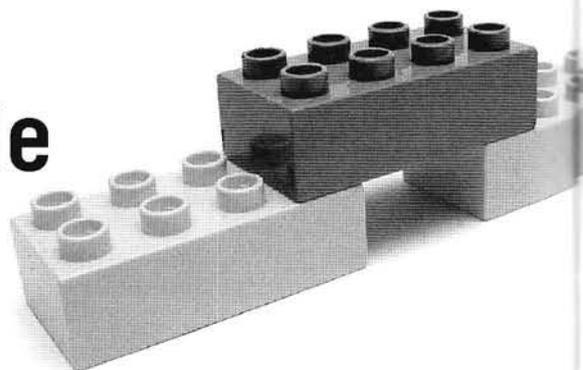


Vom Nutzen „unähnlicher“ Modelle

Legosteine und Teilchenkonzept

Von Lutz Stäudel



KLASSE:	Chemieanfängerunterricht
THEMA:	Kreidechromatografie Das Gesetz der konstanten Proportionen
METHODE:	Umgang mit Modellen Entwicklung eigener Modellleistungen

Modelle spielen eine zentrale Rolle als Mittel für die naturwissenschaftliche Betrachtung, Erklärung und Manipulation der Welt, ebenso aber auch für das Verständnis der Naturwissenschaften selbst. Die Bildungsstandards Chemie zählen (im Kompetenzbereich 2 „Erkenntnisgewinnung“) Modelle bzw. die Heranziehung von Modellen zu den typischen fachbezogenen Denkweisen. Insbesondere soll „die Verknüpfung gewonnener Erkenntnisse mit bereits geläufigen Konzepten, Modellen und Theorien“ die Ausbildung der Fähigkeit unterstützen, „chemische Phänomene zu erkennen und zu erklären“ und dadurch einen „Beitrag für die Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Weltverständnisses“ leisten. [1]

Zugleich ist gut bekannt, dass die im Unterricht benutzten Modelle zur Darstellung der Eigenschaften der kleinsten Teilchen für viele Schüler erhebliche Hürden für das Verstehen darstellen, obwohl sie doch eben dieses Verständnis fördern sollten [2].

Drei Vorbemerkungen zur Benutzung von Modellen

Ein kritischer Blick auf den Chemieunterricht legt den Eindruck nahe, dass zumindest ein Teil der Verständnisprobleme hausgemacht sind: Zu sehr stehen

die inhaltlichen Aspekte des jeweiligen Modells und deren Beherrschung im Vordergrund, zu sehr ist man auf ihre Abfolge *einfaches Teilchenmodell – Bohr – Rutherford – Orbital-Modell* fixiert und zu wenig wird reflektiert (und thematisiert), was die Modellbenutzung im Sinne naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen eigentlich bedeutet.

Modellieren statt bloß Modelle benutzen

Nachteilig wirkt insbesondere der Umstand, dass die Lernenden oft mit fertigen Modellvorstellungen konfrontiert werden, statt selbst an ihrer Erarbeitung beteiligt zu sein. Natürlich können Schüler keine Atommodelle „erfinden“, sie können aber sehr wohl innerhalb eines gegebenen Handlungsrahmens Erfahrungen mit Modellen oder Modellierungen machen, die ihnen den Umgang mit diesen Modellen, das Anwenden anderer Modelle wie auch die Entwicklung eigener Modellierungen anschließend erleichtern.

Allgemein betrachtet trifft der Begriff „Modellieren“ in vieler Hinsicht besser das, was von den Schülerinnen und Schülern mit Blick auf eine belastbare naturwissenschaftliche Grundbildung erwartet wird: Sie sollen konkrete Fragen, Erfahrungen, Ergebnisse in einen konsistenten kognitiven Zusammenhang stellen bzw. diesen Zusammenhang erarbeiten, herstellen oder ein angebotenes kognitives Konzept auf einen bestimmten Sachverhalt anwenden. In diesem Sinn heißt „Modellieren“, ein gedankliches Bild zu entwickeln, das die wesentlichen Charakteristika eines betrachteten Sachverhalts beschreibt.

Das Produkt – das gedankliche Modell – soll die (für den betrachteten Vorgang) wichtigen Eigenschaften der beteiligten Komponenten repräsentieren wie auch deren mögliche Wechselwirkungen und die potentiellen Veränderungen. *Modellieren als Element naturwissenschaftlichen Arbeitens* [3] beschreibt daher nicht primär ein Produkt, sondern vielmehr eine Tätigkeit: Die aktive mentale Auseinandersetzung mit einem Phänomen oder einem Prozess, dabei auch ein gewisses Maß an Abstraktion und Verallgemeinerung unter Nutzung naturwissenschaftlicher Denkmuster.

Falsche Gleichsetzungen

Ein verbreitetes Problem bei der Benutzung von Modellen ist die oft beobachtete Gleichsetzung von Modell und Gegenstand oder Prozess. Mikelskis-Seifert und Leisner stellen dazu fest, dass „Schüler die Modelle der submikroskopischen Teilchen häufig auf der gleichen Realitätsstufe wie Bücher oder Autos sehen“ [4]. Dies führt nicht nur oft zu falschen (weil kurzschlüssigen) Folgerungen, sondern behindert auch den Wechsel von einer Betrachtungsweise zu einer anderen, womöglich besser angemessenen Sicht. Bekannt sind diese Probleme im Chemieunterricht insbesondere im Zusammenhang mit den verschiedenen benutzten Atommodellen: Nur wenn für die Lernenden hinreichend deutlich wird, dass es nicht um Richtigkeit geht, sondern „nur“ um Angemessenheit im Kontext einer bestimmten Fragestellung, werden die Schülerinnen und Schüler einen von der Lehrkraft vorgeschlagenen Modellwechsel annehmen und nachvollziehen können.

Die Vorschläge zur Vermeidung solcher schädlichen Gleichsetzungen sind vielfältig, eine Strategie ist die konsequente Unterscheidung, Abgrenzung und das In-Beziehung-Setzen von Erfahrungswelt und Modellwelt (Mikelskis-Seifert), eine andere besteht in der bewusst nur *partiellen Modellierung*, wie man sie von den Funktionsmodellen der Biologie her kennt: Wenn man die Bauchatmung mittels PET-Flasche (für den Brustkorb), Luftballon (für die Lunge und einen zweiten für das Bauchfell) sowie Stopfen und Glasröhrchen (für die Luftröhre) modelliert [5], wird kein Schüler auf den Gedanken kommen, sein Atmungssystem sei aus eben diesen Elementen aufgebaut.

„Unähnliche Ähnlichkeit“

Die unzulässige Gleichsetzung von Ding und Bild war schon von jeher ein Problem der menschlichen Geistesgeschichte. Das Bilderverbot mancher Religionen (als radikales Gegen-Mittel) ist hier ein beredtes Beispiel. Differenzierter betrachtet man dieses Problem offenbar in der mittelalterlichen Scholastik. So findet sich in Umberto Eco's „Der Name der Rose“ ein Zitat, das das Verhältnis vom Bild als Modell eines Gegenstands zu jenem auf ganz eigene Weise thematisiert:

Omnes ergo figura tanto evidentius veritatem demonstrat quanto apertius per dissimilium similitudinem figuram se esse et non veritatem probat [6].

Sinngemäß und auf den Modellgebrauch gewendet lautet die Übersetzung: „Jedes Modell (Bild) weist umso deutlicher auf das eigentliche Ding hin, je offener es durch *unähnliche Ähnlichkeit* zeigt, dass es eben ein Modell (Bild) ist und nicht das Ding (die Wahrheit) selbst.“

„Unähnliche Ähnlichkeit“ – dies gilt für Modelle in den Naturwissenschaften durchaus häufiger, man betrachte nur das erwähnte Beispiel eines Funktionsmodells. Hier wird die These vertreten, dass eine gewisse Unähnlichkeit es den Lernenden an vielen Stellen leichter macht nachzuvollziehen, dass das Modell lediglich ein nützliches mentales Konstrukt ist, das bestimmte Eigenschaften des Gegenstands und deren Wechselwirkungen

darstellt und keineswegs einen Anspruch auf „Wahrheit“ erhebt.

Legosteine als Modell für Teilchen erfüllen diese Bedingung aufs Beste! An zwei Beispielen soll im Folgenden gezeigt werden, wie mit Lego gewinnbringend gearbeitet werden kann, ohne dass weitergehende Annahmen über die Teilchen gemacht werden müssen.

Das erste Beispiel: Chromatographie mit Kreide

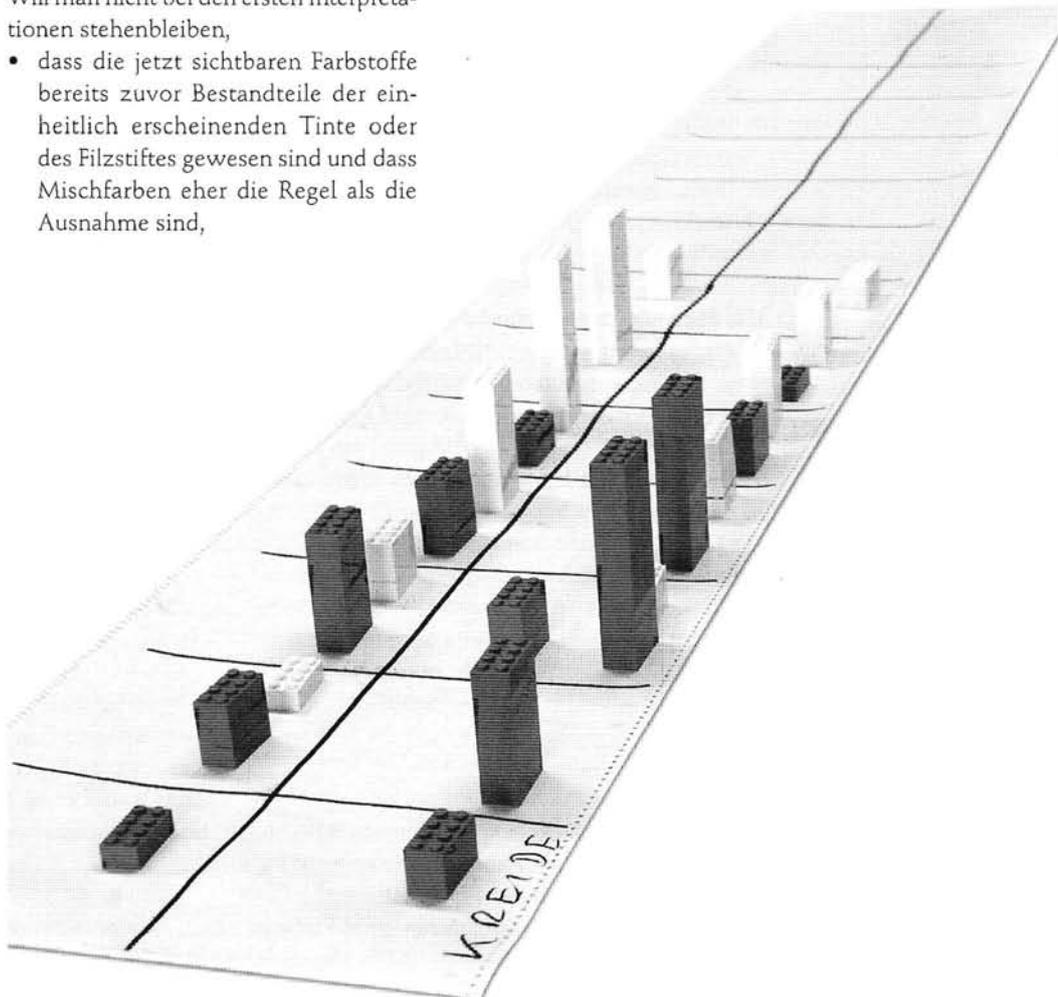
Die Kreidechromatographie gilt als Klassiker sowohl im Chemieunterricht wie auch im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht [7, 8]. Mit diesem Verfahren wird ein Gemisch wasserlöslicher Stoffe aufgetrennt, entweder zur Identifikation einer Tinte oder eines bestimmten Filzstifts oder zur Demonstration des Chromatographieprinzips (s. **Arbeitsblatt 1** und **Info 1**, S. 31 u. 32). Will man nicht bei den ersten Interpretationen stehenbleiben,

- dass die jetzt sichtbaren Farbstoffe bereits zuvor Bestandteile der einheitlich erscheinenden Tinte oder des Filzstiftes gewesen sind und dass Mischfarben eher die Regel als die Ausnahme sind,

- dass hier Kapillarkräfte am Wirken sind und dass man das Kreidestück mit einem Schwamm mit sehr kleinen Poren vergleichen kann, die das Wasser förmlich aufsaugen und so nach oben transportieren, dann bedarf es einer weitergehenden Modellierung.

Auswertung

Nach Beendigung des Spiels stellen die Gruppen ihre Ergebnisse vor, zuerst das Endergebnis nach neun Spielzügen, falls vorhanden auch ihre Protokollnotizen. Es wird deutlich, dass sich die unterschiedlichen Farbstoffe schon nach wenigen Zügen trennen, erst noch mit überlappenden Zonen, dann fast vollständig (**Abb. 1**).



1: Die Trennung der unterschiedlichen Farbstoffe wird schon nach wenigen Zügen deutlich

Entmischung von Farbstoffen mit Kreide

Ihr habt gesehen, wie sich durch aufsteigendes Wasser auf einem Kreidestück Mischfarben entmischen, weil sie unterschiedlich gut mitgenommen werden. Die verschiedenen Farbstoffe lösen sich besser oder schlechter im Wasser und haften besser oder schlechter auf der Kreide. Wie es dadurch zu einer Auftrennung kommt, sollt ihr jetzt mit Legosteinen herausfinden.

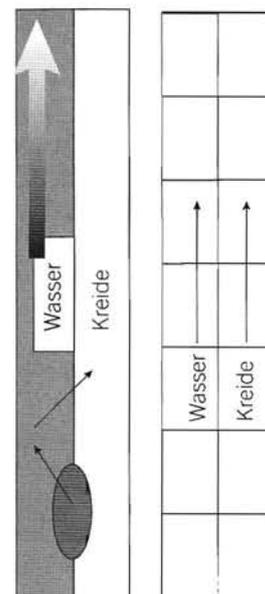
▼ MATERIALIEN

50 helle Legosteine, 50 dunkle Legosteine, eine 2 m lange Bahn von einer Küchenrolle

▼ VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Das Auftragen des Farbpunktes

- Teilt das Papier zuerst mit einem Strich der Länge nach in zwei ähnlich große Teile. Die rechte Hälfte soll die Kreide darstellen (also die stationäre Phase), in der linken Hälfte „bewegt sich“ das aufsteigende Wasser (also die mobile Phase).
- In der Realität steigt das Wasser ziemlich gleichmäßig nach oben – im Modell geht das nur schrittweise. Darum teilt ihr die Papierbahn durch Querstriche in 10 Abschnitte ein.
- Zum Start stellt ihr alle Legosteine in das erste Feld rechts unten. Das entspricht dem Auftragen eines Farbpunktes auf die Kreide.



Wenn jetzt „Wasser“ dazu kommt ...

- Von den hellen Steinen „löst“ das Wasser bei jedem Schritt $2/3$.
 $2/3$ von 50 sind (gerundet) 33.
Ihr legt also 33 helle Steine vom rechten unteren Feld ins linke untere Feld.
- Von den dunklen Steinen „löst“ das Wasser bei jedem Schritt $1/3$.
 $1/3$ von 50 sind (gerundet) 17.
Ihr legt also 17 dunkle Steine vom rechten unteren Feld ins linke untere Feld.
Jetzt wandert das Wasser weiter die Kreide hoch und nimmt dabei die gelösten Farbstoffteilchen mit:
Ihr transportiert alle Steine aus dem untersten linken Feld in das darüberliegende linke Feld.
Jetzt setzen sich die Farbstoffteile wieder auf der Kreide ab:
Ihr legt die Legosteine wieder vom linken in das rechte Feld.

Und dann folgt der nächste Schritt:

- Aus jedem rechten Feld (der stationären Phase) werden $2/3$ der hellen Legosteine (Farbstoffteilchen) und $1/3$ der dunklen Legosteine (Farbstoffteilchen) „gelöst“:
Ihr legt die entsprechende Anzahl Legosteine von rechts nach links.
- Dann werden sie (mit dem Wasser) ein Feld weiter nach oben transportiert.
- Die Farbstoffteilchen setzen sich wieder auf der Kreide ab und ihr legt sie wieder in das jeweilige Feld darunter.

Zur Kontrolle: In den drei rechten Feldern müssen sich jetzt folgende Steine befinden:

	22 H
	5 D
	23 H
	23 D
	5 H
	22 D

- Führt diese Schritte solange immer wieder durch, bis das „Wasser“ und die ersten Legosteine (Farbstoff-Teilchen) das Ende der Papierstrecke erreicht haben.
- Dokumentiert dann das Ergebnis!
- Steckt dazu alle Legosteine von einer Farbe in jedem Feld aufeinander und überträgt das Ergebnis in einen entsprechenden Graphen!

Achtung: Führt immer erst einen Zug ganz zu Ende, bevor ihr den nächsten beginnt! Wenn ihr immer 5 oder 10 Legosteine zusammensteckt, könnt ihr leichter abzählen. Rundet wie gewohnt: Bei einer 4 (oder kleiner) nach dem Komma rundet ihr ab, ansonsten rundet ihr auf – es gibt ja keine halben Teilchen. Zur Kontrolle könnt ihr nach jedem abgeschlossenen Zug den Spielstand protokollieren. Es ist hilfreich, wenn ihr dazu eine Tabelle mit 10 x 10 Feldern anlegt.

Kreidechromatographie

Auf ein Stück Tafelkreide werden ca. 1 cm von einem Ende entfernt auf je eine Seitenfläche mit wasserlöslichem Filzstift oder Füller Farbpunkte aufgetragen (**Abb. 2**). Die Kreide stellt man dann mit den Farbpunkten nach unten senkrecht in ein kleines Glas (oder Becherglas), in das zuvor $\frac{1}{2}$ cm hoch Wasser eingefüllt worden ist.

Erwartungsgemäß wird das Wasser durch die Kapillarkräfte in der Kreide nach oben gesogen. Beim Aufsteigen nimmt das Wasser die aufgetragenen Farbstoffe teilweise mit und erzeugt dabei charakteristische Muster: Aus schwarzer Tinte entstehen Farbfelder mit gelben, roten und blauen Tönen, brauner Filzstift offenbart eine Beimischung von rötlichen und blauen Komponenten.

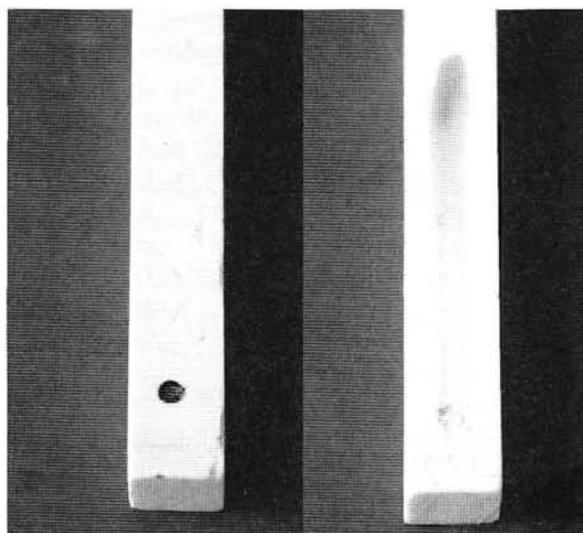
Eine mögliche Hinführung und die anschließende Modellierung

Die Schülerinnen und Schüler können ein Stück weit in die Modellierung einbezogen werden, wenn man das Kreide-Chromatographie-Experiment als System betrachtet. In Partnerarbeit sollen sie Antworten auf die folgenden Fragen finden:

- Welche Bestandteile kann man bei dem Experiment mit der Kreide identifizieren?
(Kreide, Wasser, Gefäß, Farbpunkte)
- Was ist vermutlich die Triebkraft des Vorgangs?
(als Wiederholung aus dem Klassengespräch: Saugende Wirkung der Kreide/ Kapillarkräfte)
- Was passiert beim Aufsteigen des Wassers in der Kreide mit den Farbstoffen?
(Sie werden z.T. gut, z.T. weniger gut „mitgenommen“ / getrennt / auseinander gezogen)
- Versucht, den Moment, in dem das Wasser den Farbstoffpunkt erreicht, auf der Teilchenebene zu beschreiben!

Eine Schwierigkeit bei der Beantwortung der letzten beiden Fragen liegt in der Tatsache begründet, dass es vielen Schülern, auch noch in Jahrgangsstufe 8/9, schwer fällt, einen Farbstoffpunkt und später die Farbstofffahnen als etwas Substanzhaftes zu begreifen. Als Hilfestellung kann man mit den Schülern vorab analoge Situationen erörtern, z.B. was passiert beim Schreiben mit einem Filzstift auf Papier, was, wenn Wasser über die Schrift läuft usw.

Die Vorstellung von „Farbstoffteilchen“ ist zugleich Voraussetzung und Ergebnis des im Folgenden angewandten Modells. Aufgrund der anschließenden Repräsentation der Farbstoffteilchen durch Legosteine kann diese Vorstellung aber gefestigt werden.



2: Kreidechromatografie

Ausgehend von den Ergebnissen der Partnerarbeit entwickelt man mit den Schülern ein modellhaftes Bild mit zwei Phasen, einer festen „stationären“ Phase und einer sich bewegenden „mobilen“ Phase. (siehe **Arbeitsblatt 1**) Wenn zwei Farbstoffe von der mobilen Phase unterschiedlich gut bzw. weit „mitgenommen“ werden, dann müssen sie sich notwendig in ihren Eigenschaften in Bezug auf diese beiden Phasen unterscheiden; dies klingt zwar nach Tautologie, im Kern bedeutet es aber einen Schritt zur Verallgemeinerung und Abstraktion. Inwieweit man dabei von „Lösen“ sprechen kann, hängt von der Jahrgangsstufe und dem vorausgegangenen Unterricht ab.

Anmerkung: Im Arbeitsblatt 1 werden aus Gründen der Lesbarkeit nur die Farbstoffe in Teilchensicht angesprochen, nicht aber das Wasser. Um zu vermeiden, dass sich dadurch inhomogene Vorstellungen - die Teilchenebene betreffend - herausbilden, muss dieser Sachverhalt mit den Schülerinnen und Schülern zu einem geeigneten Zeitpunkt – etwa bei der Diskussion der Modellreichweite – geklärt werden.

Gruppe	A	B	C	D
Zinkeinwaage	2,66	2,82	3,47	...
Zinkauswaage	2,16	2,36	2,96	...
Zinkverbrauch	0,50	0,46	0,51	...

Tab. 1: Ergebnisse der einzelnen Gruppen bei der Bestimmung des Zinkverbrauchs

Reflexion

Wenn für die Schülerinnen und Schülern deutlich werden soll, warum man in den Naturwissenschaften zu einem Modell wie dem durchgespielten greift, dann muss sich jetzt eine intensive Diskussion auf der Metaebene anschließen, bei der eine Rückübersetzung der Modellaussagen auf die Wirklichkeit stattfindet.

Gemeinsam kann geprüft werden, inwieweit die Modellergebnisse der Realität entsprechen:

- Nach dem Bild der Legosteine sollte der schnell wandernde Farbfleck asymmetrisch sein, mit einer deutlich höheren Intensität auf der Seite der wandernden Wasserfront.
- Umgekehrt sollte bei dem langsam wandernden Fleck die größte Farbintensität in der Nähe der Auftragsstelle sein.

Weitere Fragen können sein:

- Was ist im Modell anders als in der Wirklichkeit? Mit welchen Vereinfachungen haben wir gearbeitet?
- Was passiert, wenn sich die Farbstoffe in einem anderen Verhältnis zwischen den beiden Phasen verteilen?
- Warum kann man andere, manchmal bessere Ergebnisse erhalten, wenn man statt Wasser ein anderes Lösungsmittel benutzt?

Das gewählte Beispiel wurde erstmals in einer 9. Klasse im Realschulzweig erprobt und hat sich inzwischen in vielfältigen Unterrichtssituationen (und Klassenstufen) bewährt, weil es ein eindrucksvolles Experiment mit einer komplexen Modellierung verbindet. Das für die Schülerinnen und Schüler gut nachvollziehbare Ergebnis zeigt exemplarisch, wie die Naturwissenschaften ihre Gegenstände gedanklich durchdringen und durch idealisierte Modelle beschreiben [vgl. 9].

Legosteine haben sich für diese Modellierung nicht nur wegen ihrer „unähnlichen Ähnlichkeit“ bewährt, sondern

auch aus ganz praktischen Gründen:

- Sie sind leicht abzählbar, viel leichter als die an anderer Stelle vorgeschlagenen Erbsen oder Murmeln,
- Die Spielstände lassen sich leicht in Balkendiagramme übertragen, was die Interpretation deutlich vereinfacht.
- Legosteine in ausreichender Zahl bekommt man günstig auf Flohmärkten, natürlich auch im Spielwarenhandel oder unmittelbar vom Hersteller (www.lego.com/deu).

Das zweite Beispiel: Das Gesetz der konstanten Proportionen

Für die Erarbeitung von *Massenerhaltung* und des *Gesetzes der konstanten Proportionen* ist die Vorstellung von kleinsten Teilchen grundlegend. A. Gerdes hat in diesem Kontext bereits vor einiger Zeit einen Weg vorgeschlagen, bei dem der Einsatz von Legosteinen zur Festigung der Teilchenvorstellung beitragen kann [10]. Im konkreten Zusammenhang geht es zunächst um die Substanzhaftigkeit auch nicht sichtbarer Teilchen, des Weiteren um die Zuordnung immer gleicher Massen zu bestimmten Teilchen- bzw. Atomsorten.

Auf Grundlage einer Reaktion im geschlossenen System – Eisen wird unter Kontrolle der Masse oxidiert – kann mit den Schülern thematisiert werden, wem denn überhaupt die ermittelte Masse(n) zuzuschreiben sei(en). Die Identifikation der Teilchen als Masseträger liegt nahe, wenn zuvor die Aggregatzustände und ihre Übergänge mittels eines einfachen Teilchenmodells erarbeitet worden sind.

In Gruppen erhalten die Lernenden dann ein Sortiment Legosteine mit dem Auftrag, die Reaktion auf Teilchenebene mit Hilfe dieser Steine nachzubilden

und dabei das Wägeregebnis zu berücksichtigen. Die Schüler repräsentieren Eisen- und Sauerstoffteilchen durch verschiedenfarbige Steine, die sie dann zur Veranschaulichung des entstandenen Produktes in gleicher Anzahl zusammenbauen. Auf diese Weise visualisieren sie bereits das zugehörige Reaktionsschema, worauf im weiteren Unterrichtsverlauf auch bei anderen Reaktionen wieder zurückgegriffen werden kann.

Am Modell-Beispiel lässt sich jetzt unschwer nachvollziehen, dass bei der Reaktion aus einem Teil Sauerstoff (Molekül- und Atombegriff waren zu dieser Zeit noch nicht bekannt) und einem Teil Eisen ein Teil Eisenoxid entsteht. Mittels des Legosteine-Reaktionsschemas können die Lernenden weiterhin den Unterschied von Element und Verbindung für das ausgewählte Beispiel herausarbeiten: Auf der Eduktseite liegen die beiden beteiligten Stoffsorten getrennt voneinander vor, während sie auf der Produktseite „zusammengebaut“, d. h. miteinander verbunden sind. Dass bei einer Verbindungsbildung die Teilchen im chemischen Sinn nicht mehr die gleichen sind wie zuvor, wird im Modell ersichtlich nicht abgebildet. Dies kann aber mit Bezug auf die konkreten Beobachtungen thematisiert werden, ebenso wie der partielle Charakter dieser (wie jeglicher) Modellierung.

Die Metaebene: Textarbeit mit *Sofies Welt*

Zur Vertiefung des Verständnisses der Modellbenutzung kann man an dieser Stelle (mit sprachlich kompetenten Lerngruppen) einen Rückgriff auf den fast schon klassischen Text von J. Gaarder „Sofies Welt“ machen [11]. Der Autor erklärt seiner jungen Schülerin, wie zu verschiedenen Zeiten die Welt betrachtet (und philosophisch begrifflich modelliert) worden ist. Im Auszug lässt der „Lehrer“ das Mädchen erst Erfahrungen mit Legosteinen machen, regt sie zur Reflexion darüber an, etwa dass sie, „obwohl sie von unterschiedlicher Größe und Form sind, (...) mit allen anderen zusammengesetzt werden“ können. Und schließlich zieht er Parallelen mit der Sicht Demokrits (460–370 v. Chr.), der den Begriff der Atome eingeführt hatte.

Mit einem solchen Text kann, wie Gerdes ausführte, recht gut herausgearbeitet werden, welche Eigenschaften kleinster Teilchen durch Legosteine „abgebildet“ werden – und welche nicht. „Wir vergleichen die Eigenschaften von Legosteinen mit denen von Atomen und stellen fest, mit den Steinen ein leistungsfähiges Modell gefunden zu haben. Und schon steckten wir mitten in einer allgemeinen Diskussion über Modelle, ihr Anschauungsvermögen und ihre Grenzen“ [10, S. 72].

Verbindungsbildung quantitativ

In der Folge wird im Unterricht die Frage entwickelt, wie Verbindungsformeln überhaupt ermittelt werden können, wenn doch die einzelnen Atome so unendlich klein und ihre (Einzel-)Massen schwerlich festzustellen sind. Gerdes lässt die Lernenden zu diesem Zweck die Bildung von Zinkiodid aus den Elementen durchführen, und zwar parallel in mehreren Gruppen. Die Zinkblech-Stückchen unterscheiden sich von Gruppe zu Gruppe in ihrer Masse; es wird aber darauf geachtet, dass das jeweils in gleicher Menge ausgegebene Iod (2 g) im Unterschuss vorliegt. Gewogen wird anschließend das unverbrauchte Metall.

Aus diesen Daten bestimmen die Lernenden anschließend den Zinkverbrauch, der in allen Gruppen als in etwa gleich identifiziert wird. Charakteristische Ergebnisse zeigt **Tabelle 1**.

Auf diese Weise erhält man das Massenverhältnis für das Produkt Zinkiodid, das im weiteren jetzt mittels Legosteinen modelliert werden kann. Das zahlenmäßige Verhältnis der Teilchen in der entstandenen Verbindung kann dabei auf zweierlei Wegen ermittelt werden:

- Die ermittelten Reaktionsmassen (2 g Iod / 0,5 g Zink) werden durch die im PSE angeführten Atommassen dividiert und durch Legosteine unterschiedlicher Farbe repräsentiert.
- Die zu verwendenden Legosteine werden mit den Atommassen aus dem PSE beschriftet und die Anzahl bestimmt, die zur Repräsentation der Reaktion notwendig sind.

Es zeigt sich schnell, dass auf ein Zinkatom zwei Atome Iod kommen. Der Übergang von der Legosteine-Ebene zum

verschriftlichten Reaktionsschema gelingt anschließend schnell. Nachfolgend kann dann die zugehörige Reaktionsgleichung mit den betreffenden Element- bzw. Verbindungssymbolen eingeführt werden.

Verallgemeinern lässt sich jetzt auch das Gesetz der konstanten Proportionen: Es spielt ganz offenbar keine Rolle in welchem Überschuss man „Zink“-Legosteine zu einer konstanten Anzahl „Iod“-Legos gibt, wenn sich nur ein bestimmtes Zahlenverhältnis für das Produkt ergeben kann. Mit dieser – dynamischen – Vorstellung im Kopf lassen sich dann auch historische Prozesse nachvollziehen und verstehen, warum es einer qualitativen Neubetrachtung bedurfte (weg von der Kontinuumsvorstellung und hin zur Teilchenvorstellung), damit dieses Gesetz formuliert werden konnte.

Der praktische Nutzen

Gerdes verweist darauf, dass der Einsatz der Lego-Modellierung insbesondere den sicheren Umgang mit Koeffizienten und Indizes in Verbindungsformeln und Reaktionsgleichungen befördert hat. Ähnliches gilt auch für die Interpretation von Verhältnisformeln als Massenverhältnissen: „Nicht wenige der Lernenden waren der Anforderung des formalen Errechnens nicht gewachsen. Und so war der fallende Groschen buchstäblich zu hören, als sie auf die konkrete Anschauung zurückgriffen, indem sie die Steine den Verhältnissen entsprechend einander zuordneten.“ [10, S. 73; vgl. auch 12]

Schlussbemerkung

Das Plädoyer für Lego soll längst keine Absage an die bewährten Modelle und Darstellungen des Mikrokosmos sein. Was „Lego“ ergänzend aber leistet, ist die Relativierung des Modellbegriffs [vgl. auch 14]. So kann diese Akzentuierung die Kompetenzentwicklung im Umgang mit diesem wichtigen Basis-konzept befördern, indem es den Werkzeugcharakter von Modellen erkennbar werden lässt. Im Verlauf der Mittelstufe sollte sich im Ergebnis die Einsicht herausbilden, dass es grundsätzlich so viele Modell-Werkzeuge geben könnte,

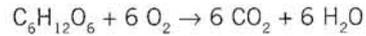
wie es Fragestellungen gibt, dass sich im Verlauf der Wissenschaftsgeschichte eine Reihe von besonders „wirkmächtigen“ Modellen entwickelt hat – aber dass sich jeder selbst Modelle und Modellierungen aneignen muss, wenn er oder sie „verstehen“ will, und dass man auch selbst Modelle entwerfen darf und kann.

Literatur

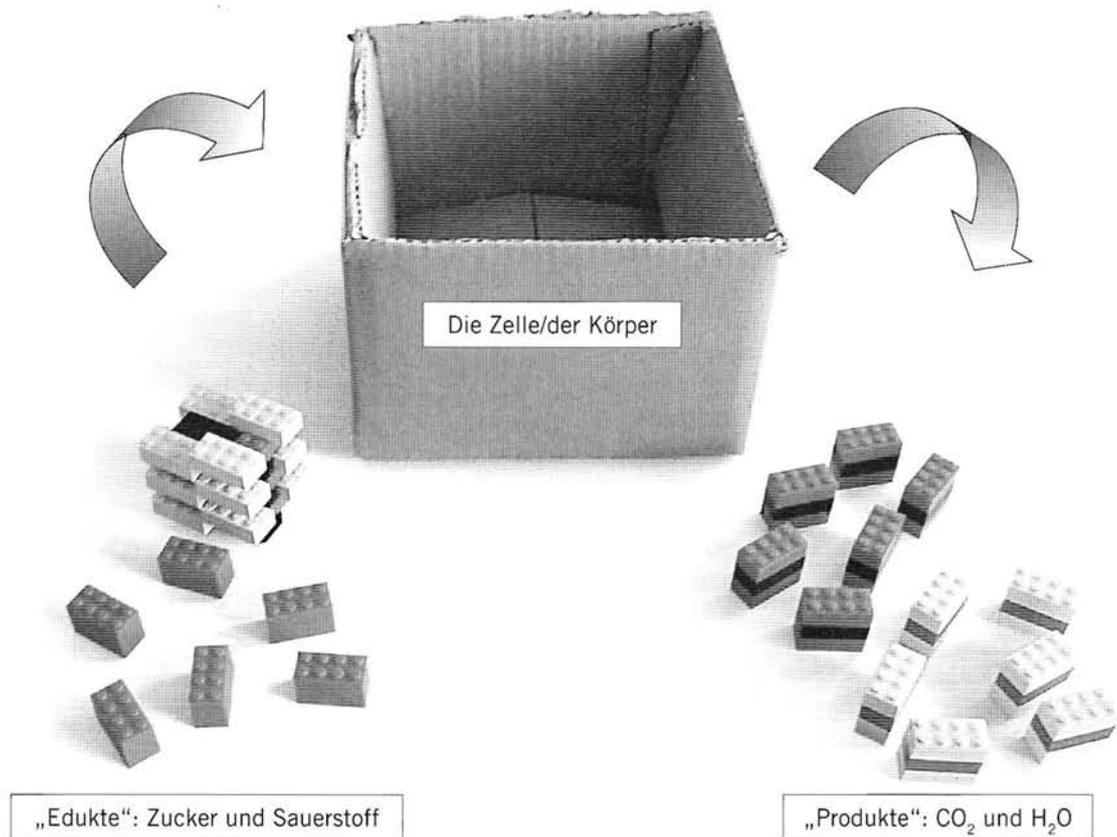
- [1] Beschlüsse der Kultusministerkonferenz: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10) vom 16.12.2004. München 2005. Abschnitt 2.2, S. 9
- [2] z. B. Mikelskis-Seifert, S.: Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. Berlin 2002 und: Wege zum Atombegriff I: Didaktische Anmerkungen und Stand der Forschung. In: Behrendt, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Chemie und Physik, Alsbach 1998, S. 349–351
- [3] Duit, R.; Gropengießer, H.; Stäudel, L. (Hrsg.): Naturwissenschaftliches Arbeiten. Seelze 2007 (2. Aufl.); insbes. S. 104–105; siehe auch die Themenhefte „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ der Zeitschriften UC (Nr. 76/77, 2003) und UP (Nr. 74, 2003)
- [4] Mikelskis-Seifert, S.; Leisner, A.: Lernen über Teilchenmodelle. Das Denken in Modellen fördern. In: R. Duit u. a., S. 122 f., hier: S. 123
- [5] Zabel, J.: Wie funktioniert die Bauchatmung? In: R. Duit u. a., S. 105–112
- [6] Nach Umberto Eco: Der Name der Rose. München 2004, S. 334. Theo van Velthoven schreibt dieses Zitat dem spätmittelalterlichen Metaphysiker Hugo von St. Viktor zu. Wörtlich übersetzt: *Daher weist jede Figur (jedes Bild) umso offensichtlicher auf die Wahrheit hin, je offener sie (es) durch unähnliche Ähnlichkeit zeigt, dass sie (es) eben eine Figur (ein Bild) ist und nicht die Wahrheit.* (Zeichen, Wahrheit, Macht. In: Burkhardt Körber (Hrsg.): Zeichen in Umberto Ecos Roman ‚Der Name der Rose‘. München 1987, S. 276, – 301)
- [7] Stäudel, L.: Modellieren – ein Versuch mit Kreide und ein Prozessmodell mit Legosteinen. In: Lernchancen, H. 42 (2004), S. 44–47
- [8] Vgl. z. B. das Schulbuch Navigator. Stuttgart 1998
- [9] Harsch, G.: Statistische Spiele für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Stuttgart 1982
- [10] Gerdes, A.: Mit Modellen arbeiten. Legosteine, Massenkonstanz und das Gesetz der konstanten Proportionen. In: UC 14 (2003), Nr. 76/77, S. 71–75
- [11] Gaarder, J.: Sofies Welt. München 1998; der verwendete Auszug wurde den Seiten 54–57 entnommen und ist bei [9] dokumentiert.
- [12] Brützel, B.: „... das genialste Spielzeug der Welt.“ – LEGO-Steine im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. In: PdN-Chemie H. 3, 50. Jg. (2001), S. 9–10
- [13] Habelitz-Tkocz, W.: Alles Teilchen oder was? Kumulative Entwicklung einer Teilchenvorstellung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. UC 16 (2006), Nr. 94/95, S. 20–25
- [14] Wagner, W.: Von LEGO®-Steinen und Duftmolekülen. In: UC 15 (2005), Nr. 87, S. 42

Stoffwechselforgänge im Biologieunterricht

Stoffwechselforgänge sind ein wesentliches Thema im Biologieunterricht, sie werden häufig durch Reaktionsschemata veranschaulicht. Wenn in Biologie-Schulbüchern schon früh Reaktionsschemata zum Stoffwechsel auftauchen, dann sind sie von den Lernenden oft kaum nachzuvollziehen. Ein Beispiel hierfür ist die Brutto-Reaktionsgleichung der Zellatmung:



Ein wenig anschaulicher wird es, wenn man (einem Vorschlag von T. Freiman folgend; vgl. auch [13]) die Schülerinnen und Schüler die Brutto-Reaktionsgleichung der Zellatmung mit Legosteinen nachbauen lässt (**Abb. 3**).



3: Nachbau der Brutto-Reaktionsgleichung der Zellatmung mit Legosteinen (ähnlich lässt sich die Photosynthese als Umkehrung des Prozesses darstellen)

Was hat man davon?

- Es entsteht eine Ahnung, worum es sich bei eben jener formelmäßigen Beschreibung handelt.
- Bei der Verwendung von Legosteinen als Modellbasis vermeidet man die Herausbildung „falscher“ Vorstellungen (etwa der, dass alle Teilchen irgendwie Kugelgestalt haben).
- Angebahnt wird das Konzept der Massenerhaltung, ebenso die Vorstellung, dass auch (unsichtbare) Gase eine Masse besitzen.
- Und schließlich wird eine Basis gelegt für die spätere Entwicklung von Kreislaufvorstellungen in der Natur auf Teilchenebene.