

SINUS-PROJEKTGRUPPE
NATURWISSENSCHAFTEN HESSEN*

Selbstständig Verstehen entwickeln

Aufgaben als Freiräume für das eigene Denken

Brückenschläge zwischen Alltagsicht und (natur-)wissenschaftlicher Sicht der Welt gelingen nur dann, wenn die Lernenden selbst Baumeister sind. Aufgaben können dabei Anlass sein, Alltagserfahrungen zu ordnen, neu zu strukturieren und aus neuem, wissenschaftlichen Blickwinkel zu bewerten.

Scientific literacy ist die Forderung des Tages.³⁾ Aber wie soll das funktionieren, dass Schülerinnen und Schüler zumindest einige der großen Ideen der Naturwissenschaften erfahren, und möglichst nachhaltig noch dazu? Hat nicht die Menschheit Tausende von Jahren dazu gebraucht, um ein Geflecht von Wissenschaften samt ihren Methoden und spezifischen Darstellungsformen zu entwickeln? Wenn es außerdem zutrifft, dass Verstehen immer einen Akt von Aneignung, von Durcharbeitung, von geistiger Konstruktion voraussetzt und alles andere nur ein schnell verwehender Eindruck von Erkennen ist – wie könnte Schule dies realistischerweise leisten? Zu allem Überfluss wäre da auch noch die Mathematik als universelles Werkzeug der Naturwissenschaften, ein doppeltes Hindernis also?

Beginnen wir beim letzten Argument, bei den Schwierigkeiten, die sich durch den hohen Grad der Mathematisierung in den Naturwissenschaften zu ergeben scheinen. Und mit dessen Widerlegung: In den USA wurden Physiker verschiedener Universitäten darum gebeten, eine Liste der schönsten und wichtigsten Experimente in der Geschichte aufzustellen, und schon bei flüchtiger Betrachtung lässt sich erkennen, dass zum Ver-

ständnis der Mehrzahl dieser Experimente die Mathematik im engeren Sinn von „Rechnen“ keine Rolle spielt. Galileis Frage lautete schließlich nicht, „Wie schnell ist die Fallgeschwindigkeit einer Kugel, die vom Schiefen Turm hinunterfällt, wenn sie am Boden ankommt?“, vielmehr wollte er wissen, ob es einen (systematischen) Zusammenhang gibt zwischen Dauer des Fallens und Fallgeschwindigkeit. Messungen – es gibt berechnete Zweifel, dass Galilei diesen Fallversuch überhaupt durchgeführt hat – Messungen und ihre zahlenmäßigen Ergebnisse sind lediglich das Rohmaterial zur Herausarbeitung eines Verhältnisses von Größen, für die Bestätigung oder das Verwerfen einer Vermutung über einen Zusammenhang. Rechnen und mathematisches Verständnis – es scheint sich womöglich um das grundlegende Missverständnis zu handeln, dass man durch vieles Rechnen etwas verstehen würde, wo es doch vielmehr und viel öfter auf Beziehungen ankommt, darauf wie sich eine Größe in Abhängigkeit von einer anderen entwickelt.

Also weiter zum grundsätzlichen Einwand: Wie könnten Schülerinnen und Schüler selbstständig dort Verstehen entwickeln, wo vorher nur Alltagswahrnehmung und Alltags-

weltsicht herrschen? Haben nicht Dutzende Untersuchungen gezeigt, dass trotz allen Bemühens schon nach kurzer Zeit sich die Letzteren wieder durchsetzen?²⁾

Tatsächlich ist es eher unwahrscheinlich, dass die bloße Vermittlung neuer Betrachtungsweisen zu dauerhaft verändertem Denken führt. Vielmehr muss den Lernenden Raum gegeben werden, zu eigener geistiger Aktivität, zur Auseinandersetzung mit einem Problem. Hierzu haben sich Aufgaben eines bestimmten Zuschnitts als besonders fruchtbar erwiesen – zur Bildung neuer Vorstellungen, zur Anbahnung von Modellen.

Die folgenden Beispiele wurden im Kontext des BLK-Modellversuchs SINUS (Programm zur Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts)³⁾ entwickelt und sind Bestandteil der SINUS-Fortbildungen, die in Hessen für alle naturwissenschaftlichen und mathematischen Fachkollegien der Sek. I angeboten werden⁴⁾.

Erfahrungen als Basis für die Suche nach der Verallgemeinerung

Ein wichtiges Gesetz in der Physik ist das Hebelgesetz, die Tatsache also, dass eine Kraft

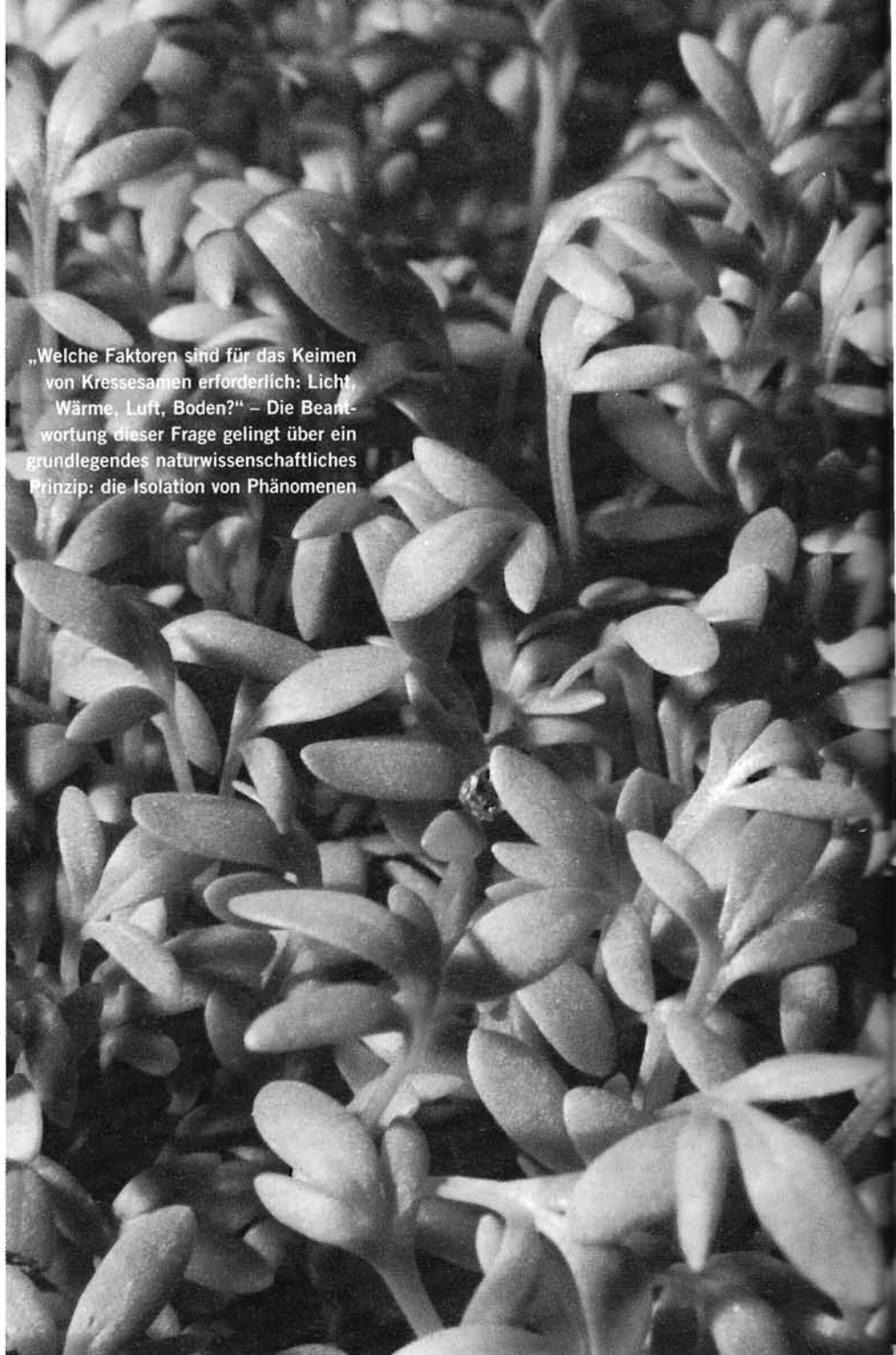
umso mehr „Wirkung“ entfaltet, je weiter sie vom Drehpunkt des Hebels entfernt ist. Kinder und Jugendliche verfügen durchaus über entsprechende Erfahrungen: Auf der Wippe muss sich ein leichteres Kind weiter nach außen setzen, um Gleichgewicht mit dem schwereren Gegenüber halten zu können. Eine Übertragung auf die stilisierten Gerätschaften des Physikunterrichts ist jedoch weder leicht noch selbstverständlich. Transferleistungen, das wissen wir seit Weinert⁵⁾, finden spontan selten oder nie statt. Üblicherweise werden für den Waagebalken des Physikunterrichts Aufgaben gestellt nach dem Motto: „Wie viele Einheitsmassen musst du an Position 4 des Kraftarms hängen, wenn bei Position 2 des Lastarms 3 Massstücke angehängt sind?“ Die Aufgabe ist eng vom erwarteten Ergebnis abgeleitet, der Versuch eigentlich nur Staffage.

Eine veränderte Aufgabe für die Schülerinnen und Schüler lautet stattdessen: „Stell am Waagebalken durch Anhängen von Massestücken möglichst viele unterschiedliche Gleichgewichtssituationen her.“ Mit dieser Aufgabe wird einerseits eine Verknüpfung zu den Erfahrungen des Spielplatzes ermöglicht, wo auch ein, zwei oder mehrere Kinder das Ausbalancieren erproben, andererseits entsteht umfänglich Zahlen-Material, das, in Tabellenform gelistet und sortiert, dann die Basis ist für die gemeinsame Herausarbeitung des Hebelgesetzes in seiner bekannten Form: *Kraft mal Kraftarm = Last mal Lastarm.*

Vorerfahrungen strukturieren

Wie Weniger⁶⁾ immer wieder beklagte, ist die Vorstellung davon, dass alle Materie aus kleinsten Teilchen aufgebaut sei, außerhalb der Naturwissenschaften stets der Vorstellung von einem Kontinuum der Stoffe unterlegen. Tatsächlich gibt es im Alltag und für das Alltagshandeln keine stichhaltigen Gründe, die Teilchensicht der Kontinuumssicht vorzuziehen. Erst bei Fragen der Mengen- und Massenverhältnisse, wie sie bei chemischen Reaktionen auftreten, entfaltet die Teilchenvorstellung ihr spezifisches Potenzial. Von den vielen Aufgaben zur teilweisen eigenen Durcharbeitung seien hier nur zwei angeführt: eine zur Unterstützung der Vorstellung, dass auch „zwischen durch“ keine Materie verloren geht, die andere als Nahelegung einer modellhaften Vorstellung im Kontext von bekannten Phänomenen.

Wenn Eis schmilzt und zu Wasser wird, dieses schließlich bei weiterem Erhitzen verdampft, dann ist damit oft die Vorstellung verbunden, etwas hätte aufgehört zu existieren – obwohl alle Schülerinnen und Schüler den Wasserkreislauf schon in der Grundschule gelernt haben. Die folgende Aufgabe bezieht



„Welche Faktoren sind für das Keimen von Kressesamen erforderlich: Licht, Wärme, Luft, Boden?“ – Die Beantwortung dieser Frage gelingt über ein grundlegendes naturwissenschaftliches Prinzip: die Isolation von Phänomenen

sich unmittelbar auf das früher Gelernte, zudem fordert sie aber auch das konstruktive in-Beziehung-Setzen von Alltagserfahrungen, die so schließlich eine Art System ausbilden:

Entwerft in der Gruppe Versuche, durch die man die Übergänge der Zustandsformen des Wassers, Eis – Wasser – Wasserdampf, sichtbar machen kann. Zeigt bei den Versuchen, dass Übergänge auch in der umgekehrten Richtung (z. B. Wasserdampf → Wasser stattfinden können.)

Beschreibt eure Versuche so genau und versteht sie mit Skizzen zum Versuchsaufbau, dass sie von einer anderen Gruppen durchgeführt werden können.⁷⁾

Die Ergebnisse rekurren z. T. explizit auf Küchengerätschaften, mit denen übrigens im Praxistest stets auch die beste Ausbeute der Rückgewinnung von Eis gelingt. Mit Aufgaben wie diesen wird ein Verständnis angebahnt bzw. verstärkt, das die Materie zwar als veränderbar, aber permanent begreift.

Als papiernes und modellhaftes Pendant zu dieser Art von Durcharbeitung, bei der es hauptsächlich um das Sortieren von Vorerfahrungen und Alltagsbeobachtungen geht, kann die Arbeit mit dem Kärtchentisch zu den Aggregatzuständen des Wassers gelten: Aus vielen ausgeschnittenen Teilen, die nur eine (richtige) Lösung zulassen, legen die Ler-



Foto: Leuschner

Methoden. Da werden Phänomene isoliert, vom Ganzen abgesehen, da wird das „cui bono“ ausgeblendet, und wie M. Minssen es formuliert, bleiben anschließend im Labor nur noch gestaltlose „Stoffe“ übrig. „Gold ist kein Ring, Eisen ist keine Kette, Zucker kein Stück Kandis. Es sind keine ganzen Stücke mehr da, sondern kleine Portionen farbloser Lösungen in einer Pipette, ein paar Körnchen weißen Kristallpulvers auf der Spitze eines Spatels.“⁹⁾ Dennoch ist es dieses Parzellieren, das Ausgrenzen und Ausblenden, was die Naturwissenschaften so ungemein erfolgreich hat werden lassen – aber auch der Preis für dieses Absehen hat hier seine Wurzel, etwa wenn die bodennah viel genutzten Fluorchlorkohlenwasserstoffe anschließend in großer Höhe die Ozonschicht zerstören, weil man nicht in der Lage war, den Bogen wieder zurückzuspannen, hier zur Frage *Was passiert eigentlich mit diesen Gasen nach dem Gebrauch? Was „tun“ sie im Verein mit den anderen Bestandteilen der Atmosphäre, und was, wenn noch weitere Faktoren hinzukommen?*

Wiederum zwei Beispiele für konkrete Aufgaben, die den Schülerinnen und Schülern bestimmte Gedanken sozusagen „nahe legen“, ihnen Gelegenheit geben, eine bestimmte methodische Sicht zu erproben und schließlich mithilfe der Lehrkraft als naturwissenschaftliches Spezifikum zu verstehen.

Eine Kerze wird leichter beim Abbrennen, ein Büschel Eisenwolle nimmt dagegen an Gewicht zu, wenn man es mit einem Feuerzeug entzündet, trotz wegspritzender Funken. Was also passiert beim Verbrennen? Vor die gleiche Frage gestellt „erfand“ G. E. Stahl das Phlogiston, den Feuerstoff mit negativem Gewicht. Heutigen Schülern kann man die Aufgabe stellen, eine Anordnung zu entwerfen, mit deren Hilfe man feststellen kann, ob das Gewicht zu- oder abnimmt. Die Entwürfe, die man daraufhin erhält, sehen teilweise futuristisch aus, meist aber wird das Experiment in einen Kasten aus Glas oder Plexiglas befördert und das Ganze dann auf eine Waage gestellt. In der Zusammenschau der Entwürfe wird schnell deren Gemeinsamkeit deutlich: Stets wird ein System definiert, das gegen die Umwelt abgeschlossen ist. Erst damit, so die erst implizite und anschließend explizit herausgearbeitete Vorstellung, lässt sich die gestellte Frage beantworten. Die Ein- bzw. Abgrenzung, die Isolation von Phänomenen zwecks genauerer Betrachtung und Analyse stellt aber, wie oben ausgeführt, eines der wesentlichen Prinzipien der Naturwissenschaften dar.¹⁰⁾

In ganz ähnliche Richtung geht die letzte der hier angeführten Aufgaben. Im Zusammenhang mit dem Pflanzenwachstum stellt sich u. a. die Frage nach den Bedingungen des

Keimens. Die Schülerinnen und Schüler finden schnell heraus, welche Faktoren dazu möglicherweise erforderlich sind: Licht, Wärme, Luft (Sauerstoff), Boden (oder ein anderes Substrat) und Wasser. Aber sind diese Vermutungen wirklich zutreffend? Wiederum kann eine offene Aufgabe gestellt werden:

Entwerft eine Versuchsreihe zum Keimen von Kressesamen, mit der herausgefunden werden kann, welche Faktoren für das Keimen unbedingt notwendig sind.

Nach kurzem Überlegen und Probieren wird den Schülergruppen klar, dass die einfachste Lösung dieser Frage darin besteht, jeweils einen Faktor wegzulassen, also einmal im Dunkeln zu arbeiten, zum anderen ohne Wasser usw. Auf diese Weise erarbeitet, macht es den Schülerinnen und Schülern dann keine Schwierigkeiten mehr, dieses Verfahren als „Ausschlussprinzip“ zu identifizieren. Wie auch bei den vorangegangenen Beispielen muss die Lehrkraft diesen Übergang auf die Metaebene ausdrücklich thematisieren – die Basis dafür wird aber in der Aufgabe selbst und ihrer Bearbeitung gelegt. Übrigens: Hätten Sie gedacht, dass nur die Faktoren Wärme und Wasser unentbehrlich sind, die Kresse aber fürs Keimen kein bisschen Erde und auch keinen Sauerstoff braucht? ■

Anmerkungen

* Dieser Beitrag geht auf die Erfahrungen und Überlegungen mehrerer Lehrkräfte der SINUS-Modellversuchsschulen zurück, basiert weiter auf der Arbeit der Teamer in den SINUS-Fortbildungen und auf Ergebnissen dieser Fortbildungen. An der Ausarbeitung haben mitgewirkt: Elke Peter, Martin Stamme, Lutz Stäudel sowie Gisela Miska und Edgar Stark (Luisenschule Darmstadt).

- 1) Deutsches PISA-Konsortium (Hrsg.): PISA 2000, Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen 2001. Vgl. insbesondere S. 19ff.
- 2) Konrad Daumenlang: Physikalische Konzepte junger Erwachsener – ihre Abhängigkeit von Schule und Familienkonstellation. Nürnberg 1969.
- 3) Jürgen Baumert u. a. (Hrsg.): Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. BLK-Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung, H. 60, Bonn 1997; vgl. auch die Ausgabe 3/2000 der Zeitschrift Pro Schule, hrsg. vom Hessischen Landesinstitut für Pädagogik (HeLP), Frankfurt.
- 4) Annerose Neeb-Fleckner, Gerhard Sauer: Die Formel stimmt. Die Qualitätsinitiative SINUS in Hessen. In: HeLP (Hrsg.): Pro Schule Ausgabe 1/2002 (Frankfurt), S. 25–31.
- 5) Franz Weinert/Andreas Helmke: Wie bereichsspezifisch verläuft die kognitive Entwicklung? In: Reinders Duit/Wolfgang Gräber (Hrsg.): Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften. Kiel 1993, S. 27–43.
- 6) Johann Weninger: Grundsätzliches zur Anzahl und zum Größenkalkül. In: *Chimica didactica* H. 13/1987, S. 243–301; Peter Buck: Diskussion von Johann Weningers Vortrag „Das Denken im Kontinuum und Diskontinuum“. In: *Chimica didactica*, H. 8/1982, S. 222–224.
- 7) Martin Stamme: Versuche planen, Methoden entwickeln. In: ProSchule 3/2000, S. 40–43; Martin Stamme/Lutz Stäudel: Naturwissenschaftliches Arbeiten und Methodenvielfalt. CD-ROM zum BLK-Modellversuch SINUS Hessen. Kassel 2000.
- 8) Thomas Freiman u. a.: Kärtchen/Zuordnung. In: *Unterricht Chemie* H. 64/65, 2001, Themenheft Methodenwerkzeuge, S. 84ff.
- 9) Mins Minssen: Der sinnliche Stoff. Vom Umgang mit Materie. Stuttgart 1986, S. 17.
- 10) Lutz Stäudel/Brigitte Werber/Thomas Freiman: Lernbox. Naturwissenschaften verstehen und anwenden. Velber 2003, S. 54–55.

nenden parallel auf Stoff- und modellhafter Teilchenebene die Übergänge mit Begriffen, kleinen Bildern und beschrifteten Reaktionspfeilen nach. Was zunächst nach Trial and Error aussieht, erweist sich als anstrengende geistige Arbeit: Die Entwicklung eines abstrakten Modells der Übergänge unter Benutzung der Teilchenvorstellung im engen Kontakt zur begrifflichen Modellierung der Stoffebene.⁸⁾

Die naturwissenschaftliche Arbeitsweise als Gegenstand

Ein Charakteristikum der Naturwissenschaften sind ihre – oft kritisch betrachteten –