

Foto: Claudia Below

# Modellieren

## Ein Versuch mit Kreide und ein Prozessmodell mit Legosteinen

Modelle dienen der Verdeutlichung. Mit ihnen können sich auch Schülerinnen und Schüler ein Bild machen von dem, was sie in einer Untersuchung herausgefunden haben. Mit Lego-Steinen geht das besonders einfach.

**Lutz Stäudel** *Modellieren* heißt für den Bereich der Naturwissenschaften in erster Näherung, ein gedankliches Bild, eine kognitive Struktur zu entwickeln, die die wesentlichen Charakteristika eines betrachteten Sachverhalts beschreiben. 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* beschreibt aber nicht primär ein Produkt, sondern vielmehr die Tätigkeit, also die aktive mentale Auseinandersetzung mit einem Phänomen oder einem Prozess, ein gewisses Maß von Abstraktion und Verallgemeinerung unter Nutzung naturwissenschaftlicher Denkmuster. Als entwickelte Fähigkeit zählt das Modellieren schließlich zu den Kompetenzen im Sinne von scientific literacy, die Schülerinnen und Schüler während ihrer Schulzeit erwerben sollen.

Obwohl Modelle (soweit sie anschaulich sind) das Verstehen von komplexen Vorgängen erleichtern sollen, sind sie in der Praxis für viele Schülerinnen und Schüler oft ebenso wenig einsichtig wie die Realität, um die es letztlich geht. Ursache dafür ist einerseits die Abstraktheit vieler Modelle, zum anderen der Umstand, dass die Lernenden meist 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.

Das gewählte Beispiel, erprobt in einer 9. Klasse im Realschulzweig, verbindet ein ebenso eindrucksvolles wie bekanntes Experiment mit einer komplexen Modellierung, die jedoch durch überschaubare Handlungsanweisungen und ein leicht nachvollziehbares Ergebnis für die Schülerinnen und Schüler nachhal-

tig zeigt, wie die Naturwissenschaften ihre Gegenstände gedanklich durchdringen und durch idealisierte Modelle beschreiben.

### Das Experiment

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

Es lässt sich beobachten, dass das Wasser erwartungsgemäß in der Kreide nach oben gesogen wird. Dafür sind die Kapillarkräfte ver-



Abb. 1: Kreide mit Farbpunkten und Becherglas mit Wasser

antwortlich: ein Kreidestück ist wie ein Schwamm mit sehr kleinen Poren. 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 (Abb. 2).

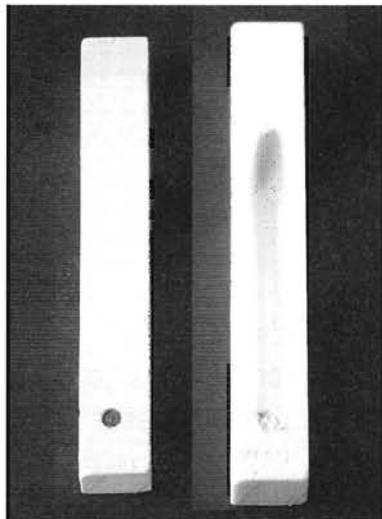


Abb. 2: Foto vom Versuch/ Versuchsergebnis

**Die erste Interpretation**

Den Schülern fällt die Einsicht nicht schwer, dass die jetzt sichtbaren Farbstoffe bereits zuvor Bestandteile der einheitlich erscheinenden Tinte oder des Filzstiftes gewesen sind. Mischfarben sind ihnen aus dem Kunstunterricht ja längst bekannt. Auch dass das Wasser in dem Kreidestück nach oben gezogen wird, ist ihnen nicht fremd. Mit saugfähigen Küchentüchern lassen sich Kaffeepfützen ebenso aufnehmen wie früher überschüssige Tinte mit einem Löschblatt. Dass die Saugwirkung umso stärker ist, je poröser das Material ist, lässt sich ebenfalls leicht verdeutlichen.

**Hintergründe**

Tatsächlich ist dieser kleine Versuch weit mehr als nur eine Farbspielerei. Er stellt als vereinfachte Anwendung ein wichtiges Trennverfahren

der Chemie dar: die Chromatografie. In Gaschromatografen, Flüssig-Chromatografen und ähnlichen Geräten werden kleinste Mengen von Substanzen voneinander getrennt, qualitativ wie quantitativ; nahezu die gesamte Umweltanalytik wie auch die medizinische Analytik benutzen chromatografische Verfahren im ersten Schritt der Auftrennung von Stoffgemischen. Es lohnt sich daher also, mit den Lernenden nicht nur die Ästhetik von Farbverläufen zu bewundern, sondern ihnen auch das allgemeine Prinzip der Chromatografie nahe zu bringen.

**Hinführung zum Modellversuch – die gemeinsame Modellierung der Voraussetzungen**

In Partnerarbeit versuchen die Schülerinnen und Schüler, einige grundlegende Fragen zu klären, indem sie die folgenden Fragen beantworten:

- Welche Bestandteile sind bei dem Experiment mit der Kreide zu erkennen? (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)

Als konkrete Hilfe wird ihnen zusätzlich folgende, auf die Dynamik des Vorgangs abzielende, Frage gestellt:

*„Versucht, den Moment zu beschreiben, in dem das Wasser den Farbstoffpunkt erreicht! Denkt dabei daran, dass alle Stoffe, das Wasser ebenso wie Farbstoffe, aus kleinsten Teilchen aufgebaut sind!“*

Eine Schwierigkeit bei der Beantwortung der letzten beiden Fragen liegt darin begründet, dass es vielen Schülern schwer fällt, den Farbstoffpunkt und später die Farbstofffahnen als etwas substanzhaftes zu begreifen. Dies aber ist eine der Vor-

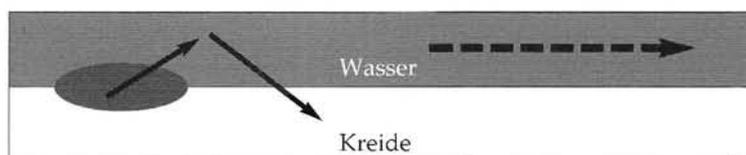


Abb. 3: Schemazeichnung

NAVIGATOR

- Idee** Modelle dienen der Verdeutlichung
- Material** Material 1: Anleitungsblatt, S. 46  
Material 2: Hilfe, S. 47

aussetzungen für das im Folgenden zu entwickelnde Modell. Als Hilfestellung kann man mit den Schülern weitere ähnliche Situationen erörtern, z. B.: „Was passiert beim Schreiben mit einem Filzstift auf Papier, was passiert, wenn Wasser über die Schrift läuft usw.“

**Das Modell**

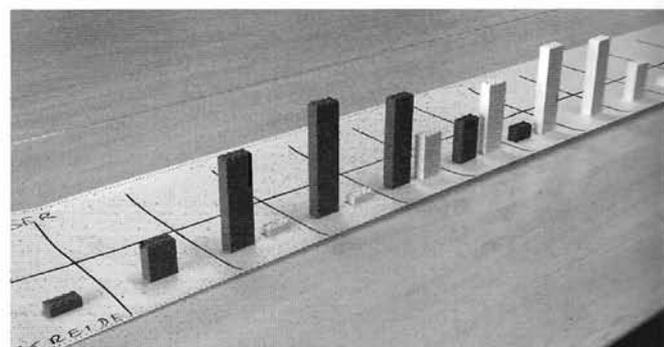
Bei der Beantwortung der letzten Frage in der Partnerarbeit finden die Schülerinnen und Schüler im Ansatz Erklärungen, bei denen das „Lösen“ im Wasser und das „Haften bleiben“ an der Kreide eine Rolle spielen. Ausgehend von diesen Begriffen entwickelt man mit den Schülern ein Bild mit zwei Phasen, einer festen „stationären“ Phase und einer sich bewegenden „mobilen“ Phase (Abb. 3).

Zwei Farbstoffe, die unterschiedlich weit von der mobilen Phase „mitgenommen“ werden, müssen sich demnach auch in ihren Eigenschaften in Bezug auf diese beiden Phasen unterscheiden:

- Ein Stoff, der praktisch mit der flüssigen Phase ungehindert „mitläuft“, muss sich sehr gut in dieser Phase (dem Wasser) lösen,
- ein Stoff, der nur wenig mitgenommen wird, muss gut am Untergrund, also an der stationären Phase, haften und wird sich auch weniger gut in der mobilen Phase lösen.

Nach Klärung dieser Voraussetzungen erhalten die Schüler gruppen-

So kann die Auswertung aussehen



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, zeigt ein Modellexperiment mit Legosteinen.

Ihr erhaltet für eure Gruppe:

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

Die Küchenrolle soll die Kreide darstellen, auf der sich das Wasser hochzieht.

Die Legosteine sind die Farbstoffteilchen.

1. Legt das Papier vor euch auf den Tisch oder auf den Boden. Mit einem dicken Filzstift „teilt“ ihr das Papier der Länge nach in zwei ähnliche große Teile. Die unter Hälfte ist jetzt die Kreide (also die stationäre Phase), die obere Hälfte stellt das aufsteigende Wasser (also die mobile Phase) dar.
2. Teilt das Papier jetzt durch Querstriche in zehn Abschnitte ein. Links vor den ersten Strich legt ihr ein Lineal quer über das Papier. Das ist jetzt die Front des aufsteigenden Wasser, die nachher von Abschnitt zu Abschnitt (nach rechts) weiter wandert.
3. Zum Start bringt ihr ALLE Legosteine in das erste Feld unten links. Das entspricht dem Auftragen eines Farbpunktes auf die Kreide.
4. Wenn jetzt Wasser dazu kommt, löst es einen Teil des aufgetragenen Farbstoffes, und zwar .....
  - von den hellen Steinen immer  $\frac{2}{3}$  und
  - von den dunklen Steinen immer  $\frac{1}{3}$ .(Ihr legt also  $\frac{2}{3}$  von  $50 = 33$  helle Steine von dem ersten Feld unten links (Kreide) in das darüber liegende Wasser-Feld und ebenso  $\frac{1}{3}$  von  $50 = 17$  dunkle Steine.)
5. Dann rückt die Wasserfront um einen Schritt nach rechts:  
Ihr transportiert alle Steine im oberen Feld (die gelösten Farbstoffteilchen) ein Feld weiter, also entlang der Kreide nach oben.
6. Jetzt setzen sich die Farbstoffteile wieder auf der Kreide ab: Ihr legt sie wieder in das Feld darunter.  
Wiederholt jetzt die Schritte 4, 5 und 6!  
( $\frac{2}{3}$  der hellen ... und  $\frac{1}{3}$  der dunklen ... Legesteine aus ALLEN unteren Feldern werden nach oben gelegt, dann ein Feld weiter transportiert und wieder zurück nach unten gelegt.)
7. Das Modellexperiment ist zu Ende, wenn das „Wasser“ und die ersten Farbstoff-Teile das Ende der Papierstrecke erreicht haben.  
Dokumentiert dann das Ergebnis! Steckt dazu alle Legosteine von einer Farbe in jedem Feld aufeinander und fertigt eine entsprechende Zeichnung an!

Wenn ihr immer 5 oder 10 Legosteine zusammensteckt, könnt ihr leichter abzählen. Zur Kontrolle solltet ihr nach jedem abgeschlossenen Zug (wenn alle Steine wieder liegen) den Spielstand protokollieren. Es ist hilfreich, wenn ihr dazu eine Tabelle mit 10 · 10 Feldern anlegt.

---



---



---



---



---



---

weise jeweils 50 helle und 50 dunkle Legosteine (Vierer- oder Achter-Steine haben sich besonders bewährt), einen Papierstreifen von ca. 2 m Länge (z. B. von einer Küchenrolle) sowie ein Anleitungsblatt (Mat. 1).

Legosteine haben sich für dieses Modell-Experiment besonders bewährt, weil sie leicht abzählbar sind (viel leichter als die von anderen vorgeschlagenen Erbsen oder Murmeln) und weil die Spielstände sich leicht in Balkendiagramme übertragen lassen, 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](http://www.lego.com/deu).

#### Auswertung

Nach Beendigung des Spiels stellen die Gruppen ihre Ergebnisse vor, zuerst das Endergebnis nach zehn Spielzügen, dann bei Bedarf auch noch ihre Protokollnotizen. Es wird deutlich, dass sich die unterschiedlichen „Farbstoffe“ schon nach we-

nigen Spielzügen trennen, zuerst noch mit überlappenden Zonen, am Ende fast vollständig.

#### Metakommentare

##### Was haben wir eigentlich gemacht und was bedeutet das?

Will man den Schülerinnen und Schülern verdeutlichen, warum man 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.

Zunächst kann geprüft werden, inwieweit die Modellergebnisse tatsächlich 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 Farbtintensität in der Nähe der Auftragsstelle sein.

Weitere Fragen können sein:

- Was ist im Modell anders als in der Wirklichkeit?
- Mit welche 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?

#### Literatur

Themenheft „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ der Zeitschrift *Unterricht Chemie* (H. 76/77, August 2003)

Themenheft „Naturwissenschaftliches Arbeiten“ der Zeitschrift *Unterricht Physik* (H. 74, März 2003)

Lernbox „Naturwissenschaften verstehen und anwenden“. Seelze 2002