

# Archimedes und die Sache mit der Badewanne

## Gestufte Hilfen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Einfach und trotzdem wirkungsvoll: Mit gestuften Hilfen kommen auch weniger leistungsfähige Lerner ans Ziel, ohne dass man die Aufgabenstellungen fragmentieren muss. Besonders wirksam ist eine Mischung von Hilfen lernstrategischer und inhaltlicher Art, die den Schülern schrittweise beim Problemlösen hilft. So klappt auch mit dem Archimedischen Prinzip.

Fast jeder Erwachsene kann sich an den Namen Archimedes erinnern, manche vielleicht auch daran, dass er die goldene Krone des Königs Hiero von Syrakus als Fälschung entlarvte. Aber was bitte hat Archimedes gemacht? Wie hat er den betrügerischen Goldschmied enttarnt? War da nicht etwas mit einer Badewanne?<sup>1</sup>

Das Archimedische Prinzip gehört offenbar zu den Inhalten schulischer Bildung, an die man sich vage erinnert – außer man hat vielleicht selbst beruflich mit Naturwissenschaften zu tun.

Den Grund für dieses Vergessen kennen wir längst: Es ist mangelndes Verstehen von Anfang an. Archimedes wurde, wie viele anderen Inhalte, zwar „behandelt“, in den seltensten Fällen aber „erarbeitet“. Diese „Behandlung“ wiederum orientiert sich, wie wir inzwischen aus verschiedenen Studien zum Unterrichtsverhalten von Lehrkräften wissen, in der Regel an einem mittleren Fähigkeitsniveau. Wenn außerdem das fragend-entwickelnde Unterrichtsgespräch die Methode der Wahl war, ist es kein Wunder, dass besonders die leistungsschwächeren Schülerinnen und Schüler nur ein ausgesprochen flüchtiges Verstehenserlebnis erfahren.

Was ist zu tun? Traditionell wird dem Problem der Leistungsheterogenität in Deutschland mit einem dreigliedrigen Schulsystem begegnet; seit TIMSS und noch deutlicher seit PISA wissen wir aber, dass man es innerhalb dieser Teilsysteme kei-

neswegs mit homogenen Gruppen zu tun hat. Dennoch wurde die Zielgleichheit des Unterrichts nie in Frage gestellt, nur in den integrierten Gesamtschulen versucht man es mit der (aufwändigen und oft unbefriedigenden) inneren Differenzierung.

Beim Versuch, auch den schwächeren Leistungsgruppen gerecht zu werden, tritt aber noch ein weiteres Problem zu Tage: Um überschaubare Fragestellungen zu erzeugen und lösbare Aufgaben zu formulieren, werden komplexe Fragen oft in hohem Maße fragmentiert, bis sie schließlich für die Schüler kaum mehr in einem erkenntlichen Zusammenhang mit der Ausgangsfrage stehen. Die Aufrechterhaltung von Komplexität einerseits und andererseits der Anspruch, dass möglichst alle die Lösung eines aufgeworfenen Problems aktiv vollziehen sollen, erscheint aber wie die Quadratur des Kreises.

### Aufgaben mit gestuften Hilfen

Die SINUS-Modellversuche (Prenzel 2001) standen ganz im Zeichen dieser Forderungen: Einen kognitiv aktivierenden Unterricht zu gestalten, die Schülerinnen und Schüler im Sinne einer konstruktivistischen Auffassung des Lernens zu größter Aktivität und möglichst selbstgesteuertem Lernen zu ermutigen und dabei alle in diesen Prozess einzubinden. Neben anderen Ansätzen wurden als Elemente zur wirksamen Veränderung der Unterrichtsskripte besondere Aufgabenformate

eingesetzt. Von einem mit besonderem Förderpotenzial soll hier berichtet werden.

Aufgaben mit gestuften Hilfen (auch „abgestufte Lernhilfen“ genannt) wurden zunächst im Mathematikunterricht erprobt, dann aber bald für die Naturwissenschaften adaptiert (Leisen 1999, Freiman 2003). Das Prinzip ist denkbar einfach:

- Es wird eine (vergleichsweise) komplexe Aufgabe gestellt.
- Die Aufgabe wird in der Regel in Zweiergruppen bearbeitet.
- Den Schülern wird ein Satz Hilfekärtchen zur Verfügung gestellt, die sie nach Bedarf benutzen können.

Am praktischen Beispiel lassen sich die Besonderheiten dieses Formats leicht erkennen. Die Aufgabe hat eine gewisse Nähe zum Problem des Archimedes und wurde inzwischen sowohl mit Schülern in Zweiergruppen (zu Forschungszwecken) wie auch mit ganzen Klassen (8. bzw. 9. Jahrgangsstufe) erprobt (Kasten 1).

Die Schüler erhalten zusätzlich ein Blatt mit Informationen zu verschiedenen Eigenschaften diverser Metalle, versehen mit einer ersten Aufforderung, ihr Vorwissen zu aktivieren (Kasten 2).

Den Zweiergruppen werden die Hilfen auf gefalteten und mit einer Büroklammer verschlossenen Blättern zur Verfügung gestellt; sie können sie immer dann in Anspruch nehmen, wenn sie mit ihren eigenen Überlegungen nicht mehr weiter kommen.<sup>2</sup>

Die Gestaltung der Hilfen ist eigentlich nicht schwierig, sie folgt dem antizipierten Lern- und Arbeitsprozess der Schüler, ähnlich wie sonst im Unterrichtsgespräch. Es hat sich aber gezeigt, dass manche Hilfe-sequenzen besser „funktionieren“ als andere, z. B. wenn man hier eine lernstrategische Hilfe anbietet und dort eine inhaltliche Hilfe. Als lernstrategische Hilfe erhalten die Schülerinnen und Schüler in der Beispielaufgabe zuerst eine Aufforderung zur Paraphrasierung:

*Erklärt euch gegenseitig die Aufgabe noch mal in euren eigenen Worten. Klärt dabei miteinander, wie ihr die Aufgabe verstanden habt und was euch noch nicht klar ist.*

Auf der Rückseite steht dann, ebenfalls als Hilfe, eine mögliche Neuformulierung der Aufgabe:

*Wir sollen uns einen Versuch ausdenken, mit dem wir feststellen können, ob die 5-Cent-Münze tatsächlich aus reinem Kupfer besteht, ohne die Münze dabei zu zerstören.*

Die weiteren Hilfen sind auf Seite 87/88 abgebildet.

Es gibt übrigens entgegen dem Anschein, den die Hilfen erwecken, eine weitere Lösungsvariante: Man kann das Volumen der Münze mit dem Lineal bestimmen (Dicke und Durchmesser) und dann mittels Zylinderformel den Rauminhalt berechnen, was einige Schüler auch tun.

Vorausgesetzt, das Thema „Dichte von Stoffen“ wurde zuvor im Unterricht erarbeitet, können leistungsstarke Schülergruppen die Aufgabe auch ohne Hilfen lösen. Solche Schüler, die ohne Hilfen auskommen oder nur einige benutzen, werden trotzdem regelmäßig ermutigt, sich nach erfolgreicher Bearbeitung der Aufgabe alle Hilfen anzuschauen. Dadurch können sie einerseits ihre Lösung selbstständig überprüfen. Andererseits vermitteln die Hilfen implizit, wie man strategisch mit komplexen Aufgaben umgehen kann.

Je nach Art der Hilfe wird bei den Schülern Unterschiedliches bewirkt, wie sich am Beispiel gut zeigen lässt: Die zu Anfang gegebene Aufforderung zur Paraphrasierung der Aufgabe dient der Strukturierung. Sachbezogene Informationen oder entsprechende Impulsfragen sollen Vorwissen aktivieren. Andere eher lernstrategische Hilfen zielen auf die Elaboration von Unterzielen ab. Und Hinweise wie „Fertige eine Skizze an!“ sollen qua Visualisierung die Strukturierung des aktuellen Bearbeitungszustands unterstützen.

Für den Erfolg der gestuften Lernhilfen ist entscheidend, dass nicht nur die inhaltlichen, sondern auch die lernstrategischen

## 1 BESTEHT DIE 5-CENT-MÜNZE TATSÄCHLICH AUS KUPFER?

Die 5-Cent-Münze sieht aus, als ob sie aus Kupfer gefertigt ist. Aber ist sie das wirklich?  
Die Münze wird von einem Magneten angezogen. Dies spricht dagegen, dass sie aus reinem Kupfer ist. Wie kann man – ohne die Münze zu beschädigen – auf eine zweite Weise überprüfen, ob die Münze aus reinem Kupfer ist?

1 Überlegt euch einen Versuch, mit dessen Hilfe ihr diese Frage klären könnt.

## 2 EIGENSCHAFTEN VON METALLEN

Erinnert euch:  
Metalle unterscheiden sich in ihren Eigenschaften. Sie haben z. B. verschiedene Schmelzpunkte, Dichten und Leitfähigkeiten.

Metall	Spezifischer elektr. Widerstand ( $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ )	Dichte in $\text{g/cm}^3$	Schmelzpunkt in $^\circ\text{C}$
Aluminium	0,027	2,7	659
Kupfer	0,017	8,9	1083
Silber	0,016	10,5	960
Eisen	0,10	7,9	1537

Hilfen an den Inhalt der Aufgabe gebunden sind. Sie erscheinen somit nicht als abstrakte Prinzipien, sondern können in Zusammenhang mit einer konkreten naturwissenschaftlichen Fragestellung umgesetzt werden.

Selbst wenn eine Schülergruppe alle verfügbaren Hilfen benötigt und genutzt hat, kann ein positiver Lernzuwachs erwartet werden. Erstens haben die Schüler durch die Hilfen den strategischen Umgang mit komplexen Problemen praktisch geübt. Zweitens haben sie die Aufgabe mit einer Art Musterlösung selbstständig erarbeitet. Die subjektiven Reaktionen der Schüler entsprechen dem weitgehend, besonders die leistungsschwächeren sind am Ende stolz, die für sie schwierige Aufgabe gelöst zu haben.

Ein weiterer positiver Effekt entsteht aus der selbstgesteuerten Entscheidung, die Hilfen zu benutzen – und nicht die Lehrerin, den Lehrer fragen zu müssen. Viele der mit diesem Aufgabenformat konfrontierten Schülerinnen und Schüler sprechen dies ausdrücklich an; sie müssten sich ansonsten als unwissend gegenüber der Lehrerin oder dem Lehrer outen. Aufgaben mit Hilfen lösen so zumindest tendenziell die Weinertische Forderung ein, Lern- und Prüfungs-

Das 5-Cent-Stück besteht übrigens aus einem Stahlkern mit einer Kupferauflage.

Seine Maße sind:

- Durchmesser: 21,25 mm,
- Dicke: 1,67 mm und es wiegt 3,92 g.

Die Schüler finden im anschließend durchgeführten Experiment eine Dichte von ca.  $7,9 \text{ g/cm}^3$ , was gut mit diesen Daten übereinstimmt.

situationen möglichst zu trennen (Weinert 1998).

Dass dieses Aufgabenformat bevorzugt in Zweiergruppen, fallweise auch bei Gruppen von maximal vier Schülern, eingesetzt wird, hängt mit empirischen Befunden zum kooperativen Lernen zusammen. Entsprechende Lernformen sind nämlich dann besonders erfolgreich, wenn die Lernenden mit „echten Gruppenaufgaben“ konfrontiert werden, bei deren Bearbeitung die Schüler sich gegenseitig und im Austausch miteinander ergänzen können (Cohen 1994). Hinreichende Komplexität gehört zu den wichtigen Voraussetzungen; gerade

D: (blättert um zu Hilfe 4) Oh, das kenn ich! Das habe ich gestern im Einstellungstest gemacht und hatte keine Ahnung! Da hätte ich ja 'n Tag vorher herkommen müssen! (lacht, fasst sich an die Stirn)

Beide lesen Hilfe 4. B stöhnt, liest noch einmal.

D: ... die Masse ... Ja, dann brauchen wir, was hier steht in Klammern und können dann ausrechnen. Aber die Masse nicht. Oder kennst du die Masse?

B: Ich kann auch raten.

D: Vielleicht sagen die uns die Masse der 5-Cent-Münze.

B: Komm, lass uns noch mal durchlesen.

Beide blättern sehr zögerlich um, lesen schließlich die Lösung zu Hilfe 4.

D: Ach, Masse, Gewicht, ja! Das hier wiegen, mit einer speziellen Waage. Das rechnen wir dann aus. Das haben wir dann. Was da raus kommt, ist die Dichte.

diese Bedingung erfüllen Aufgaben mit gestuften Lernhilfen, da die Komplexität der Aufgaben auch bei Benutzung der gestuften Lernhilfen erhalten bleibt.

Der Lerneffekt hängt schließlich auch davon ab, inwieweit es gelingt, einen produktiven Austausch zwischen den Schülern hervorzurufen. Die Bedeutung der gegenseitigen Anregung und Förderung hat bereits Vygotski mit der „Zone der nächsten Entwicklung“ beschrieben. Die Lernhilfen sollen ganz in diesem Sinn wirksam werden. Besonders lernstrategische Aufforderungen regen explizit die Kommunikation zwischen den Schülern an. Im Wechsel mit inhaltlichen Hilfen können sie dazu beitragen, dass die Kommunikation auch bei weniger kompetenten Schülerpaaren stärker problembezogen und besser elaboriert wird.

ten Lernhilfen zutrifft und wie sich Leistungsdifferenzen zwischen den Schülern auf die Lernleistung auswirken, wird Gegenstand künftiger Untersuchungen sein.

### Beobachten und Diagnostizieren

Zwar beruhen Aufgaben mit gestuften Hilfen primär auf einer dezidierten Vorstellung zur Förderung, in gewissen Umfang können sie aber auch diagnostisches Potenzial entfalten. Während der oft 15 bis 20 Minuten der Bearbeitung wird die Lehrkraft nach einer gewissen Geläufigkeit der Schüler im Umgang mit dem Aufgabenformat nur selten zu Hilfe gerufen. Stattdessen hat sie Zeit und Gelegenheit, den Bearbeitungsprozess der Schülerpaare oder -gruppen zu beobachten. Ist eine Aufgabe hinreichend

## Aufgaben mit gestuften Hilfen können auch diagnostisches Potenzial entfalten: Die sachbezogenen Schülerdialoge enthalten für den Beobachter viele Hinweise auf besondere Denkwege und Vorstellungen

Ob es besser ist, bei der Bearbeitung von Aufgaben mit Lernhilfen leistungshomogene oder leistungsheterogene Schülerpaare zu bilden, ist gegenwärtig noch ungeklärt. In der Praxis bestätigen sich aber tendenziell Befunde allgemeinerer Art: weniger kompetente Schüler lernen in heterogenen Gruppen mehr als in homogenen Gruppen, während die Lernleistung der hochkompetenten Schüler relativ unabhängig davon ist, mit wem sie zusammen arbeiten (Lou et al., 1996). Inwieweit dies auch für die Partnerarbeit bei Aufgaben mit gestuften

interessant und motivierend, dann beginnen die Schüler schnell, ihre Überlegungen miteinander auszutauschen. Der dann entstehende „sachbezogene Dialog“ offenbart vieles über die Vorstellungen, erste Modellbildungen und die Verankerung von Begriffen im Denken der Schüler.

Besonders aber erfährt die Lehrkraft aus diesen Gesprächen einiges über den Lernstand der Gruppe und kann an anderer Stelle wiederum geeignete (kollektive oder individuelle) Unterstützungsmaßnahmen planen und einbringen.

Ein Beispiel für eine solche Situation zeigt der Auszug eines Schülerdialogs im Kasten 3 oben. Die Schüler verwenden eingangs offenbar den Begriff der Masse, ohne damit die Vorstellung des Wiegens als möglichen Messvorgang zu verbinden. Massen sind in Aufgaben üblicherweise einfach angegeben. Daneben gibt es das Gewicht, das man bekanntlich durch Wiegen bestimmt. Erst die Assoziation von Masse und Gewicht stellt die notwendige gedankliche Brücke wieder her.<sup>3</sup>

Gegenwärtig sind Aufgaben mit gestuften Hilfen zwar einerseits noch Gegenstand intensiver Untersuchungen, in der Praxis haben sie andererseits längst begonnen, als Element eines methodisch entwickelten Unterrichts zu wirken. ■

### Anmerkungen

- 1) Die ganze Geschichte ist z. B. einsehbar unter: <http://www.lgl.lu/Departements/Physique/histoire-des-sciences-lgl/exposes-2000-2001/archimedes.htm>
- 2) Bei einem anderen erprobten Verfahren für größere Gruppen werden die Hilfen am Lehrpult ausgelegt, ein Schüler geht nach vorn, liest den Hilfetext durch und teilt den Inhalt den anderen der Gruppe mit.
- 3) Im Physikunterricht wird der Begriff „Gewicht“ oft vermieden, um Schwierigkeiten mit der Unterscheidung zwischen Masse und Gewichtskraft aus dem Weg zu gehen. Einigen Schülern bleibt der Begriff der Masse dadurch aber offensichtlich fremd. Nur durch wiederholten Umgang mit dem Begriff kann derartige Schwierigkeiten begegnet werden.

### Literatur

- E. G. Cohen: Restructuring the classroom: Conditions for productive small groups. *Review of Educational Research*, 64 (1994), 1–35.
- Y. Lou et al: Within-class grouping: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 66 (1996), S. 423–458.
- M. Prenzel: Das BLK-Modellprogramm „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. In: E. Klieme, J. Baumert u. a.: *TIMSS Impulse für Schule und Unterricht*. Bonn 2001, S. 59 ff.
- T. Freiman: Bientanz. Abgestufte Lernhilfen unterstützen die Individualisierung. In: H. Ball u. a. (Hrsg.): *Lernen fördern – Selbstständigkeit entwickeln*. Friedrich Jahresheft 2003, S. 96–99.
- J. Leisen: *Methodenhandbuch deutschsprachiger Fachunterricht*. Bonn 1999.
- Forschergruppe Kassel: *Aufgaben mit gestuften Lernhilfen*. In: *Lernchancen* 42/2004, S. 38–43.
- L. Vygotsky: *Ausgewählte Schriften*. Bd. 2: *Arbeiten zur psychischen Entwicklung der Persönlichkeit*. Köln 1987.
- F. Weinert: *Neue Unterrichtskonzepte zwischen gesellschaftlichen Notwendigkeiten, pädagogischen Visionen und psychologischen Möglichkeiten*. In: *Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst* (Hrsg.): *Wissen und Werte für die Welt von morgen*. München 1998, S. 101–125.



## Hilfe 1

Erklärt euch gegenseitig die Aufgabe noch mal in euren eigenen Worten.

Klärt dabei miteinander, wie ihr die Aufgabe verstanden habt und was euch noch nicht klar ist.

## Antwort zu Hilfe 1

Zum Beispiel:

„Wir sollen uns einen Versuch ausdenken, mit dem wir feststellen können, ob die 5-Cent-Münze tatsächlich aus reinem Kupfer besteht, ohne die Münze dabei zu zerstören.“

## Hilfe 2

Schaut euch den Aufgabentext noch einmal an. Wo im Text sind besonders wichtige Informationen? Und wie könnt ihr sie nutzen?

## Antwort zu Hilfe 2

Wir können die Informationen aus der Tabelle nutzen. In der Tabelle sind Eigenschaften von reinem Kupfer beschrieben. Wir müssen prüfen, ob die 5-Cent-Münze diese Eigenschaften besitzt oder nicht.

## Hilfe 3

Wie könnt ihr die in der Tabelle genannten Eigenschaften für die 5-Cent-Münze bestimmen? Genauer:

- Wie bestimmt man den Schmelzpunkt?
- Wie bestimmt man die Dichte?
- Wie bestimmt man den spezifischen elektrischen Widerstand?

Bei welchem dieser Verfahren bleibt die Münze unverändert?

## Antwort zu Hilfe 3

Um den Schmelzpunkt der Münze zu bestimmen, müsst ihr eine Münze schmelzen und dabei die Temperatur messen. Dabei geht die Münze aber kaputt.

Um einen elektrischen Widerstand zu bestimmen, braucht ihr einen Stromkreis und Messgeräte für Stromstärke und Spannung. Der so gemessene Widerstand hängt aber nicht nur vom Material der Münze ab, sondern auch von ihrer Form. Deswegen hilft euch der Widerstand der Münze nicht weiter.

Die Dichte kann aus der Masse und dem Volumen der Münze bestimmt werden. Masse und Volumen sind recht einfach zu ermitteln.

## Hilfe 4

Könnt ihr euch an eine Formel erinnern, mit der ihr aus Masse und Volumen eines Gegenstandes seine Dichte berechnen könnt?

## Antwort zu Hilfe 4

Die Formel für die Dichte lautet:

$$\text{Dichte} = \text{Masse} / \text{Volumen} [\text{g/cm}^3]$$

Um die Dichte zu bestimmen, müsst ihr die Masse (in Gramm) durch das Volumen (in  $\text{cm}^3$ ) teilen.

## Hilfe 5

Wie könnt ihr die Masse der Münze bestimmen?

Wie könnt ihr das Volumen der Münze bestimmen?

## Antwort zu Hilfe 5

Die Masse der Münze gibt an, wie viel die Münze wiegt. Das könnt ihr bestimmen, indem ihr die Münze auf eine Waage legt.

Man kann das Volumen über eine mathematische Formel berechnen. Ihr könnt das Volumen aber auch direkt messen. Dazu braucht ihr einen mit Wasser gefüllten Messzylinder. Wenn ihr die Münze im Wasser versenkt, steigt der Wasserspiegel an. Der Unterschied im Wasserspiegel entspricht genau dem Volumen der Münze.

## Hilfe 6

Nun habt ihr alles zusammen, um feststellen zu können, ob die 5-Cent-Münze tatsächlich aus reinem Kupfer besteht.

Schreibt bitte die einzelnen Schritte noch mal nacheinander auf.

## Musterlösung

- 1 Wir wiegen die 5-Cent-Münze ab und notieren die Masse (das Gewicht).
- 2 Wir füllen einen geeigneten Messzylinder etwa zur Hälfte mit Wasser und schreiben den Wasserstand auf.
- 3 Wir geben eine Münze in den Messzylinder und notieren den neuen Wasserstand. Das Volumen berechnen wir, indem wir den alten Wasserstand vom neuen abziehen.
- 4 Wir berechnen aus den Werten für Masse und Volumen die Dichte, indem wir die Masse durch das Volumen teilen.
- 5 Wir vergleichen den Wert für die Dichte der 5-Cent-Münze mit dem Wert, der in der Tabelle für reines Kupfer angegeben ist.