konzentrieren sich auf den Aspekt von Modellen im oben genannten Sinn, also weniger auf die anschaulichen Repräsentanten von Vorstellungen wie Ionen-gitter oder Molekülmodelle, sondern auf abstrakte Modelle von Wechselwirkungen beziehungsweise von Ursachen und ihren Wirkungen. Eigenschaften in solchen Modellen definieren sich stets „in Bezug auf“ etwas anderes, einen Partner: Massenangaben beziehen sich auf eine Einheitsmasse, Farben auf eine spezifische Wechselwirkung mit Licht. Wenn von edlem oder unedlem Charakter die Rede ist, dann ist der gedankliche Bezugspunkt das Verhalten gegenüber Säuren (oder Laugen), und das „Reaktionsverhalten“ eines Stoffes definiert sich geradezu wörtlich in Bezug auf einen oder mehrere Partner.

Andere Modelle beschreiben von vorne herein dynamische Vorgänge, wobei diese sich immer auch auf die Eigenschaften der wechselwirkenden Komponenten beziehen. Ein solches Beispiel wird in [3] beschrieben, wo die Entwicklung eines dynamischen Modells am Beispiel des Blue-Bottle-Experiments durchgeführt wird. Hier zeigt sich deutlich ein enger Zusammenhang zwischen Prozess, den beteiligten Komponenten und deren Eigenschaften.

Sich eine Vorstellung bilden, sich ein Modell bilden, einen komplexen Sachverhalt gedanklich modellieren, diese Art von geistigen Tätigkeiten vielmehr als bloßes Wissen ist es, die unter anderen „scientific literacy“ [4] ausmachen. Gleichzeitig ist „Modellieren“ historisch wie aktuell ein wichtiges Element naturwissenschaftlichen Arbeitens [5]. Die entsprechenden Kompetenzen stellen sich aber nicht von selbst ein, sondern müssen in möglichst unterschiedlichen Situationen und an ebenso verschiedenen Problemen aufgebaut und erprobt werden.

Modellieren heißt also für den Bereich der Naturwissenschaften beziehungsweise für die Chemie in erster Näherung, ein gedankliches Bild, eine kognitive Struktur zu entwickeln, die die wesentlichen Charakteristika des betrachteten Sachverhalts beschreibt und zwar hinsichtlich der Eigenschaften der beteiligten Komponenten und hinsichtlich des Prozesses der Wechselwirkung beziehungsweise der potentiellen Veränderung.

Erklärung im Modell

Durch das Schütteln werden Gasbläschen in die Flüssigkeit eingetragen. Beim Öffnen der Flasche wirken diese kleinen Bläschen als Keime für die schnelle Bildung großer Gasblasen. Das im Wasser gelöste Kohlenstoffdioxid entweicht zu einem großen Teil und führt zum Verspritzen des darüber befindlichen Wassers.

Beobachtung: Lässt man eine geschüttelte Flasche lange genug geschlossen stehen, dann kommt es nicht zum Verspritzen.

Erklärung im Modell: Die Gasbläschen verschwinden wieder, entweder dadurch, dass sich das Kohlenstoffdioxid wieder im Wasser löst oder dadurch dass die Bläschen aufsteigen und an der Oberfläche „zerplatzen“.

Beobachtung: Warmes Mineralwasser verspritzt viel heftiger als kaltes, wenn man die Flasche zuvor geschüttelt hat.

Erklärung im Modell: In warmem Wasser lösen sich Gase insgesamt viel schlechter als in kaltem, daher bilden sich beim Öffnen schneller Gasblasen und vermutlich auch größere Gasblasen.

Beobachtung: Wenn eine Flasche einmal geöffnet war, ist das Verspritzen nach dem Schütteln deutlich schwächer.

Erklärung im Modell: Es ist jetzt weniger Gas im Wasser gelöst, beim Öffnen bilden sich kleinere Gasblasen, vielleicht geht die Bildung auch langsamer.

Wie bei allen Komponenten naturwissenschaftlichen Arbeitens sind für die unterrichtliche Umsetzung zwei Bedingungen zu beachten:

1. Man benötigt ein altersangemessenes Beispiel, das sich mehr oder weniger idealtypisch für eine Modellierung eignet (und darüber hinaus möglichst noch weiteren Forderungen wie „Lebensnähe“, individuelle und/oder gesellschaftliche Bedeutsamkeit, charakteristischer Inhalt des Fachs etc. gerecht wird).
2. Man muss die Vorgehensweise auf der Metaebene bewusst machen, zum Beispiel indem man zunächst eine geeignete Aufgabe stellt und dann die Ergebnisse der Schülerinnen und Schüler hinsichtlich ihrer Vorgehensweise untersucht.

Das Mineralwasser-Phänomen im Unterricht

Jedes Kind weiß, dass eine volle Flasche Mineralwasser, die man schüttelt, beim Öffnen zum mehr oder weniger heftigen Spritzen neigt. Wieso aber Wasser beim Öffnen hinaus geschleudert wird, ist keineswegs trivial zu erklären [6].

Die Lehrkraft stellt zwei gleich gut gekühlte Flaschen Mineralwasser auf den

Experimentiertisch. Bei Bedarf können Schülerinnen und Schüler die Temperatur sensorisch auf Vergleichbarkeit überprüfen. Dann wird eine der beiden Flaschen aufgenommen, kräftig geschüttelt und auf den Tisch zurückgestellt. Die Lehrkraft öffnet beide Flaschen möglichst zeitgleich: Schülerinnen und Schüler nehmen – meist unter Lachen – wahr, dass aus der geschüttelten Flasche eine größere Menge Wasser verspritzt, während in der zweiten Flasche nur einige Gasbläschen aufsteigen (**Abb. 1**).

In einem kurzen Gespräch kann man zur Einstimmung auf die anschließende Arbeitsphase erste Vorstellungen zum beobachteten Vorgang sammeln, dann wird die Frage für die Gruppenarbeit formuliert: „Beschreibt den beobachteten Vorgang möglichst präzise und entwickelt auf Basis der Beobachtungen ein gedankliches Modell für diesen Vorgang.“

Jede Gruppe bekommt dazu wiederum eine gekühlte Flasche mit Mineralwasser zur Verfügung gestellt. Um allzu heftiges Verspritzen zu vermeiden, kann man die Schülerinnen und Schüler anweisen, zunächst aus der ungeschüttelten Flasche ein Viertel der Flüssigkeit abzugießen (und zu trinken, falls man sich nicht im Chemieübungsraum befindet, in dem dies verboten ist). Während der ersten Phase der Gruppenarbeit verwi-

ckeln sich die Schülerinnen und Schüler in heftige Diskussionen, die oft gleich bei der Interpretation und einer Art heuristischen Modellierung beginnen. Nach maximal zehn Minuten kann diese Phase beendet und die Ergebnisse gesammelt werden:

- Mit großer Regelmäßigkeit fehlen zu diesem Zeitpunkt – auch bei sonst geübten Gruppen – spezifische Beobachtungen.
- Stattdessen haben praktisch alle Gruppen eine „Druck-Hypothese“ parat, die in etwa lautet: Durch das Schütteln wird gelöstes Kohlenstoffdioxid aus dem Wasser freigesetzt, es baut sich ein Druck auf, und beim Öffnen der Flasche lässt dieser Druck Wasser aus dem Flaschenhals spritzen.

Es lohnt sich durchaus, dieses Modell ernst zu nehmen und es mit der Klasse gemeinsam zu betrachten. Die Schülerinnen und Schüler kommen, gegebenenfalls unterstützt durch kritische Fragen, darauf, dass sich nach dieser Vorstellung ein Gasdruck oberhalb der Flüssigkeit entwickeln sollte, der beim Öffnen der Flasche nach Ausgleich sucht. Ein Verspritzen von Wasser ist mit diesem Modell aber kaum zu erklären.

Mit diesem Teilergebnis und mit der Aufforderung, das Experiment noch einmal in den Gruppen zu wiederholen und diesmal zunächst alle gemachten Beobachtungen zu protokollieren, wird die zweite Arbeitsphase eingeleitet.

Am Ende dieser Phase stellen die Gruppen ihre Ergebnisse im Plenum vor, gegebenenfalls unterstützt durch Skizzen an der Tafel oder auf Overhead-Folie. Dabei gibt es wiederum verschiedene „Theorien“, die mehr oder weniger konsistent erscheinen und nach erfolgter Darstellung gemeinsam diskutiert werden.

Einige Gruppen machen stets die Beobachtung, dass nach dem Schütteln eine große Zahl kleiner Bläschen in der Flüssigkeit ist, die erst langsam wieder verschwinden. Ausgehend von diesem Befund kommen einige dann auch zu der Überlegung, dass sich beim Öffnen der Flasche diese Bläschen fast explosionsartig ausdehnen und so zum Verspritzen der Flüssigkeit führen. Dieses Modell wird nach längerer Diskussion am Ende von der Mehrzahl der Schülerinnen und Schüler akzeptiert. Es lässt sich zusammenfassend wie folgt beschreiben:

Durch das Schütteln werden Gasbläschen in die Flüssigkeit eingetragen. Beim Öffnen der Flasche wirken diese kleinen Bläschen als Keime für die schnelle Bildung großer Gasblasen. Das im Wasser gelöste Kohlenstoffdioxid entweicht zu einem großen Teil und führt zum Verspritzen des darüber befindlichen Wassers.

Dieses Modell muss anschließend daraufhin geprüft werden, ob es auch für alle anderen möglichen Beobachtungen eine zufriedenstellende Erklärung liefert (vgl. **Kasten 1**).

1. Modifikation des Modells

Bereits während der Auswertung der zweiten Gruppenarbeitsphase werden oft Analogien genannt, zum Beispiel das Verteilen von Iodsalzen vom Flugzeug aus, um Wolken zur Regenbildung zu bringen, oder auch Beobachtungen wie die, dass es beim Einstreuen von Salz in kochendes Wasser zum Aufbrausen kommt. Schülerinnen und Schüler, die selbst mit Experimentierkästen gearbeitet haben, bringen hier ein, dass man das Auskristallisieren beschleunigen kann, wenn man entweder einen kleinen Salzkristall in eine (gesättigte) Lösung gibt oder an der Gefäßwand schabt.

Vor dem Hintergrund dieser Erfahrungen, die leicht im Unterricht verifiziert werden können, kann die Bedeutung von „Keimen“ thematisiert werden: Offenbar geht sowohl die Bildung von Gasblasen wie auch das Auskristallisieren eines Salzes deutlich leichter, wenn bereits Keime vorhanden sind. Umgekehrt heißt das, dass die Keimbildung selbst ein Prozess ist, der gehemmt ist. Dass auch Oberflächen die Funktion von Keimen übernehmen können, lässt sich eindrucksvoll wiederum am Beispiel des Mineralwassers zeigen:

In ein Glas mit Mineralwasser wird ein Siedesteinchen gegeben. Es findet eine dauerhafte Blasenbildung statt, ausgehend vom „Keim“ (**Abb. 2**)

Dieses Beispiel erschließt zugleich die Funktion von Siedesteinen beim Erhitzen von Flüssigkeiten zum Sieden und ihre Fähigkeit, Siedeverzüge zu verhindern.

2. Modifikation des Modells

Unter physikalisch-chemischen Gesichtspunkten bieten sich – im Oberstufenunterricht oder in der Lehrerbildung – weitere und tiefer gehende

Betrachtungen an. Die gehemmte Keimbildung kann thermodynamisch beziehungsweise kinetisch analysiert und die zur Bildung eines ersten Keims notwendige Arbeit näher beschrieben werden.

Auch wenn im Unterricht nicht alle Einzelheiten von Keimbildung beziehungsweise ihrer Hemmung aufgeklärt werden können, so kann man jedoch zu einer wichtigen Erkenntnis vordringen: Mit dem (mechanischen) Schütteln und dem Einbringen kleinster Bläschen in die Flüssigkeit liefert man gewissermaßen die notwendige Aktivierungsenergie, die das Gas zur Bildung hinreichend großer Blasen und letztlich zum Hinausschleudern der Flüssigkeit aus der Flasche braucht.

Reden über ...

So wichtig wie die konkreten Schritte der Modellierung am geeigneten Beispiel ist die Thematisierung dessen, was man dabei insgesamt tut. Erst wenn die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass diese Vorgehensweise zu den charakteristischen Arbeitsweisen der Naturwissenschaften zählen, werden sie auch in der Lage sein, ähnliche Strategien in anderen Fällen (z. B. bei PISA-Aufgaben) nutzbringend anzuwenden.

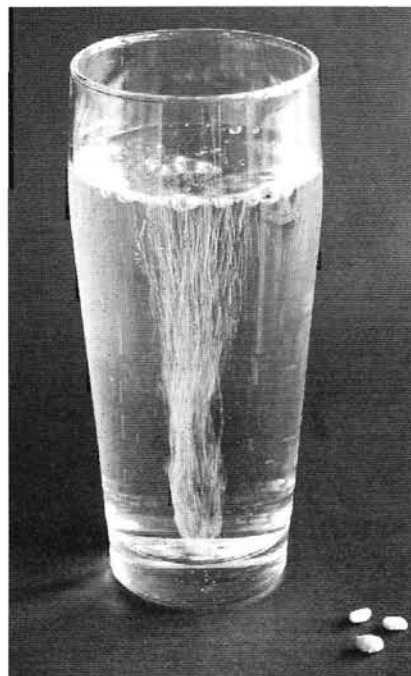


Abb. 2: Mithilfe von Siedesteinchen lässt sich zeigen, dass die Gasblasenbildung an der Oberfläche leichter geht und länger andauert

Allerdings darf es nicht bei dem einzelnen Beispiel bleiben, denn wie Weinert nachdrücklich ausgeführt hat, wird Wissen immer kontextbezogen erworben [9]. Eine Verallgemeinerung und der oft beschworene Transfer kann nur dann stattfinden, wenn das Modellieren (am konkreten Fall) und das Bewusstmachen als naturwissenschaftliche Arbeitsweise möglichst oft Gegenstand des Unterrichts sind. Dazu allerdings bedarf es eines definierten Aufgaben-Rahmens, der sowohl die Möglichkeiten und Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler berücksichtigt wie auch offen genug ist für die eigenständige geistige Arbeit der Lernenden [10].

Anmerkung: Modellieren ist keineswegs eine Erfindung des PISA-Zeitalters; auch Ansätze wie zum Beispiel das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren [11, 12] enthalten Elemente der Modellierung von chemischen Fragestellungen, jedoch wird erst in jüngster Zeit, unterstützt von bestimmten Aufgabenformaten, das Modellieren als wichtige Möglichkeit für anspruchsvolle kognitive Tätigkeiten der Schülerinnen und Schüler herausgestellt [13].

Literatur

- [1] Liebig J. v.: Der Zustand der Chemie in Preußen. In: Annalen der Chemie und Pharmacie 34 (1840), S. 97 ff., hier S. 114; ders.: Chemische Briefe. Leipzig 1865, S. 9, 19
- [2] Siebert H.: Über die Nutzlosigkeit von Belehrungen. Beiträge zur konstruktivistischen Pädagogik. Hrsg.: Vom Landesinstitut für Schule und Weiterbildung, Soest 1996, S. 67 ff.
- [3] Stäudel L., Werber B., Freiman T.: Lernbox. Naturwissenschaften verstehen und anwenden. Seelze 2002, S. 82–85
- [4] Gräber W., Nentwig P., Koballa T., Evans R. (Hrsg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Leverkusen 2002
- [5] Baumert J. u. a. (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Leverkusen 2001, S. 202–205 (Kompetenzstufen)
- [6] Kopfball: Physikalische Experimente mit der Sprudelflasche. Sendung des WDR vom 26.11.2000. Manuskript zur Sendung: www.kopfball-online.de/experimente/exp001126_b.html
- [7] James P. Sethna: Critical Droplets and Nucleation. Cornell University of Ithaca (NY), <http://www.lassp.cornell.edu/sethna/Nucleation/>
- [8] Schaber K.: Thermodynamik disperser Systeme. Skriptum SS 2002. (Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik der Universität Karlsruhe)
- [9] Weinert F., Helmke A.: Wie bereichsspezifisch verläuft die kognitive Entwicklung? In: Duit R., Gräber W. (Hrsg.): Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften. Kiel 1993, S. 27–43

Keimbildung – ein unwahrscheinliches Ereignis? [7, 8]

Das Schmelzen und Gefrieren wie auch das Verdampfen und Kondensieren sind Phasenübergänge 1. Ordnung, weil sie bei einer genau definierten Temperatur stattfinden, beim Wasser bei 0 bzw. bei 100 Grad Celsius. Der Übergang von einem Aggregatzustand in den anderen vollzieht sich aber allmählich, weil sich die Teilchen dabei umordnen und ein Energieaustausch mit der Umgebung stattfindet. Den Energiebetrag pro Masseneinheit, der notwendig ist um Wasser in den neuen Aggregatzustand zu überführen, nennt man Latente Wärme (L). Sowohl Eiskwürfel wie auch Dampfblasen haben scharfe Grenzen gegenüber dem umgebenden Wasser mit einer Oberflächenspannung beziehungsweise Freier Energie pro Flächeneinheit σ . (Diese Oberflächenspannung bewirkt unter anderem, dass Gasblasen und Regentropfen rund sind.)

Oft kann man Phasenübergänge erster Ordnung überhitzen oder unterkühlen: Wasser, das keine Staubpartikel enthält und sich in einem sehr glatten Glasbehälter befindet, kann man um mehrere Grade unterkühlen (ΔT). Ganz ähnlich kann man Wasserdampf unterkühlen.

Die Ursache dafür, dass man Phasenübergänge erster Ordnung unterkühlen beziehungsweise überhitzen kann, liegt darin begründet, dass die beiden Aggregatzustände durch eine Barriere Freier Energie voneinander getrennt sind. Bildlich gesprochen muss man erst eine relativ große Blase der neuen Phase erzeugen, damit sie wachsen kann. Ursache dafür, dass kleine Blasen nur sehr schlecht wachsen können, ist die Oberflächenspannung σ . Bei kleinen Blasen muss vergleichsweise viel Energie aufgewandt werden, damit ihr Volumen zunehmen kann.

Mithilfe der Thermodynamik kann man folgende Überlegungen anstellen:

Die Freie Energie eines Tropfens mit dem Radius R ist die Summe des Energieaufwands, der von der Oberflächenspannung herrührt ($4\pi R^2\sigma$), und dem Energiegewinn auf Grund des Volumens der neuen Phase $(4/3)\pi R^3\rho\Delta f$.

Dabei ist ρ die Dichte der neuen Phase und Δf die Differenz der Freien Energie pro Masseneinheit.

Δf ist umso größer, je größer der Wert der Latenten Wärme L ist und abhängig vom Grad der Unterkühlung $\Delta T/T_c$.

Somit gilt: $\Delta f = L\Delta T/T_c$.

Trägt man die Freie Energie F als Funktion des Radius (R) auf (Abb. 3), dann findet man einen Radius R_c , der größer wird wenn die Unterkühlung oder Überhitzung ΔT kleiner wird ($R_c \approx 1/\Delta T$) und eine Größe der Energiebarriere die sich ebenfalls mit ΔT ändert ($B \sim 1/\Delta T^2$).

Diese Energiebarriere B ist die Ursache dafür, dass man ein

Gefäß mit Wasser unterkühlen oder überhitzen kann. Zur Bildung der neuen Phase muss man nämlich einen Keim des Radius R_c bilden bzw. muss man die Energie B aufbringen. Die Keimbildungsrate ist das Produkt aus einem Faktor mal der Wahrscheinlichkeit, sich oben auf der Energiebarriere zu befinden. Diese Wahrscheinlichkeit wird gegeben durch den traditionellen Boltzmann (oder Arrhenius-) Faktor $\exp(-B/kT)$. Bei geringer Unterkühlung oder Überhitzung wird B groß und die Keimbildungsrate $\exp(-B/kT)$ wird sehr, sehr klein. Sie wird tatsächlich so klein, dass – trotz großer vorhandener Mengen Wasser und somit genügend Orten für die Keimbildung und obwohl sich die Wassermoleküle sehr schnell umordnen (unter der Voraussetzung, dass der Faktor/die Konstante groß ist) – die Wahrscheinlichkeit der Keimbildung für einen Eiskristall oder für eine Gasblase vernachlässigbar klein ist.

Dies ist die Theorie der homogenen Keimbildung. Im realen Leben bilden sich Keime der neuen Phase zum Beispiel an Staubpartikeln, Materialdefekten oder Unregelmäßigkeiten des Behältermaterials (das ist übrigens der Grund dafür, dass die Blasenbildung in Sodawasser oder in siedendem Wasser meist an den Wänden oder am Boden stattfindet und auch dafür, dass man Wolken impfen kann, damit es regnet). Die Teilchen der instabilen Phase werden jede „Abkürzung“ benutzen, die sich bietet und ein Staubteilchen etwa von der Größe R_c mit hinreichender Anziehung für Wasser bildet leicht ein Schlupfloch, das den Phasenübergang beinahe unmittelbar dann ermöglicht, wenn er nach der Übergangstemperatur stattfinden sollte.

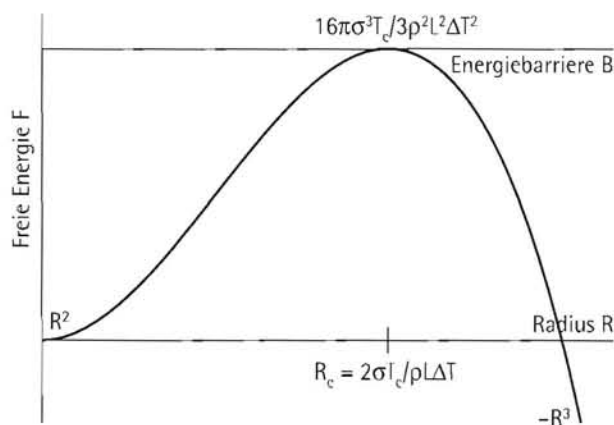


Abb. 3: Der Radius wird größer, wenn die Unterkühlung oder Überhitzung ΔT kleiner wird

- [10] Ball H. u. a. (Hrsg.): Friedrich Jahresheft 2003 „Aufgaben“. Seelze 2003; vgl. insbesondere die Beiträge: Stäudel L.: Zäune, Geländer, Halteseile. Reflexionen über Aufgaben. S. 18–20; SINUS-Projektgruppe: SINUS-Projektgruppe Naturwissenschaften Hessen: Selbstständig Verstehen entwickeln. Aufgaben als Freiräume für das eigene Denken. S. 119–121
- [11] Pfeifer P., Häusler K., Lutz B.: Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. In: Konkrete Fachdidaktik Chemie. München 1992. S. 213 ff.

- [12] z. B. Moser L., Mannherz J., Lindemann H., Schmidkunz H.: Galvanische Elemente und die Spannungsreihe im forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren. In: NiUC 66 (2001), S. 30–33
- [13] Duit R.: Initiativen zur Verbesserung des Physikunterrichts – Reaktionen auf das mittelmäßige Abschneiden deutscher Schülerinnen und Schüler in internationalen Vergleichsstudien. Vortragsmanuskript. GDP-Frühjahrstagung 2002, Leipzig, S. 6 <http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/vortrag/Duit/DPGPL.pdf>

► Dr. Lutz Stäudel, seit 1976 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Kassel (Chemiedidaktik)

Eisenschmiede 76, 34125 Kassel
lutzs@uni-kassel.de ◀

Herausgeber: Prof. Dr. Peter Pfeifer, Nürnberg, Thomas Freiman, Erlangen, Dr. Lutz Stäudel, Kassel

BASISARTIKEL

Lutz Stäudel	
Naturwissenschaftliches Arbeiten	4
Peter Pfeifer	
Was heißt „naturwissenschaftliches Arbeiten“?	7
Thomas Freiman	
Bildung? Grundbildung	12

UNTERRICHTSPRAXIS

Manfred Prenzel und Ilka Parchmann	
Kompetenz entwickeln	15
Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken	
Elfriede Nahrgang	
Förderung der Lesefähigkeit	20
Elke Peter	
Beobachten, Verbalisieren, Ordnen, Deuten	24
Ein „Starter-Experiment“ im Chemieunterricht	
Peter Slaby	
100 alltägliche Stoffe	28
Multiples Training im Umgang mit Informationen	
Karl Bögler, Judy Fuchs, Annett Hertel, Heike Roth und Wolf Kraus	
Durcharbeiten	30
Vom Schulbuchversuch zum selbst geplanten Modellversuch	
Andrea Gerdes	
Experimente entwickeln	33
Die Erhaltung der Masse	
Lutz Neider	
Anfangen - aber wie?	35
Chemieanfangsunterricht in Klasse 11	
Hubert Rösch	
Das projektorientierte naturwissenschaftliche Praktikum	37
Katrin Sommer	
Backpulver und Brausetablette	42
Anwendung naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen	

Michael Schminke und Peter Pfeifer	
Wie viel Zucker ist im Ice-Tea?	44
Eine qualitative und quantitative Untersuchung	
Katrin Sommer	
Blindproben	49
Ein unverzichtbarer Schritt auf dem Weg zur Klarheit	
Thomas Freiman	
Die Wertigkeit	52
Plädoyer für ein fast vergessenes Konzept	
Lutz Stäudel	
Messen und Auswerten	55
Die Spannungsreihe der Metalle	
Werner Rink	
Lithiumbatterien im Schullabor selbst herstellen	59
Ein Beispiel für ein anspruchsvolles Projekt	
Thomas Freiman	
Das Pulver selber wieder erfinden	65
Eine Retro-Modellierung	
Lutz Stäudel	
Der Mineralwasser-Effekt	67
Modellieren als Element naturwissenschaftlichen Arbeitens	
Andrea Gerdes	
Mit Modellen arbeiten	71
Legosteine, Massenkonstanz und das Gesetz der konstanten Proportionen	
Dagmar Steiner	
Neue Medien - andere Methoden	76
Volker Schlieker	
Arbeiten im Team	80
Erfahrungen in einem Grundkurs Chemie 13. Jahrgang	
Waltraud Habelitz-Tkotz	
Kumulativ lernen	84
Volker Woest	
Methode, Berater oder Experte	89
Die Förderung naturwissenschaftlichen Lernens durch die Rolle der Lehrperson	

MAGAZIN

ANREGUNG	Rebekka Heimann	
	Strategische Versuchsauswertung	93
	Eine Untersuchung zu kognitiven Voraussetzungen für naturwissenschaftliches Arbeiten	
	Heinz Schmidkunz	
	Zur Bedeutung der Konzentration	96

KARTEIKARTEN 99

Meike Pflüger und Harald Sachs	
Rotkohlsaft als Indikator	99
Martin Holfeld, Wolfgang Proske und Volker Wiskamp	
Fotometrische Coffein-Bestimmung in Energy-Drinks	99

Kurzfassungen jetzt unter
www.friedrich-verlag.de