

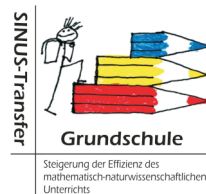
SINUS-Transfer Grundschule

NATURWISSENSCHAFTEN

Modul G2a: Erforschen, Entdecken und Erklären im naturwissenschaftlichen Unterricht der Grundschule

Helmut Schreier

Kiel, im September 2004



**Erforschen, Entdecken und Erklären im
naturwissenschaftlichen Unterricht der Grundschule**

Basismodul G 2 A

Helmut Schreier

1. Leitvorstellungen

Naturwissenschaft: Die Besonderheit des naturwissenschaftlichen Blicks

Die Flamme einer Kerze bündelt für den französischen Philosophen Gaston Bachelard vor allem die Vorstellungen des Schreibenden, der – einsam über sein Papier gebeugt – in ihrem Licht sinniert. Bachelard beschreibt die im Mittelalter verbreitete Übung, sich in die Flamme zu versenken, um in ihr einen Vorgang der Entstofflichung wahrzunehmen, bei dem das Körperliche in etwas Geistiges überführt wird, und er erinnert an Dichter und Denker, die sich selbst der Flamme verwandt fühlten (Bachelard 1988). Friedrich Nietzsche etwa beschreibt sein eigenes Wesen mit den Worten: *„Ungesättigt gleich der Flamme glühe und verzehr ich mich. Licht wird alles, was ich fasse, Kohle alles, was ich lasse: Flamme bin ich sicherlich.“* (Nietzsche 2000)

Der naturwissenschaftliche Blick auf die Kerzenflamme sucht derartige Übertragungen zu vermeiden, um dem Vorgang namens Flamme möglichst genau auf die Spur zu kommen. Einer der größten Naturforscher des 19. Jahrhunderts, Michael Faraday, hielt in den Weihnachtstagen des Jahres 1860 eine Vortragsreihe über die moderne Chemie, in der er die Flamme einer Kerze in den Mittelpunkt rückte. Es war eine Vorlesung für Kinder, und Faraday brannte ein regelrechtes Feuerwerk von Demonstrations-Versuchen ab, um die Faszination der wissenschaftlichen Sicht der Dinge bei seinen kindlichen Zuhörern hervorzurufen. Glücklicherweise gibt es eine Mitschrift seiner Vorträge, und bereits beim Lesen – noch viel mehr beim Nachvollzug einiger der Faradayschen Versuche – wird das Interesse an den untersuchten Vorgängen wieder

wach (Faraday 1980). Es handelt sich zwar nicht um den Gewinn einer geistigen Dimension oder um die Beschreibung einer verborgenen Eigenschaft des menschlichen Lebens, sondern um die Ermittlung von chemischen Umwandlungsprozessen. Aber diese Vorgänge können dem, der sich auf sie einlässt, nicht weniger wunderbar erscheinen.

Offensichtlich ist der Wechsel in der Ansicht einer Kerzenflamme ein Beispiel für jene allmähliche Veränderung der Blickrichtung, die das Bild der gesamten physischen Welt seit dem Beginn der Neuzeit prägt. Die Suche nach dem Symbolhaften bei der Betrachtung der Dinge ist weithin durch Wissenschaftlichkeit abgelöst worden. Es ist schwieriger, diesen Wandel der Perspektive zu erklären, als den Verwandlungsvorgang in einer Flamme. Man muss sich zuerst fragen, was denn das Wesen der Wissenschaft ist, die unser Weltbild bestimmt. Wie wollte man jemandem diese Sache erklären, der aus einer Gesellschaft kommt, in der sie unbekannt ist? Was ist „Wissenschaft“?

Naturwissenschaft als Struktur der Disziplin

Unter den vielen Antworten, die auf die Frage: „Was ist Wissenschaft?“ gegeben worden sind, liegt eine für Pädagogen besonders nahe: Der Psychologe Jerome Bruner hat Ende der sechziger Jahre seinen Begriff der „Struktur der Disziplin“ entwickelt, die Leitidee des wissenschaftsförmigen Unterrichts der frühen siebziger Jahre (Bruner 1970), der auch dem später entworfenen Konzept der „*scientific literacy*“ innewohnt und den von der *American Association for the Advancement of Science (AAAS)* herausgegebenen *Atlas for Science Literacy* nach wie vor prägt (AAAS 2001). Das Besondere an dieser Erklärung ist die Verbindung von Fach und Psychologie. Bruner legte auf plausible Weise dar, dass diejenigen Strukturen, die ein Fach – Physik, Chemie, Biologie – kennzeichnen und bestimmen, zugleich auch die Muster sind, an denen sich Lernvorgänge festmachen: Als ob unser Erinnerungsvermögen dazu in der Lage sei, weitreichende Muster mit hohem Erklärungswert von nebensächlichen Details zu unterscheiden, um dann die grundlegenden Muster eher zu behalten. Die elegante Verbindung von Lernprozess und Lerngegenstand verleiht dem Brunerschen Ansatz der Struktur der Disziplin nach wie vor besondere pädagogische Aktualität. Darüber hinaus drückt der Begriff durch den Singular auch die Hoffnung aus, in den verschiedenen Wissenschaften Muster zu finden, die für alle gültig sind. Wenn es gelingt, diejenigen

Strukturen zu identifizieren, die sämtlichen Wissenschaften innewohnen, hat man eine konkrete Antwort auf die Frage: Was ist das Wissenschaftliche an den Wissenschaften? Und außerdem hat man den Schlüssel, der das Schloss am Tor zum Gebäude der Wissenschaften öffnet. Für Pädagogen enthält dieser Ansatz das Versprechen eines Zugangs, der von Anfang an das Wesentliche im Auge behält und eine Art Königsweg in die Naturwissenschaften bietet.

Das Problem der zweifachen Struktur

Beim Versuch der konkreten Anwendung der Struktur-Idee auf Lehrgänge und Curricula kam es sofort zu jener Zweiteilung, die zwei unterschiedliche Sichtweisen auf die Naturwissenschaft spiegelt. Die eine erfasst die Struktur der Disziplin in den grundlegenden Konzepten von Physik, Chemie und Biologie – Konzepte wie etwa das von Veränderung und Erhaltung, die für die drei Fächer gelten, wo sie ineinander übergehen und miteinander verbunden sind. Die andere macht die Struktur der Disziplin am Methodischen fest. Sie zeigt, dass etwa das Beobachten eine für alle Wissenschaften grundlegende Angelegenheit ist, in deren Beherrschung sich die Kompetenz des wissenschaftlichen Forschers erweist. Auch hier gibt es Verbindungen der verschiedenen Methoden untereinander und darüber hinaus einen folgerichtigen Aufbau, eine Hierarchie, die vom Einfachen (Beobachten) zum Komplexen (Experimentieren) fortschreitet. Es liegt nahe, eine Verschränkung der beiden Aspekte anzuraten, um die Methode in Verbindung mit den grundlegenden Konzepten zu erhalten. Aber noch sind keine überzeugenden systematischen Entwürfe vorgelegt worden, die dies bis in alle Einzelheiten hinein vollbracht hätten. Offenbar sind der wechselseitigen Kompatibilität der beiden Aspekte Grenzen gesetzt. Innerhalb des SINUS-Projekts kommt die fortgeführte Teilung des Strukturbegriffs in der Trennung der Module G2 und G3 zum Ausdruck.

Da die Struktur der Disziplin sowohl das Methodische als auch das Konzeptuelle umfasst, hat es etwas Gewalttätiges, wenn man die eine oder die andere Seite vollkommen zu übergehen sucht, wie dies manche der frühen curricularen Entwürfe in den USA der sechziger Jahre versuchten. Zur Verdeutlichung zwei Beispiele, – ausgeführte Curricula der sechziger Jahre, die eine konzeptbezogene bzw. eine

methodenbezogene Struktur der Naturwissenschaften gewissermaßen „in Reinkultur“ unternahmen.

Das Konzept als Leitvorstellung

„Concepts in Science“ hieß das von Brandwein u. a. entwickelte Unterrichtswerk, das während der siebziger und achtziger Jahre nach Angaben des Verlags Harcourt zum weltweit meistverwandten Textbuch avancierte (Brandwein et al. 1966). Die Verfasser erklären, dass sie unter „Konzepten“ übergreifende Muster verstehen, die nicht unmittelbar zugänglich sind, sondern als geistiges Konstrukt jeweils eine Klassenidentität herstellen. Als Beispiel nennen sie das Konzept „Säugetier“, eine Klassenidentität, die zwar anwendbar ist, aber selbst nicht konkret existiert. Sie teilen das gesamte Universum der Naturwissenschaften in folgende sechs umfassende „Konzeptionsschemata“ auf:

- A. Energie kann umgewandelt werden; sie wird weder geschaffen noch zerstört.
- B. Materie kann umgewandelt werden; bei einer chemischen Umwandlung wird Materie weder geschaffen noch zerstört.
- C. Lebewesen tauschen mit ihrer Umwelt (und mit anderen Lebewesen) Materie und Energie aus.
- D. Ein Lebewesen ist das Produkt seines Erbes und seiner Umwelt.
- E. Lebewesen befinden sich in einem Zustand dauernder Veränderung.
- F. Das Universum befindet sich in einem Zustand dauernder Veränderung.

Diese umfassenden Konzeptionsschemata sind ihrerseits in eine Reihe von zunehmend komplexen Konzepten untergliedert, die – entsprechend der Zahl der Jahre der nordamerikanischen Elementarschule – eine Sequenz von sechs Stufen bilden. Zum Beispiel ist das Konzeptionsschema A folgendermaßen von der ersten bis zur sechsten Klasse aufgebaut:

- I. Um einen Gegenstand in Bewegung zu setzen, also wenn Arbeit geleistet wird, muss Energie zugeführt werden.
- II. Es gibt verschiedene Formen von Energie.

- III. Energie kann von einer Form in eine andere umgewandelt werden.
- IV. Die Molekularbewegung kann durch die Aufnahme oder die Abgabe von Energie verändert werden.
- V. Wenn ein Gegenstand einmal in Bewegung ist, bleibt er so lange in Bewegung, wie keine Energie zugeführt wird, die das Kräfteverhältnis verschiebt.
- VI. Die von einer Maschine erzeugte Energie geht nicht über die hineingesteckte Energie hinaus.

Auf diesem Wege entsteht so etwas wie ein Netz aus Konzepten, das die physische Welt dem Stande der wissenschaftlichen Erkenntnis entsprechend einfängt und im Unterricht darbietet.

Die Methode als Leitvorstellung

Ganz anders der Ansatz des seinerzeit von der AAAS vorgelegten Programms „Science – A Process Approach“ (AAAS 1967), das sich ausschließlich auf Methoden bezog, oder auf „Verfahren“ bzw. „Prozesse“, falls man bei der Übersetzung näher am amerikanischen Original bleiben möchte. Hier wurden insgesamt 13 grundlegende Verfahren identifiziert, die von Anfang an nach den Vorgaben eines hierarchisch gegliederten Verlaufsplans aufeinander aufbauten. In der Grundschule galt es, die Grundlagen für die zunehmend komplexen Forschungsarbeiten der Sekundarschule zu legen. Im Unterricht wurden folgende acht methodische Grundfertigkeiten geübt:

1. Beobachten,
2. Gebrauch von Raum/Zeit Beziehungen,
3. Gebrauch von Zahlen,
4. Messen,
5. Klassifizieren,
6. Kommunizieren,
7. Voraussagen treffen,

8. Schlussfolgerungen ziehen.

Auf dieser Grundlage bauten in der Sekundarschule fünf so genannte integrierte methodische Grundfertigkeiten auf, wieder hierarchisch geordnet:

1. Hypothesen formulieren
2. Variablen kontrollieren
3. Daten interpretieren
4. Auf operationale Weise definieren
5. Experimentieren.

Die grundlegenden und die integrierten methodischen Grundfertigkeiten waren ihrerseits jeweils in Dutzende von einzelnen Elementen zerlegt worden, – Bausteine, die als Sequenzen geordnet – einander mit anderen so ergänzten, dass der gesamte Weg in die Naturwissenschaften auf einer großen Wandkarte abgebildet wurde, die den Verlauf zahlreicher Pfade von Baustein zu Baustein aufzeichnete. Um ein Beispiel zu geben: Die grundlegende methodische Fertigkeit des Beobachtens kam Schritt für Schritt von der ersten zur vierten Klasse folgendermaßen voran:

1. Identifizieren und Benennen der Oberflächenbeschaffenheit eines Objekts mit den Begriffen „glatt“ und „rau“; Identifizieren und Benennen der Größe eines Objekts mit den Begriffen „groß“ und „klein“; Identifizieren und Benennen der Primär- und der Sekundärfarben,
2. Identifizieren und Benennen von zwei oder mehr Eigenschaften eines Objekts wie Farbe, Form, Größe und Oberflächenbeschaffenheit,
3. Beschreiben von zwei oder mehr Eigenschaften eines Objekts: Farbe, Form, Größe und Oberflächenbeschaffenheit; Identifizieren und Benennen von Farbveränderungen,
4. Identifizieren und Benennen von Veränderungen solcher Eigenschaften wie Temperatur, Größe, Form und Farbe beim Wechsel von festen zu flüssigen Zuständen.

Die Formulierungen der Elemente selbst entsprechen den Spielregeln der Operationalisierung, – die kleinen Teilkompetenzen sind streng so gefasst, dass ein

klares Urteil darüber möglich ist, ob sie beherrscht werden oder nicht. Auf diese Weise wird eine systematische Einführung in die Verhaltensformen wissenschaftlichen Arbeitens vermittelt. Die wenigsten waren seinerzeit dazu bereit, sich dem Regiment der außerordentlich präzise vorbereiteten Lektionen dieses Programms zu unterwerfen. Der Unterricht war außerordentlich materialintensiv, die Kinder hatten viel Freude an den Aktivitäten und den sorgfältig auf Lösbarkeit hin konzipierten Aufgabenstellungen. Auch wenn die von AAAS erhoffte Breitenwirkung ausblieb, so ist die Konzentration auf die Struktur des naturwissenschaftlichen Arbeitens doch inzwischen als eine tragende Leitvorstellung des naturwissenschaftlichen Unterrichts etabliert, und die Serie der einzelnen Methoden wird in der Literatur im Großen und Ganzen ähnlich benannt wie in diesem verfahrensorientierten Ansatz: Am Anfang steht das Beobachten, dann kommt das Messen und das Ordnen hinzu, Daten werden miteinander in Beziehung gesetzt, und so kommt man dazu, Vermutungen anzustellen und durch kluge Arrangements nachzuprüfen, ob dies nun mit dem anspruchsvollen und vielleicht missverständlichen Wort „Experimentieren“ belegt wird oder nicht.

Die Herausforderung der Verbindung von Konzept und Methode

Die Verschränkung des Methodischen mit dem Konzeptuellen bleibt als didaktische Herausforderung wirksam. Kinder brauchen sowohl Fertigkeiten als auch Kenntnis von Grundkonzepten. Tatsächlich scheint eine Verschränkung jedenfalls bis zu einem gewissen Grade möglich zu sein. Selbst wenn es nicht gelingen sollte, die beiden Erscheinungsformen der Struktur der Disziplin vollkommen deckungsgleich miteinander in Beziehung zu setzen, so ist es doch möglich, eine wechselseitige Erhellung von Konzept und Verfahren für einzelne Bereiche zu entwickeln.

2. Pädagogik

Die zentrale Rolle der Lehrkraft

Über das Scheitern der „Wissenschaftsorientierung“, die am Anfang der siebziger Jahre über Curricula in die Schulen eingespielt wurde, ist viel spekuliert worden. Was die Wissenschaftsorientierung des Sachunterrichts angeht, der ja 1970 in den Ländern der

Bundesrepublik die Heimatkunde ablöste, gibt wahrscheinlich der GDSU-Forschungsband aus dem Jahre 2001 den aktuellsten Stand der Erkenntnis. Er trägt den Titel „Innovation Sachunterricht – Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen“ (Köhnlein, Schreier 2001). Bei den Erklärungsversuchen taucht als durchgängiges Muster ein Argumentationsstrang auf, der sich kurz in folgender Aussage zusammenfassen lässt: Die frühen Curricula entsprachen zwar der „Struktur der Disziplin“, blieben aber im Umfeld von Unterricht und Lernen Fremdkörper von geringer Anschlussfähigkeit. Die Lehrkräfte sahen, dass sie zu ausführenden Organen wurden, die Entscheidungen über Lernprozesse umzusetzen hatten, die an anderer Stelle getroffen worden waren. Je detaillierter die Vorschriften über Material und Unterrichtsverläufe, umso heftiger ihre Ablehnung: Die Vertreter von „Science – A Process Approach“ hatten sich in der wohlmeinenden Absicht, den Lehrenden die Arbeit zu erleichtern, zu dem Slogan hinreißen lassen, ihr Curriculum sei „lehrersicher“ („*teacherproof*“). Der entwürdigende Aspekt dieses Ausdrucks entging ihnen. Noch fataler ist die Blindheit für die zentrale Rolle der Lehrerinnen für die Lernprozesse der Kinder im Rahmen von Schule und Unterricht. Man glaubte damals wahrscheinlich, dass die wissenschaftliche Vertretbarkeit und Angemessenheit alle anderen Komponenten des Lernens derart weit an Bedeutung überragt, dass es genügen würde, die Strukturen der Wissenschaft in konzeptuelle oder methodische kleinste Elemente zu zerlegen, die es dann logisch folgerichtig aneinandergereiht zu präsentieren galt.

Seither ist die entscheidende Bedeutung der Lehrerin/des Lehrers für die Einstellung der Schüler und für ihren Lernerfolg zu einem Fokus der psychologischen Forschung geworden. Einen Überblick liefert die Studie „Der gute Lehrer: Person, Funktion oder Fiktion?“ von Weinert/Helmke aus dem Max Planck-Institut für psychologische Forschung in München (Weinert, Helmke 1996).

„Pädagogisiertes Fachwissen“ PCK: Ein neues Modell

Noch wichtiger als die zahlreichen Belege für den Zusammenhang von Lehrperson und Lernerfolg ist eine neue Modellvorstellung der Erziehungswissenschaft, die sich allmählich auszubreiten beginnt: *Pedagogical Content Knowledge*, meist gebraucht in der Abkürzung PCK; der schweizerische Erziehungswissenschaftler Fritz Staub hat die Übersetzung „fachspezifisch-pädagogisches Wissen“ vorgeschlagen, eher noch könnte

man wohl „pädagogisiertes Fachwissen“ sagen. Was ist damit gemeint? Es handelt sich nach der Umschreibung von Shulman, der diesen Begriff 1986 in den Diskurs eingebracht hat (Shulman 1986), um

„...ein Fachwissen zweiten Grades, das über die Kenntnis des im Unterricht thematisierten Fachwissens hinausgeht. Pädagogisiertes Fachwissen bildet den Lehrstoff des Lehrens. Er besteht aus erfolgreich anwendbaren Formen der Darstellung von Theorien und Ideen, erklärungsmächtigen Analogien, Illustrationen, Beispielen, Erklärungsmustern, Demonstrationen, und aus dem Verständnis dessen, was an einem Gegenstand leicht oder schwierig zu begreifen ist, zuzüglich der Kenntnis von Vorstellungen und Präkonzepten der Schüler und der Kenntnis von Strategien zur Neuordnung der Vorstellungen von Lernenden.“

Der Begriff bezeichnet also ein besonderes Wissen, über das erfolgreiche Lehrer verfügen, das gleichzeitig über das Wissen von Fachwissenschaftlern hinausgeht. Im übrigen bleibt der Begriff vage, die Auflistung Shulmans könnte mit Leichtigkeit erweitert werden. Dies lässt das PCK-Modell auf den ersten Blick als wenig geeignet für empirische Untersuchungen erscheinen, und tatsächlich liegt hier einer der Hauptpunkte der Kritik, wie sie etwa von Bromme vorgetragen worden ist (Bromme 1995). Neuerdings mehren sich allerdings die Stimmen aus dem Bereich der empirischen Forschung, die es als notwendig erachten, den durch das Schlagwort PCK bezeichneten Weg zu beschreiten. Einen PCK-Fokus für künftige Forschungen haben kürzlich Jürgen Baumert u.a. als „Lektion aus PISA“ vorgeschlagen (Baumert et al. 2004).

Wechsel der Blickrichtung

Entscheidend ist der Wechsel der Blickrichtung, den PCK mit sich bringt: Die Kunst des Lehrers wurde stets an Standards gemessen, die durch Fachwissenschaft, Erziehungswissenschaft und Fachdidaktik vorgegeben waren. (Man erinnere sich noch an die bitter sarkastische Aussage des Didaktikers Walter Schmiederer, es sei die Funktion der Didaktik, den Lehrern ein schlechtes Gewissen zu machen.) Jetzt aber steht der erfolgreiche Lehrer so im Mittelpunkt des Forschungsinteresses, als ob diese Standards zunächst irrelevant seien: Es kommt jetzt nur noch darauf an, herauszufinden,

was den Erfolg der erfolgreichen Lehrer ausmacht, um dann von ihnen zu lernen. Hinzu kommt, dass den Besonderheiten der gegebenen Situation nach dem PCK-Ansatz weitreichender Einfluss zugestanden wird, mit dem Resultat, dass ein möglicher Plan zur Standardisierung von PCK nahezu aussichtslos erscheint. Stattdessen erscheint eine Sammlung vieler Spielarten des erfolgreich angewandten pädagogisierten Fachwissens, die von einzelnen Lehrpersonen in ihrer je gegebenen Situation entwickelt und beherrscht werden.

„Curriculumgeschichten“: PCK in narrativer Form

Tatsächlich hat sich in der umfassenden Diskussion, die Shulmans Konzept PCK in der internationalen Erziehungswissenschaft ausgelöst hat, ein Diskussionsstrang herausgebildet, der so genannte „*Curriculum stories*“ (Gudmundsdottir 1995) untersucht: Man geht davon aus, dass das pädagogisierte Fachwissen am ehesten in narrativer Form gespeichert und vermittelt wird. Als ob erfolgreiche Lehrer über ihren erfolgreichen Unterricht am besten kommunizierten, indem sie Geschichten darüber erzählen. Wie nahe liegend, ist diese Form zunächst im Bereich von Geschichte und Politik systematisch erforscht worden. In Deutschland wurde dazu vor kurzer Zeit die ausführliche Untersuchung des Unterrichts einer Lehrerin über drei Jahre hin vorgelegt (Deckert-Peaceman 2002). Inzwischen ist die narrative Form der Unterrichtsgeschichten auch für den naturwissenschaftlichen Unterricht zumal der Grundschule beschrieben worden (Smith 1999).

Beispiel: „Ein philosophisches Spielzeug“

Wie soll man sich derartige „Geschichten“ vorstellen? Vielleicht kann der im Anhang beigefügte Text von Richard Frazier über „Ein philosophisches Spielzeug“ der Veranschaulichung dieser Möglichkeit dienen: Hier trägt ein Lehrer alles zusammen, was er über die Geschichte seines Gegenstands – den so genannten kartesischen Taucher – in Erfahrung gebracht hat. Im Mittelpunkt steht die Auseinandersetzung der Kinder mit der Sache. Der Bericht folgt in etwa dem chronologischen Verlauf des Unterrichtsprojekts. Die Erklärungsmuster der Kinder, ihre Forschungen, ihre Zeichnungen werden so geordnet, dass eine Hierarchie der Plausibilität entsteht, ohne

die abwegiger erscheinenden Muster abzutun. Zwischen den Zeilen wird erkennbar: Hier versteht jemand sein Handwerk als Lehrer, jemand, der über physikalisches und pädagogisches Wissen verfügt und der den Unterricht so arrangiert, dass alle in Lernprozesse verwickelt werden, und dass er selbst aus diesem Projekt Freude und Gewinn zieht.

PCK als Herausforderung für die Umsetzung des Moduls

Unter Berücksichtigung der aktuellen Entwicklung des erziehungswissenschaftlichen Diskurses erscheint es ratsam, auch bei der Umsetzung des vorliegenden Basismoduls Möglichkeiten der Förderung von PCK vorzusehen. Standards sind schwierig zu identifizieren und in diesem Kontext kaum vorzugeben. Es kommt darauf an, Modifikationen der vorgeschlagenen Aktivitäten einzuräumen und im Diskurs planvoll so zu verfolgen, dass erfolgreiche Unterrichtsverläufe dokumentiert und gesammelt werden.

3. Aktivitäten

3.1 Beobachten: Fundament und Mittelpunkt des Methodenspektrums

Ausgangspunkt aller Naturwissenschaft ist die Beobachtung, das genaue Hinsehen, bei dem der Betrachter die Dinge und Vorgänge studiert, weil sie ihm für sich und aus sich interessant erscheinen. Für die naturwissenschaftliche Methode ist es dabei kennzeichnend, dass die Beobachtung mit Blick auf eine bestimmte Fragestellung erfolgt, also zielgerichtet ist. Die Kerzenflamme beispielsweise ist in dieser Hinsicht nicht mehr Symbol für die spirituelle Angelegenheit einer leuchtenden menschlichen Existenz, sondern ein Vorgang in der materiellen Welt, dessen Einzelheiten sich dem forschenden Blick erschließen können. Die Beobachtung ist Grundlage wissenschaftlichen Arbeitens, in ihr sind die andern Tätigkeits-Elemente des Forschens alle schon angelegt, die sich aus ihr herausdifferenzieren und eine eigene Form gewinnen: das Messen, das Vergleichen, das Ordnen, das Vermuten und Nachprüfen und Erklären.

Graphisch kann die Fertigkeit des Beobachtens als Fundament des Gebäudes der Naturwissenschaft dargestellt werden: Alles andere baut darauf auf. Oder auch als Mitte eines Strahlenkranzes: Sämtliche Tätigkeiten naturwissenschaftlichen Forschens gehen von diesem Zentrum aus und sind um es herum angelegt. Oder auch als Baum: Aus dem Stamm gehen die Fertigkeiten als Äste und Zweige hervor.

Ein unerschöpflicher Anspruch

Die drei Bilder belegen auch die nachhaltige Funktion des Beobachtens: Man lässt es nie hinter sich, muss immer wieder zur Quelle zurückkehren. Die Erscheinungen der Natur ziehen uns Beobachter dauerhaft in ihren Bann. Vielleicht, weil es immer wieder neue Varianten zu entdecken gibt. Von hundert Sonnenuntergängen gleicht keiner dem andern genau, und sogar ein Vorgang wie das Kochen von Wasser scheint sich nie in exakt gleicher Weise abzuspielen. Beobachtungen sind ein Fass ohne Boden und doch der ursprüngliche Weg zur Erkenntnis. Horst Rumpf zitiert nach einem Buch von Ezra Pound folgende Anekdote (Rumpf 1991):

„Ein Doktorand, mit Auszeichnungen und Diplom versehen, kam zu Agassiz, sich den letzten Schliff geben zu lassen. Der große Mann reichte ihm einen kleinen Fisch und forderte ihn auf, den zu beschreiben.

Doktorand: Das ist einfach ein Sonnenfisch.

Agassiz: Das weiß ich. Beschreiben sie ihn!

Nach wenigen Minuten kehrte der Student mit Beschreibung des Ichthus heliodiplokus zurück, Familie der Heliichterinkus, oder wie man sonst sagt, um den gemeinen Sonnenfisch dem allgemeinen Wissen vorzuenthalten, und wie man es eben in den einschlägigen Lehrbüchern findet. Agassiz trug dem Studenten von neuem auf, den Fisch zu beschreiben. Der Student verfertigte einen vier Seiten langen Aufsatz. Agassiz hieß ihn dann, sich den Fisch anzusehen. Drei Wochen später war der Fisch im fortgeschrittenen Stadium der Verwesung, aber der Student wußte etwas über ihn.“

(Louis Agassiz, 1807 - 1873, seinerzeit ein weltberühmter Gelehrter, war Gegenspieler von Charles Darwin.)

Vielfalt der Beobachtungsmöglichkeiten

Wir neigen dazu, „Beobachtung“ vor allem als Tätigkeit der Augen aufzufassen. Es handelt sich aber eher um ein Verhältnis gegenüber den Dingen und Sachverhalten der Welt, das von einer Art Forschungsinteresse bestimmt wird. Dies Verhältnis berührt alle fünf Sinne, auch wenn das Sehen und das Hören dominant sind. Für Beobachtungsübungen mit Kindern in der Grundschule liegt es nahe, ein breites Spektrum sinnbezogener Aktivitäten zu pflegen. Wir beginnen gewissermaßen mit dem gesamten verfügbaren Reichtum der vielfältigen Beobachtungsmöglichkeiten, um an allen Stellen die Dimension der Genauigkeit in den Mittelpunkt zu rücken. Auf solche Weise gewinnen Kinder eine Vorstellung davon, was Beobachten zum Ausgangspunkt der Wissenschaft macht.

Übungen

Im Folgenden sind eine Reihe von Vorschlägen für Aktivitäten im Unterricht zu finden, die zusammengenommen eine Einführung in die Übung des genauen Beobachtens bilden; sie stellen eine Skizze dar, die im Unterricht ausgeführt werden kann, den Bedingungen des Unterrichts entsprechend müssten die Aktivitäten ausgewählt und modifiziert werden.

Fünf Sinne einsetzen

- Eine Sammlung von Dingen zum Betasten: Kiefernzapfen, Haustürschlüssel, Kreide, Seifenstück, Tuchfetzen, Kerze, Stein, Knochen, Gummipfropfen, Apfel – Beispiele für attraktive Dinge. Die Lehrerin kann eine solche Sammlung anlegen, oder anregen, und die Kinder selbst bringen Objekte mit, die auf dekorative Weise in Kästen arrangiert werden können. Es geht darum, die Textur der Gegenstände zu erfassen und möglichst genau zu beschreiben. Ein Spiel: Jeweils ein Objekt wird in einen Beutel (Stoffbeutel für Schuhe) gesteckt, ein Kind fasst hinein, betastet den Gegenstand und beschreibt ihn, ohne den Namen zu sagen. Wer als erster den richtigen Namen ruft, beschreibt den nächsten Gegenstand. Ein Gespräch über die passenden und zutreffenden Bezeichnungen für die Textur, Gewicht und Form der

verschiedenen Gegenstände folgt. Wie genau fühlt sich ein Apfel an? Es ist wichtig, den „Zweck der Übung“ auf diese Weise festzuhalten.

- Gewürze riechen: Eine Batterie von Näpfcchen gleicher Größe ist mit verschiedenen Gewürzen gefüllt. Die Kinder betrachten, beschnuppern und betasten die Gewürze, und lernen die Namen: Zimt, Nelken, Kardamom, Kümmel, Fenchel, Pfeffer, Kreuzkümmel, Vanille. Wer kann mit verbundenen Augen die Gewürze mit der Nase erkennen? Es ist schwierig, Bezeichnungen für die verschiedenen Gerüche zu finden; unsere Sprache sieht dafür keine eigenen Wörter vor, so dass wir selbst passende Bezeichnungen erfinden müssen. Was kennzeichnet den Duft „grüner Apfel“? Eine Herausforderung!
- Früchte schmecken: Zwischen dem Geschmack einer Kirsche und dem eines Radieschens liegen Welten. Die Bestandteile in einem Obstsalat – Tutti Frutti – sind leicht auszumachen. Wie aber die Unterschiede des Geschmacks mit Worten beschreiben? Was kennzeichnet den Geschmack „grüner Apfel“?
- Geräusche herausfinden: Fahrradklingel, Schlüssel im Schloss, Wassertropfen. Wenn es ganz still ist: Was ist da zu hören? Geräuschkulissen beschreiben: Schulhof, Bahnhof, Fußgängerzone. Mit dem Tonband Geräusche nachzeichnen, eine Hörspielszene aufnehmen. Wie hört sich der Biss in einen Apfel an?
- Formen und Farben sehen: Es ist leichter, die Gegenstände der Beobachtung nach dem Aussehen als nach Geruch, Geschmack, Tastgefühl und nach dem Anhören zu beschreiben. Deshalb kann die Sprache über das Aussehen Einzelheiten und Nuancen enthalten, in denen die Genauigkeit der Beobachtung zum Ausdruck kommt. Die Aufgabe „Beschreibe einen Apfel!“ wird Aussagen unterschiedlicher Qualität hervorbringen, die im Hinblick auf die Genauigkeit des Blicks – was die Farbe, die Form und Einzelheiten betrifft – miteinander verglichen werden.
- Einen Apfel nach Aussehen, Betasten, Geruch, Geräusch beim Hineinbeißen und nach dem Geschmack beschreiben.

Gegenstände zeichnen

- Zeichnen zwingt zum genauen Hinsehen, vor allem, wenn ein kleiner Gegenstand stark vergrößert abgebildet werden soll. Jedes Kind erhält ein Schneckenhaus, einen großen Bogen Papier – DIN A3 – und einen Bleistift. Die Aufgabe lautet: Zeichne ein Bild von deinem Schneckenhaus, das so groß ist wie der Papierbogen! Bei der Ausstellung der Ergebnisse wird die Genauigkeit der Darstellungen verglichen.
- Das Abzeichnen einer Blüte ist eine komplexe Aufgabe, der aber auch Kinder im Grundschulalter gerecht werden können. Gegeben ist pro Gruppentisch ein Lilienstengel im Wasserglas, die Lilienblüte soll mit Farbstiften nachgemalt werden. Eine Schwierigkeit besteht darin, dass die Teile der Blüte nicht bekannt sind. Erfahrungen aus der Kunstgeschichte belegen, dass Maler solche Elemente, für die sie kein Wort zur Verfügung hatten, ungenau wiedergaben. (Bei einer Ausstellung über mittelalterliche Darstellungen von Skeletten in der Hamburger Kunsthalle waren viele Bilder mit bewundernswert genauen Details zu sehen, aber die Beckenregion war regelmäßig schwach und ungenau wiedergegeben. Sachverständige vermuten, dass dies mit dem Fehlen einer deutschen Bezeichnung für das lateinische „Pelvis“ zu erklären ist. Das Wort „Becken“ kam erst später in Gebrauch: Man sieht nur, was man kennt.) Deshalb bietet das Zeichnen eine geeignete Gelegenheit zur Einführung der Blütenteile. Grundlage könnte bei der Lilie ein Auszug aus den Briefen des Philosophen und Schriftstellers Jean-Jacques Rousseau sein, der im Alter zu einem begeisterten und anerkannten Botaniker wurde. Seine „Botanik für artige Frauenzimmer“ besteht aus einer Reihe von Briefen an eine Freundin, die ihre zehnjährige Tochter in dies Feld einführen möchte. Rousseau erklärt und gibt ein paar Hinweise, überlässt die pädagogische Aufgabe aber der Mutter des Kindes. *„Was leicht zu sehen ist: Die Krone der Lilie ist nicht aus einem Stück. Verwelkt sie, fallen sechs Teile ab, die **Kronblätter**. Die Krone einer Blume, die aus verschiedenen Teilen besteht, nennt man frei- oder vielkronblättrig. Ist sie aber nur aus einem Teil, wie zum Beispiel die Krone der Winde, nennt man sie verwachsenblättrig. Doch gehen wir zurück zu unserer Lilie. Mitten in der Krone finden Sie etwas Herausragendes, ähnlich einer Säule, das am Grund angeheftet ist. Diese „Säule“, als Ganzes genommen, heißt **Stempel**. Er besteht aus drei Teilen; der unterste ist zylindrisch, wie angeschwollen, mit drei*

*abgerundeten Ecken – der **Fruchtknoten** oder das Ovar; darauf wächst ein dünner Faden – es ist der **Griffel**. Der Griffel wird gekrönt wie von einem Kapitellchen – das ist die **Narbe**. Da hätten wir schon alle drei Bestandteile des Stempels. Zwischen Krone und Stempel sehen Sie noch sechs andere Elemente, es sind die **Staubblätter**. Jedes Staubblatt besteht aus zwei Teilen. Verstehen Sie mich richtig? – Die dünnen Fäden, am Grunde der Krone angewachsen, sind **Staubfäden** oder **Filamente**; das verdickte Ende wird von den **Staubbeuteln** oder **Antheren** gebildet. Die Antheren, kleinen Schächtelchen ähnlich, öffnen sich bei der Reife und versprühen einen gelben duftenden Staub, von diesem haben wir noch später zu reden. Diesen Blütenstaub nennen die Botaniker **Pollen**.“ (Rousseau o. J., S. 20)*

Vorgänge verfolgen

- Manche alltäglichen Vorgänge sind dazu geeignet, von den Kindern im Unterricht besonders unter die Lupe genommen zu werden. Das Kochen von Wasser ist ein gutes Beispiel. Wenn Wasser in einem Glasbehälter mit einem Tauchsieder, auf einer Kochplatte oder auf einem Dreifuß mit dem Bunsenbrenner so zum Kochen gebracht wird, dass dieser Vorgang von allen gut sichtbar verfolgt werden kann, dann erweist sich diese Alltäglichkeit als überraschend effektiv und interessant. Man stelle sich ein Amphitheater vor, in dem der Vorgang auf einer riesigen Projektionsfläche erscheint: die Fäden und Schlieren, die sich zuerst bilden und bei guter Ausleuchtung leicht zu sehen sind, die schnurgerade aufsteigenden Perlenbahnen, die abrupt einsetzende Blasenbildung, das zunehmende Brodeln und schließlich die eruptionsartige Verwandlung des ruhigen Wassers in ein wild bewegtes Gewoge, in dem große Blasen kaum noch zu erkennen sind, die beim Zerplatzen die Oberfläche aufreißen. Die Frage drängt sich auf: Woraus bestehen diese Blasen? Kinder, die den Vorgang verfolgen und mit Worten beschreiben oder in einer Serie von Zeichnungen wiedergeben, stellen diese Frage ebenso wie Erwachsene: ein Beleg für das naturwissenschaftliche Interesse.
- Die Flamme einer Kerze mag als ein Gegenstand erscheinen, weil sie ohne Luftzug – wenn man vermeidet, in Richtung der Flamme zu atmen oder zu sprechen – ein vollkommen mandelförmiges Gebilde darstellt. In Wirklichkeit handelt es sich um

einen Verbrennungsprozess, dessen ruhig kontrollierter Verlauf Faraday in Erstaunen setzte. Er verglich diese Flammengestalt mit den unberechenbaren Mustern der gewaltigen Flammen, die beim Verbrennen des Waxes ohne Docht entstehen. Kindern führte er diese Vielzüngigkeit und das Hin- und Herhuschen der Flammen mit einem rumgetränkten Christmas Pudding vor, den er im verdunkelten Raum entzündete. Beim Abzeichnen einer Kerzenflamme mit Farbstiften auf einem DIN A4 großen Bogen kommt es darauf an, die einzelnen Zonen der Flamme genau abzubilden. Der Vergleich mit den Flammen eines Holzfeuers oder einer Flamme ohne Docht stellt eine Zusatzaufgabe dar: Wie genau unterscheidet sich die eine von der andern?

Beobachtungs-Spiele veranstalten

- „Mit offenen Augen“ die Umwelt wahrzunehmen, gehört in das Repertoire von Beobachtungsübungen. Eine Gruppe von Kindern fotografiert auf dem Schulhof interessante Segmente, die Bilder sind Vorlagen einer Suchaufgabe für die andern: Wer findet sämtliche Bilder in Wirklichkeit wieder?
- Im Umfeld der Schule werden Gullydeckel, Wasseranschlussschilder, Hydrantenhinweise usw. mit Hilfe von „Rubbelbildern“ erfasst. (Rubbelbilder oder Frottagen, werden mit Wachsmalstiften auf Papierbögen produziert, die über die abzubildenden Gegenstände gelegt werden.) Wo ist was zu finden? Was bedeuten die Schilder?

In der Literatur finden sich Spiele, die das Beobachtungsvermögen schulen, vor allem im Bereich der Natur- und Umweltspiele. Einschlägig sind die meisten so genannten Cornell-Spiele („Mit Kindern die Natur erleben“). Ein Beispiel aus einer anderen Zusammenstellung bietet Adrian Bayleys „Splitter vom Regenbogen“. Wie die meisten dieser Spiele findet es draußen in der Natur, außerhalb des Klassenzimmers statt: *„Wir erzählen den Kindern, daß wir vor ein paar Tagen auf einem Spaziergang den herrlichsten Regenbogen genau in dieser Gegend gesehen haben. Plötzlich sei er vor unsern Augen zusammengebrochen und auf die Erde gestürzt. Aber ein paar Splitter haben wir doch aufsammeln können. Wir haben sie in einen Beutel getan, den wir jetzt ausleeren. Wir laden die Kinder ein, sich Splitter*

(bunte Schnipsel Farbpapier) zu nehmen und nach Naturdingen zu suchen, auf die der Regenbogen abgefärbt haben könnte. In zehn Minuten finden die Kinder – Pflanzen ausreißen ist vorher ausdrücklich untersagt worden –, enorme Mengen von Naturdingen mit schönen Farben. Diese werden in Gestalt eines großen Regenbogens arrangiert, und damit wird die Bandbreite der Farbabstufungen in der Natur offenbar.“ (Bayley 1992, S. 192)

3.2 Dokumentieren

Die Geschichte der naturwissenschaftlichen Forschung ist voller Dokumente, die von den Forschern selbst stammen. Die Bandbreite reicht vom punktuellen, ereignishaften Vorfall bis zur langfristigen und planvoll verfolgten Entwicklung. Offenbar handelt es sich um einen notwendigen eigenen Kristallisationskern des Beobachtens, den wir in der Grundschule aufgreifen können.

- Eine rätselhafte Erscheinung oder eine Begegnung mit einer Notiz festhalten, mit einem Foto, einer Skizze, einem Zeitungsausschnitt belegen. Dazu gehören Beobachtungen des Wetters (Hagelstürme, Schneeschauer, Sonnenuntergänge) und des Himmels (Mondfinsternisse, die Erscheinung von „Sonnenhunden“ und Regenbögen).
- Einen Vorgang von längerer Dauer verfolgen und erfassen. Die Entwicklung der Löwenzahnblüte zur Pustelblume kann über mehrere Tage hin (am besten im Zeitraum Mai – Juni) im Zimmer verfolgt und mit Hilfe einer Serie von Zeichnungen durch einzelne Kinder festgehalten werden. Ebenso kann das Keimen von Pflanzen auf einem Beobachtungsbogen anhand von Zeichnungen oder Fotos durch diejenigen Kinder dokumentiert werden, die sich den Keimversuch vorgenommen haben. Ein Projekt für die gesamte Klasse besteht beispielsweise darin, Veränderungen beim Ausschlagen der Bäume im Frühjahr mit Hilfe eines Kalenders zu dokumentieren und ebenso den Blätterfall im Herbst. Schön, wenn etwa auf dem Schulgelände eine Kastanie allen vor Augen steht, deren vielfältige Veränderungen im Lauf eines Jahres mit einer „Kastanien-Jahres-Uhr“ in Text und Bild festgehalten werden können. Ein interessantes Beispiel liefert der Biologe Adolf Portmann, der als Kind durch einen Beobachtungs-Hinweis seines Lehrers auf

die Spur einer biologischen Theorie gebracht wurde, die er zeitlebens verfolgen sollte: *„Wir erhielten in jener fernen Stunde einen für mich unvergessenen Wink: Schaut euch in den nächsten Tagen diese Ulmen ganz genau an! Das geschah. Unter der behutsamen Führung unseres Lehrers sahen wir, zum erstenmal voll bewußt, wie die unscheinbaren Blüten unsere Ulmen in einem rötlichen Braun erscheinen ließen. Wir betrachteten diese Blüten genau und erlebten, wie die Bäume nach einigen Tagen bereits in hellstem Grün erschienen und wie rasch der Boden bedeckt war mit Mengen kleiner ovaler Plättchen – den ungezählten Früchtchen der Ulme mit dem Samen in der Mitte. Mit wachem Sinn erfaßten wir Jungen damals, wie ein Baum blüht und Frucht trägt in großer Eile, bevor noch die Blattknospen das Laub freilassen. Und die kaum merkliche Führung durch unseren Lehrer ließ uns darüber sinnen, wie seltsam der Jahreslauf geordnet sein kann. Denn wir wußten nun, daß diese Ulmen den Sommer und Herbst über still im grünen Kleid die Explosion des nächsten Frühjahrs vorbereiteten.“* (Portmann 1976, S. 97)

3.3 Messen

Von Galilei stammt folgendes Motto, das die moderne Naturwissenschaft im Kern erfasst: „Messen, was zu messen ist; was nicht zu messen ist, messbar machen.“ Man mag einwenden, dass nicht alles messbar gemacht werden kann. Das mag zutreffen, aber es trifft eben nicht auf die Naturwissenschaft zu, denn das Universum der Naturwissenschaft besteht ausschließlich aus messbaren Größen.

Messen ist nichts anderes als Vergleichen: Der Vergleich eines Gegenstands mit einem Maßstab. So ist die Aktivität des Messens eine Anwendung des Beobachtens. Gleichzeitig überschreitet die Beobachtung die Grenzen des Gegenstands, indem sie ihn mit anderen in Beziehung setzt und ihm eine Zahl zuschreibt, die es ermöglicht, ihn in eine Reihe weiterer Gegenstände einzuordnen, was weitere Forschungsaktivitäten in Gang setzt.

- Kinder stellen selbst eine Übersicht über die Gegenstände und Erscheinungen zusammen, die gemessen werden können, und führen dazu die Geräte an, mit denen die Messungen vorgenommen werden. Auf diese Weise entsteht ein Überblick zu ihrem Vorwissen und ihren Interessen. Möglicherweise ergibt sich ein Ansatzpunkt,

um zu erläutern, wie ein Thermometer funktioniert oder was das Längenmaß „Lichtjahr“ bezeichnet. Fragen wie die folgende dienen zur Kontrolle des Verständnisses der Konzepte, die zur Sprache kommen: Ein Kilogramm Federn wiegt so viel wie ein Kilogramm Blei, wiegt ein Liter Öl aber so viel wie ein Liter Wasser?

- Körpergröße und Gewicht der Kinder in der Klasse messen und auf verschiedene Weise graphisch abbilden.
- Das Gewicht der voll gepackten Schulranzen ist eine interessante Größe (Vergleich mit Körpergewicht, Berechnung des Durchschnittswerts, Überlegungen zur Reduktion des Gewichts).
- Die Brenndauer einer Kerze unter einem darüber gestülpten Becherglas von 1 Liter Inhalt im Messteam mehrfach messen. Materialien: Uhr mit Sekundenzeiger, Kerze, Streichhölzer, Becherglas. Arbeitsorganisation der Tätigkeiten Zeit, Labor, Protokoll. Die Ergebnisse im einzelnen und mit denen der anderen Gruppen vergleichen. Diskussion möglicher Fehlerquellen und Ermittlung des Durchschnittswerts.

Um zu zeigen, was alles messbar ist, kann man mit Kindern ein Tensiometer bauen, das die Oberflächenspannung von Wasserflächen misst. Strohhalme werden in der Mitte mit einer Nadel durchstochen und zwischen zwei Holzblöcken so ausbalanciert, dass die beiden Waagbalken im Gleichgewicht sind. Am Ende jedes Waagbalkens wird eine Papierscheibe gleicher Größe mit drei Fäden als Waagschale befestigt. (Das Material sollte vorgefertigt für alle zur Verfügung gestellt werden). Die Papierscheibe einer Seite wird in der Höhe über eine wassergefüllte Tasse gestellt, so dass sie auf der Wasseroberfläche aufliegt. Auf der andern Seite werden Büroklammern als Gewichtsteine aufgelegt: Wie viele Gewichtsteine müssen aufgelegt werden, bis sich die Papierscheibe von der Wasseroberfläche abhebt? Diese aus dem Rahmen fallende Messung verlangt einige Genauigkeit des Vorgehens, damit sie gelingt. Sie zeigt, dass es möglich ist, sehr abgelegen erscheinende Phänomene wie die Oberflächenspannung des Wassers zu messen und, dass die Standardisierung der Maßstäbe keine Voraussetzung für das Messen darstellt. Worauf es ankommt, ist die Gleichheit der Maßeinheiten, die bei der

Maßeinheit „Büroklammer“ ziemlich brauchbar gewahrt erscheint. Auch der Bau des sehr einfachen Messgeräts Waage selbst legt einen Einblick in das Wesen des Messens nahe: Es handelt sich um eine Erweiterung der genauen Beobachtung. Eine Variante, die sich anbietet, besteht in der Erprobung verschieden geformter Papiere, um die Oberflächenspannung des Wassers zu messen, und in der Messung der Oberflächenspannung verschiedener Flüssigkeiten, etwa einem Vergleich von Wasser und Seifenwasser.

3.4 Schätzen großer Anzahlen

Eine Spielart des Messens, bei der es weniger um die Genauigkeit des Messvorgangs geht als um Vorstellungsvermögen und Kreativität, ist das Schätzen großer Anzahlen. Die folgenden Übungen hängen miteinander zusammen. Es sind Bausteine, die im Unterricht modifiziert und möglicherweise in umfassende Untersuchungs-Projekte eingebunden werden können.

- Moosgummistempel herstellen – eine 1 bis 2 cm hohe Figur wird aus Moosgummi ausgeschnitten und auf ein Holzklötzchen geklebt – und mit dem Stempelkissen auf einem DIN A2 großen Bogen eine Menschenmasse gestempelt, möglichst mit ungleichmäßiger Verteilung. Wie viele Menschen sind auf diesem Bild zu sehen? Kinder entwickeln Ideen, die zu erproben sind. Die Lehrerin zeigt die Technik des Gitternetzes, das mit Bleistift und Lineal so über das Bild gelegt wird, dass 35 (5 x 7) Felder gleicher Größe entstehen, von denen fünf zum Auszählen ausgewählt werden. Welche fünf Felder sollten ausgezählt werden? Dicht bestempelte Stellen sollen ebenso berücksichtigt werden wie dünn bestempelte. Die Ergebnisse werden addiert. Mit welcher Zahl sollen sie multipliziert (hochgerechnet) werden? Verschiedene Gruppen wählen unterschiedliche Felder. Es ist möglich, hier eine Totalauszählung anzuschließen und die Schätzung mit der Auszählung zu vergleichen.
- Eine Rechnung am Rande: Wenn es 5 Sekunden dauert, um 10 Figuren zu stempeln: Wie lange würde es dauern, einen Menschaufmarsch mit einer Million Figuren zu stempeln?

- Fotos von Sternen, von Tieransammlungen, Makroaufnahmen von Schuppen auf Schmetterlingsflügeln, von Fett-Tröpfchen in Milch-Emulsionen usw. laden zur Schätzung nach der gleichen Methode ein: Wie viele Sterne am Himmel, Kaninchen am Wasserloch, Schuppen auf dem Flügel usw.
- Auf einer mit Betonplatten (30 x 30 Turnhalle) belegten Außenfläche, oder auch in der Turnhalle oder im Klassenraum, nachdem das Mobiliar zur Seite geräumt worden ist, mindestens ein Pfund Linsen und ein Pfund Erbsen verstreuen. Man erklärt den Kindern, dass es sich um zwei riesige Herden von Antilopen und Zebras handelt, die durch die Serengeti ziehen und deren Zahl möglichst genau ermittelt werden soll. Von einem Flugzeug aus sind Fotos aufgenommen worden, die zu dem vorliegenden Großbild zusammengesetzt wurden. Mit Hilfe von Kreidestücken und einem Maßband können die Kinder ihre Vorschläge zur Schätzung der Herdenstärke ausführen. (Besen und Kehrschaufel bereithalten.)
- Ein Glasgefäß ist mit getrockneten Erbsen bis zum Rande gefüllt. Wie viele Erbsen sind darin enthalten? Mit Hilfe einer Küchenwaage kann die Zahl leicht ermittelt werden. (Als kleinste zu wiegende Einheit nicht eine einzelne Erbse, sondern eine höhere Zahl, beispielsweise 10, bei Reiskörnern entsprechend mehr, vielleicht 50, zugrunde legen.)
- Wie viele Blätter hat die Linde auf dem Schulhof? Schwierig, weil die Frage anhand eines Fotos nicht zu beantworten ist. Es hilft, den Aufbau des Baums anzusprechen, die Zahl der Hauptäste, die Zahl der Zweige an einem oder mehreren der Hauptäste, die Zahl der Blätter an einem Zweig. Gruppen können sich unterschiedliche Äste vornehmen und deren Blätterzahl ermitteln. Wie viel wiegt ein Blatt? Welche Blätterlast trägt der Baum? Wie viele Bäume in der Straße, im Quartier? Welche Blätterlast fällt im Herbst von den Bäumen?
- Zur Illustration weiterer Möglichkeiten folgender Bericht aus einer nordirischen Schule: Die Kinder beobachteten viele Krähen auf dem Hockeyfeld neben dem Schulgebäude. Sie sahen, dass die Krähen Regenwürmer aus dem Rasen ziehen. Sie steckten an mehreren Stellen eine Fläche von 1 qm ab und gruben dort 1 m in die Tiefe. Sie fanden mit Hilfe eines Siebes in dem Kubikmeter Sandboden eine Anzahl von Regenwürmern, ermittelten die Durchschnittsmenge der verschiedenen

Grabungen, berechnen die Gesamtzahl, wiegen die Würmer und berechnen das Gesamtgewicht. Die Fleischmasse der Würmer unter dem Hockeyfeld ergibt Hunderte von Kilogramm.

3.5 Ordnen

Die Notwendigkeit zu ordnen, ergibt sich aus den Sammlungen von Daten, die beim Prozess des Erforschens, Entdeckens und Erklärens zusammengetragen werden. Die Ordnung spiegelt das Konzept, beispielsweise ist die Taxonomie des Tierreichs nach Darwin in der Biologie immer noch Gegenstand von Kontroversen. Eine Gruppe von Forschern, die unter dem Namen „Kladismus“ auftritt, erklärt beispielsweise die Klassifikation anhand von fehlenden Merkmalen für unlogisch – viele Tiere, von den Schwämmen über die Würmer bis zu den Krabben und Insekten, werden ja nach Darwin unter der Bezeichnung „Wirbellose“ zusammengefasst – und hat eine alternative Taxonomie vorgelegt, die von den Vertretern der Evolutionstheorie abgelehnt wird. Die Ordnung ihres Gegenstandes bleibt also ein Brennpunkt der wissenschaftlichen Arbeit von Biologen. Für alle Naturwissenschaften gilt: Die Anordnung der Daten entspricht dem Gebäude der Wissenschaft.

In der Schule beginnt man mit der analogen Ordnung von Sammlungen von Dingen. Es ist von Vorteil, zu sammeln und Sammlungen anzulegen. Steine sind attraktive Sammlungsobjekte, mit denen vielfältige naturwissenschaftliche Bezüge zur Geologie, zur Mineralogie und zur Paläontologie hergestellt werden können. Muscheln und Schalen von Meerestieren bieten sich für Sammlungen an, die immer wieder zu Ordnungsversuchen einladen. Knopfsammlungen sind für Kinder meist höchst attraktiv. Werkzeuge, chemische Substanzen, verschiedene Textilien – alles will geordnet sein.

Geordnete Sammlungen von Gegenständen in Fächern und Kästen, Abbildungen von Ordnungsmustern an den Wänden sind interessante Dekorationen und verändern die Atmosphäre eines Klassenraums. Diese Dinge bezeichnen die Sedimentationen der Unterrichtsarbeit, aber sie wirken als Anregungen für weitere Beschäftigung mit der Naturwissenschaft. Voraussetzung ist allerdings der Anstoß durch die Lehrkraft – sie muss Interesse an Sammlungen anzuregen verstehen und vielleicht selber den Grundstock von Sammlungen legen.

- Die Kinder der Klasse selbst können anhand der unter „Messen“ ermittelten Daten aufgereiht werden: Vom kleinsten zum größten, vom leichtesten zum schwersten. Derartige Reihungen stellen eine Ordnung dar, die auf andere Daten übertragen werden kann, beispielsweise tägliche Temperaturmessungen oder die unterschiedliche Länge von Schatten im Laufe eines sonnigen Vormittags. Die Schattenlänge ergibt - der Uhrzeit folgend – ein Muster, das Voraussagen möglich macht. Die Temperaturen im Lauf eines Jahres hingegen werden Abweichungen vom idealtypischen Verlauf aufweisen, der von vielen zugrunde gelegt wird.
- Unterteilt man die Kinder der Klasse in Jungen und Mädchen, so entstehen aus einer zwei Gruppen, und es liegt die Frage nahe, welche weiteren Untergliederungen möglich sind, um jedem einzelnen Kind einen besonderen Stellenwert zu geben: Schwimmer – Nichtschwimmer, kommt mit dem Rad zur Schule – kommt nicht mit dem Rad zur Schule, dunkle Augen – helle Augen, usw. Kinder zeichnen ihre jeweils eigenen Umrisse im Maßstab 1:10 und schneiden die Figur vierfach aus. Auf einem Plakat werden mehrere Ebenen gezogen: Auf der oberen sind alle Kinder zusammen aufgeklebt, auf der zweiten in Mädchen und Jungen unterteilt, auf der dritten in Nichtschwimmer-Mädchen, Schwimmer-Mädchen und entsprechend Jungen, und auf der vierten zusätzlich nach dem Radfahren zur Schule, der Lieblingsfarbe rot oder dem Besitz eines Haustiers usw. So erscheinen die Kinder auf jeder Ebene wieder, nach immer detaillierteren Unterscheidungsmustern.
- Eine Sammlung Blätter ordnen, die auf einem Unterrichtsgang von verschiedenen Bäumen zusammengetragen worden sind. Mit Hilfe eines Bestimmungsbuches werden die Blätter bezeichnet. In Gruppenarbeit werden sie so geordnet, dass über mehrere Ebenen jedes Blatt eindeutig zugeordnet werden kann. Wie beim Beispiel der Anordnung der Kinder soll das Blatt auf jeder Ebene „zitiert“ werden. Deshalb werden viele Blätter von jeder Sorte benötigt. Die Anordnung wird auf Rollenpapier (Arbeit auf dem Fußboden) vorgenommen, die Ebenen werden durch Striche auf dem Papier voneinander getrennt, die einzelnen Gruppen werden durch Pfeile über die Ebenen miteinander verbunden. Es entsteht das Bild einer Ausdifferenzierung nach Art eines Fächers oder eines umgekehrten Baumes. Auf der obersten Ebene sind sämtliche Blätter zusammen. Die nächste Ebene könnte die mit glatten Rändern von denen mit nicht glatten Rändern trennen oder auch eine andere Aufteilung

vornehmen, etwa von zusammengesetzten (Kastanie, Robinie) und einzelnen Blättern (Efeu, Linde). Als Unterscheidungsmerkmale für die folgenden Ebenen bieten sich die Kennzeichen an, die in Bestimmungsbüchern aufgeführt sind: gebuchtet, gezähnt, sägeförmig, oder auch behaart und glatt. Verschiedene Gruppen sollten unterschiedliche Lösungen des Ordnungsproblems finden. Zielvorgabe: Mindestens drei Blätter sind eindeutig zu finden, beispielsweise das Eichenblatt mit gebuchtetem, glattem Rand, oder das Lindenblatt, gesägter Rand, behaarte Unterseite, Einzelblatt, usw. Dekorative Zusammenstellungen sollten ausgestellt werden, vielleicht in Folie geschweißt oder mit aufgeklebten Blättern, die mit Fixativ behandelt werden.

- Eine Tabelle anlegen. Daten in einer Tabelle zu erfassen, bedeutet ein komplexes Ordnungsmuster auszuführen. Beim Erfassen der Reaktionen von weißen Pulvern geht es gleichzeitig um eine Übung im Umgang mit Substanzen auf chemieförmige Weise. Die Aufgabe erfordert für die Lehrerin im Vorfeld das Beschaffen und Verfügbarmachen von Materialien. Ist ein Satz „weißes Pulver“ aber erst einmal beschafft, so kann das Material bei wenigen Ergänzungen immer wieder eingesetzt werden. Man besorge Substanzen wie Mehl, Puderzucker, Waschpulver, Babypuder, Stärkemehl, Gips, Kalk u.a.m., etwa 100 Plastikfläschchen mit Schraubverschluss, ein Dutzend Plastik-Trinkbecher (Drogeriemarkt), Essig, Teelichte, Haushaltsalufolie, kleine Klebeetiketten. Zur Vorbereitung der Übung werden die Substanzen in die Plastikfläschchen eingefüllt – mehrfach, für jede Arbeitsgruppe einmal – und mit dem Klebeetikett versehen. Auf das Etikett eine Zahl schreiben, eine Liste anlegen („Schlüssel“), auf der die Zahlen den Substanzen zugeordnet sind (1 – Mehl usw.). Im Unterricht erklären, dass es im Chemielabor heute darum geht, eine Tabelle anzulegen, mit deren Hilfe dann ein Verbrechen aufgeklärt werden soll. Verschiedene Gruppen bilden, jeweils einen Satz Pulver in Plastikfläschchen verteilen, Papier zum Anlegen der Tabelle ausgeben. In einer Spalte der Tabelle werden die Zahlen der Pulver eingetragen, dazu dann in weiteren Spalten die Reaktion der Pulver auf verschiedene Laborversuche. Wie reagiert das Pulver auf Zugabe von Wasser? Die Lehrerin führt vor, wie ein wenig Pulver in wenig Wasser gegeben wird. Die Kinder führen den Versuch selbst durch, beobachten mit allen Sinnen und tragen die Ergebnisse in die Spalte ein: Löst sich auf, erhitzt das Wasser,

löst sich nicht auf... Wie reagiert das Pulver auf Zugabe von Essig? Wie reagiert das Pulver auf Erhitzung? Hierzu wird zunächst aus einem etwa DIN A4 großen Stück der Alu-Haushaltsfolie ein Löffel geformt, auf dem das Pulver über einer Flamme erhitzt werden kann. Der Löffel besteht aus einer gewölbten Fläche, der Löffelmulde, in die das Pulver hinein gegeben wird, aus dem etwa 20 cm langen Löffelstiel und einem gut zwischen den Fingern zu haltenden Griff am Ende des Stiels. Es hat sich gezeigt, dass die Wäscheklammern, die als zusätzliches Isolationsmittel die Alufolie halten sollten, nicht notwendig waren. Die Hitze der Flamme reicht zwar aus, die Pulver zu verschmoren, sie vermag jedoch das Ende des Gebildes aus Alufolie nicht zu erreichen. Die Teelichte werden entzündet, die Kinder geben Proben der Pulver auf den Löffel und erhitzen sie sorgfältig über der Flamme, um die beobachtete Reaktion in die Tabelle einzutragen. Die Tabellen werden am Ende miteinander verglichen und abgeglichen. Die Lehrerin gibt die Identität der weißen Pulver schließlich preis.

3.6 Raum-Zeit-Beziehungen gebrauchen

Mit diesem Schritt wird eine Ebene der Komplexität der Beobachtung erreicht, mit der sich die Möglichkeit eröffnet, Voraussagen zu treffen. Erhobene Daten werden in ein Koordinatensystem von Raum- und Zeitachsen so eingetragen, dass das Muster für die fehlenden Daten nach Raum oder Zeit ergänzt werden kann. Die besondere Aussagekraft einer Kombination von Beobachtungsgenauigkeit und Ordnung wird deutlich.

- Kugeln und Walzen verschiedenen Gewichts eine schiefe Ebene hinabrollen lassen. Dies ist der klassische Versuch Galileis, mit dem für die meisten überraschenden Ergebnis einer gleichen Geschwindigkeit für all diese Objekte: Ganz gleich, wie schwer eine Kugel oder Walze ist, für die Strecke x braucht sie auf der schiefen Ebene – einem schräg gestellten Holzbrett – die gleiche Zeit, wie sich mit Hilfe des Sekundenzeigers einer Uhr leicht zeigen lässt. Aber Kinder pflegen diese Gleichheit ein wenig anders wahrzunehmen. Als sich der Chemiker George Hein in einer Schulklasse auf diesen Versuch einließ, stellte er folgendes fest: Wenn zwei Kugeln unterschiedlicher Größe, A und B, zehnmal die schiefe Ebene herabgerollt waren, und A war zweimal vorn, B war einmal vorn gewesen, aber bei sieben Läufen waren

A und B gleich, dann sagten die Kinder: A ist schneller als B. Hein notierte verblüfft (Hein 1968): *„Wir erkennen die Fremdartigkeit dieser Auffassung für uns Wissenschaftler. Was fehlt dabei? Welche Art der Argumentation ist da nicht vorhanden? Diese Kinder haben keine statistische Sicht von Daten und kein wissenschaftliches Beobachtungsvermögen. Jede Beobachtung hat für sie eine unabhängige Bedeutung, jede kann deshalb die Wette entscheiden. Der gesamte Zusammenhang von Auffassungen, den man benötigt, um einen Versuch auf der Grundlage zu entwerfen, daß die Resultate der Wissenschaft eher eine Annäherung als eine Sicherheit bieten, die gesamte Vorstellung davon, daß Nullresultate oder „Unentschieden“ wertvolle Daten darstellen – sind extrem feinsinnige Konzepte, und die Kinder verfügen schlicht nicht über sie.“*

- Je häufiger die Versuche durchgeführt werden, umso schwieriger sollte es werden, eindeutig schnellere von eindeutig langsameren Objekten zu unterscheiden. Es kommt auch darauf an, mögliche störende Einflüsse zu beseitigen, um genaue Ergebnisse zu erhalten, die in einer Tabelle eingetragen werden. Wie kann man es ausschließen, dass ein Kind „seiner“ Kugel einen leichten Stoß versetzt, damit sie ein wenig schneller läuft als die Walze daneben, die auf das Kommando „Los“ hin nur losgelassen wird? (Je mehr verschiedene Kinder diese Rolle im Versuchsarrangement einnehmen, umso ausgeglichener das Gesamtbild.) Trotzdem werden die Ergebnisse – gerade wenn man eine Uhr einsetzt – streuen, und es wird herauskommen, dass wir es eher mit einer Art Zielgebiet zu tun haben als mit einem punktgenauen Datum. Aber genau darin liegt eine Erkenntnis über das wissenschaftliche Arbeiten, die von großer Bedeutung ist und die George Hein treffend formuliert: *„...daß die Resultate der Wissenschaft eher eine Annäherung als eine Sicherheit bieten“*.
- Die Brenndauer von Kerzen unter darüber gestülpten Glasgefäßen unterschiedlichen Rauminhalts messen mit dem Ziel, Voraussagen treffen zu können: Je größer das Volumen des Behälters, der über die brennende Kerzenflamme gestülpt wird, um so länger brennt diese, und umgekehrt, je kleiner das Glas, um so rascher erlischt die Flamme. Man muss genau hinschauen, um den Zeitpunkt des Erlöschens der Flamme zu sehen, denn sie wird sehr klein, brennt aber noch, bevor sie in einem weißgrauen Banner ausgeht. Bei der Wiederholung der Versuche muss man darauf

achten, dass die Gläser möglichst mit Wasser gefüllt, ausgeleert und getrocknet worden sind, bevor der nächste Lauf startet, denn die Luft im Innern der Behälter enthält nur noch wenig Sauerstoff, die Brenndauer verkürzt sich dementsprechend ohne Aussagewert für die Zusammenstellung. Man benötigt wenigstens drei Bechergläser oder Standzylinder für jede Gruppe, ein großes (z.B. 2 l), ein mittleres (z.B. 1 l) und ein kleines (z.B. 200 ml), Kerzen (besser geeignet als Teelichte, deren allzu dünner Docht unkontrollierbare Momente ins Spiel bringt), Stoppuhren. Die Gruppen bilden Teams (s. Abschnitt Messen) und halten die Ergebnisse ihrer Messungen in Tabellen fest. Diese Ergebnisse werden in ein Koordinatensystem eingetragen, das an der Tafel vorgezeichnet ist: Auf der senkrechten Achse (Ordinate) wird das Volumen der Glasgefäße in Milliliter eingetragen (vol, ml), auf der waagerechten Achse (Abszisse) die Zeit in Sekunden (t, sec), oder umgekehrt. Die ermittelten Werte für 200 ml, 1000 ml und 2000 ml werden in diesem System mit Kreuzchen eingegeben, und dabei zeigt sich regelmäßig eine Streuung: Die eingetragenen Werte bilden so genannte Cluster. Es ist gut, wenn man sich hier an den Versuch mit der Schiefen Ebene erinnert und daran, dass wissenschaftliche Resultate Näherungen sind. Trotzdem zeigt sich ebenso regelmäßig, dass die drei Kreuzchen-Wolken auf einer Linie angeordnet sind. Vom Schnittpunkt 0 der beiden „Arme“ des Systems ausgehend, lässt sich eine Gerade durch die Mitte der drei Cluster ziehen, und entlang dieser Linie sind Vorhersagen möglich: Wie lange brennt die Kerze unter einem Gefäß von 5 l Inhalt? Die Vorhersage wird „Extrapolation“ genannt, weil sie über den verfügbaren Datensatz hinausgeht. Wie lange brennt die Kerze unter einem Gefäß von eineinhalb Liter? Die Vorhersage wird „Interpolation“ genannt, weil sie zwischen zwei verfügbaren Daten liegt. Die Zahlen werden einfach von der Linie abgelesen.

3.7 Erklären

Manche Zusammenhänge sind durch Beobachten allein nicht zu erklären, auch dann nicht, wenn die Beobachtung Messungen einschließt und wenn die gemessenen Daten so angeordnet werden, dass es möglich ist, Vorhersagen zu treffen. Ein Beispiel dafür ist die Kerzenflamme. Auch wenn die Messung ihres Erlöschens noch so oft wiederholt, auch wenn die Kerze noch so oft angezündet wird, ist das keine Erklärung der Flamme,

des Feuers als Zustand, dieses geheimnisvollen, für unsere Zwecke segensreichen aber auch zerstörerischen Vorgangs. Man kann das, was sich in der Flamme abspielt, mit Hilfe von Modellen erklären. Die Modelle sind in diesem Fall Verlaufsmodelle, die den Vorgang in Phasen zerlegen und Phase um Phase beschreiben. Da die Kerze die einzelnen Phasen deutlich vor Augen führt, ist sie geradezu ein didaktisches Modell, um Kindern zu erklären, was in der Flamme vor sich geht. Wir verwenden eine Sequenz von Aktivitäten, die eine Verwendung des Wortes „Entdecken“ vielleicht noch als statthaft erscheinen lässt, in dem Sinn, dass die Kinder dem entwickelten Zusammenhang fast von selbst auf die Spur kommen. Dies darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Kenntnis der Zusammenhänge des Sachverhalts durch die Lehrerin zwingend erforderlich sind. Es wäre ein Missverständnis so genannter offener Arbeitsformen, wollte man sich mit den Kindern zusammen auf die Entdeckung einlassen, ohne die Sache besser zu überblicken als sie.

Zwei interessante Verwandlungsvorgänge sind bei einer Kerze zu beobachten. Der zweite schließt sich dem ersten an. Beim ersten wird festes in flüssiges und dies in gasförmiges Wachs umgewandelt. Das flüssige ist in einem Trog um den Docht enthalten, das gasförmige stiebt aus dem Docht. Bläst man den Docht aus, so wölkt es weißgrau auf, ein brennendes Streichholz entflammt es sofort. Der Trog kommt zustande, weil die Flamme Luft ansaugt, die ihr von unten zuströmt und einen Wind erzeugt, der die äußere Wand des Kerzenkörpers kühlt. Der Verwandlungsvorgang ist auf die Zunahme der Hitze zurückzuführen. Dass das flüssige Wachs im Docht emporsteigt, hängt mit der Erscheinung der Kapillarität oder Haarröhrchenwirkung zusammen, die bewirkt, dass Flüssigkeiten in haarfeinen Räumen nach oben steigen, wie Wasser im Schwamm, Kaffee im Zuckerwürfel, Gesichtsfuchtigkeit im Handtuch usw.

Der zweite Verwandlungsvorgang, der an einer Kerzenflamme abgelesen werden kann, betrifft die Verwandlung des Wachsgases. Es ist der dunkle Teil im Innern der Flamme, unmittelbar um den Docht herum. Dies Gas zerlegt sich in exakt zwei Teile, Wasserstoff und Kohlenstoff. Die Kerze gleicht wegen der Einfachheit der in ihr zu beobachtenden elementaren Vorgänge einem didaktischen Modell. Für den Zweck des Unterrichts ist es günstig, dass Stearin und Paraffin lediglich zwei molekulare Komponenten aufweisen, die zwar höchst komplexe Gebilde darstellen, die aber

ausschließlich aus diesen beiden Bausteinen zusammengesetzt sind. In der Kerzenflamme erscheint der Wasserstoff, der aus dem Wachsgas austritt, als bläuliches Licht am unteren Flammensaum. Der Kohlenstoff erscheint in Form einer Masse von ungeheuer vielen Rußpartikelchen, die in der Hitze glühen. Sie sind es, die das Leuchten der Flamme verursachen. Sie sind nicht gasförmig, sondern fest, winzig kleine konkrete Teilchen, die sich auf dem Boden eines Porzellantellers als schwarze Rußspur niederschlagen, der durch die Flamme geführt wird. Man kann zeigen, dass der leuchtende Teil der Flamme einen Schatten wirft, um auf diese Weise die Behauptung plausibel zu machen, dass es sich um lauter feste Teilchen handelt. Am besten ist ein Diaprojektor geeignet, es geht aber auch mit einem gekippten OHP, obwohl dieser das Abbild der Flamme auf der Projektionsfläche auf den Kopf stellt: Mit ein wenig Herumprobieren bekommt man die idealen Abstände zwischen Projektor, Kerzenflamme und Projektionsfläche rasch heraus, um den Schatten der Flamme scharf und deutlich zu sehen.

Der Verwandlungsvorgang kulminiert in einem Abschluss, bei dem sich der gasförmige Wasserstoff mit dem in der äußeren Luft enthaltenen Sauerstoff zu Wasser verbindet, und die winzigen, aber festen glühenden Rußteilchen je zwei Sauerstoffatome an sich binden, um Kohlendioxid zu erzeugen. Diese Vorgänge laufen innerhalb des Flammensaums ab, jener Zone, in der die mandelförmige Flamme auf die außen vorüberströmende Luft trifft. Die erwärmte Luft steigt nach oben, kühlere Luft strömt von unten hinzu. Unter Bedingungen der Schwerelosigkeit ist die Kerzenflamme nicht mandelförmig, sondern vollkommen rund, wie entsprechende Versuche im Weltall gezeigt haben, denn dort können sich die Dinge nicht nach ihrem Gewicht sortieren. Mit der Verwandlung von Stearin in Wasser, Kohlendioxid und Wärme sind die beiden Verwandlungsverläufe bezeichnet, die bei einer Kerze zu beobachten sind.

Der Docht neigt sich in den Flammensaum und verbrennt dort ebenfalls vollkommen: Der Baumwollstoff, aus dem er besteht, geht mit dem Sauerstoff der vorüberströmenden Luft ebenfalls eine Verbindung ein. Dies ist eine relativ neue Erfindung, Kerzen noch zur Goethezeit hatten Döchte, die im Innern der Flamme stehen blieben, dort verklumpten und blakten, wenn sie nicht regelmäßig mit der Lichtputzschere abgeschnitten wurden. Moderne Döchte sind „mit einem Drall“ gesponnen, so dass sie sich in den Flammensaum hineinneigen, wo sie verbrennen.

All diese Ausführungen sind übrigens bei Faraday sehr viel ausführlicher und genauer nachzulesen. Und Faraday ist es auch, auf dessen Anregungen die folgenden Unterrichtsaktivitäten zurückgehen.

- Die Zonen einer Kerzenflamme zeichnen: Wie viele Zonen sind zu erkennen? Es kommt regelmäßig zu unterschiedlichen Vorschlägen, alle fragen, wer hat Recht? Ein Vorschlag: Die Zonen, die jeweils einen bestimmten Zustand des Verbrennungsvorgangs bezeichnen, als Grundlage der Zahl nehmen.
- An welcher Stelle ist die Flamme am heißesten? Viele Spekulationen werden angeführt und vorgetragen. Ist es der bläuliche Teil unten, oder die Mitte, oder die Spitze? Hierzu gibt es einen Faradayschen Versuch, der völlig überzeugend ist, aber nicht ganz ungefährlich. Dabei wird ein Blatt Papier mit ruhiger Hand seitlich in die Flamme geführt und so lange über der Flamme gehalten, bis eine Spur sich einbrennt, aber nicht so lange, dass das Blatt Feuer fängt. Wenn es gelingt, dann zeigt sich auf der oberen, der Flamme abgewandten Seite eine von unten kreisförmig bräunlich eingebrannte Spur – der Beweis dafür, dass die Flamme im äußeren, den Kern und den leuchtenden Mantel umgebenden Saum am heißesten ist. Hier tritt ja der Sauerstoff hinzu und bildet mit den Stoffen der Flamme etwas Neues, Unsichtbares. Es ist vielleicht angebracht, wenn die Lehrerin an dieser Stelle auf den zwingenden Charakter dieses Versuchs hinweist: Dass es so sein muss, dass die Flamme im Saum am heißesten ist, und dass es deshalb nicht sein kann, dass die Flamme im innern Kern oder im unteren Teil am heißesten ist. Mit dem Versuch ist ein Nachweis gelungen, und ein Teil der Spekulationen hat sich als unhaltbar herausgestellt.
- Die einzelnen Stationen mit Versuchen von den Kindern selbst illustrieren lassen: Die drei Zustände fest – flüssig – gasförmig mit dem aufwölkenden und leicht entflammbaren Wachsgas; die Kapillarwirkung des Dochts mit einem Zuckerwürfel in einer Tintenpfütze; eine Rußspur auf dem Blatt und eine Zeichnung vom Schatten der Flamme; die Verwandlung in Wasser und Kohlendioxid.
- Die Veränderungen der Zustände der Substanz im Einzelnen beschreiben.
- Den Erhalt der Bausteine der Substanz im Umwandlungsprozess im Einzelnen belegen.

- Andere Beispiele für Veränderungen und Erhalt nennen; das Prinzip des Erhalts bei Veränderung formulieren.

Insgesamt handelt es sich bei diesem Beispiel um einen komplexen Erkundungsprozess, bei dem außer den Grundfertigkeiten des Beobachtens, Dokumentierens, Messens und Ordnen auch das Äußern und Begründen von Vermutungen und die Nachprüfung der Haltbarkeit von Vermutungen durch Versuche eine erste Rolle spielen. Der Zusammenhang mit dem Konzept „Erhalt der Materie bei Veränderung“ wird herausgestellt, so dass hier auch ein Beispiel für die Verschränkung des Methodischen mit dem Konzeptuellen gegeben ist.

Dies ist ein Beispiel. Andere Beispiele sind im angesprochenen Methodenrepertoire angelegt, etwa das Teilchenkonzept. Entscheidend wichtig ist die konstruktive Umsetzung und der Ausbau dieser Anregungen im Unterrichtsgeschehen.

Literatur

AAAS - American Association for the Advancement of Science. (2001). Atlas of Science Literacy. Project 2061. Washington, D.C.

AAAS - American Association for the Advancement of Science/The Xerox Corporation. (1967). Science– A Process Approach. Washington, D.C.

Bachelard, Gaston. (1988). Die Flamme einer Kerze. München, Wien. Carl Hanser Verlag.

Baumert, Jürgen, Blum, Werner, Neubrand Michael. (2004). Drawing the lessons from PISA 2000. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Beiheft 3/2004. PISA und die Konsequenzen für die erziehungswissenschaftliche Forschung. Wiesbaden. Verlag für Sozialwissenschaften, S. 143 – 157.

Bayley, Adrian. (1992). Mit Kindern die Umwelt studieren. In: H. Schreier (Hrsg.). Kinder auf dem Wege zur Achtung vor der Mitwelt. Heinsberg. Agentur Dieck, S. 190 – 201.

Brandwein, Paul, Cooper, E., Blackwood, P., Hone, E. (1966). Concepts in Science. New York et al. Harcourt, Brace and World.

- Bromme, Rainer. (1995). What exactly is pedagogical content knowledge? Critical remarks regarding a fruitful research program. In: Hopmann, Riquarts (eds.). Didactics and/or curriculum. IPN Schriftenreihe, vol. 147. Kiel, IPN, pp. 205 – 216.
- Bruner, Jerome. (1970). Der Prozeß der Erziehung. Düsseldorf. Schwann.
- Cornell, Joseph. (1983). Mit Kindern die Natur erleben. Soyen. Ahorn Verlag.
- Deckert-Peaceman, Heike. (2002). Holocaust als Thema für Grundschul Kinder? Ethnographische Feldforschung zur Holocaust Education am Beispiel einer Fallstudie aus dem amerikanischen Grundschulunterricht und ihre Relevanz für die Grundschulpädagogik in Deutschland. Frankfurt a.M. u.a. Peter Lang.
- Faraday, Michael. (1980). Naturgeschichte einer Kerze. Band 3 der Reihe Reprinta historica didactica. Bad Salzdettfurth über Hildesheim. Verlag Franzbecker.
- Gudmundsdottir, Sigrun. (1995). The Narrative Nature of Pedagogical Content Knowledge. In: McEwan, Egan (eds.). Narrative in teaching, learning, and research. New York. Teacher's College Press. pp. 24 – 38.
- Hein, George E. (1968). Children's Science is Another Culture. In: "Technology Review", vol. 71.
- Köhnlein, Walter, Schreier, Helmut (Hrsg.). (2001). Innovation Sachunterricht – Befragung der Anfänge nach zukunfts fähigen Beständen. Bad Heilbrunn. Klinkhardt.
- Nietzsche, Friedrich. (2000). Ecce Homo. Frankfurt. Insel Verlag.
- Portmann, Adolf. (1976). An den Grenzen des Wissens. Vom Beitrag der Biologie zu einem neuen Weltbild. Frankfurt a. M. Fischer.
- Rousseau, Jean-Jacques. (o.J.). Botanik für artige Frauenzimmer. Lehrbriefe für eine Freundin. ursprgl. 1774. Aus dem Französischen übersetzt von Ruth Schneebeili-Graf. Hanau. Peters.
- Rumpf, Horst. (1991). Über einen nicht zu verschleißenden Umgang mit Räumen, Zeiten, Gesten und mit der Sprache. In: forum loccum, 10. S. 1 – 6.
- Shulman, Lee. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. In: Educational Researcher, 15. pp. 4 – 14.

Shulman, Lee. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the new reform. In: Harvard Educational Review, 57. pp. 208 – 219.

Smith, Deborah C. (1999). Changing our Teaching: The Role of Pedagogical Content Knowledge in Elementary Science. In: Gress-Newsome, Lederman (eds.). Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education. Dordrecht. Kluwer Academic Publishers. pp. 163 – 197.

Weinert, F.E., Helmke, A. (1996). Der gute Lehrer: Person, Funktion oder Fiktion? In: A. Leschinsky (Hrsg.). Die Institutionalisierung von Lehren und Lernen. Weinheim. Beltz. S. 223 – 233.

Weinert, Franz Emanuel. (1996). ‚Der gute Lehrer‘, ‚die gute Lehrerin‘ im Spiegel der Wissenschaft. In: Beiträge zur Lehrerbildung, 14.

Anhang

Ein philosophisches Spielzeug

von Richard Frazier

(Übersetzung ins Deutsche: Corinna Vinicombe)

Seit fast einem Jahrzehnt frage ich meine Schüler in den Klassen 7 bis 9: „Wie kam der Kartesische Taucher zu seinem Namen?“. Die Schüler, die sich auf diese Herausforderung einlassen, antworten für gewöhnlich mit einer Beschreibung des Geräts und ihrer Meinung, dass „kartesisch“ vom Namen des französischen Mathematikers René Descartes (1596-1650) hergeleitet sei. Keiner von ihnen hat eine dokumentierte Verbindung zwischen dem Taucher und Descartes finden können, obwohl einige naturwissenschaftliche Lehrbücher behaupten, dass Descartes der Erfinder war (Vilenkin in Kikoin 1980). Wir haben kürzlich eine systematische Aktion gestartet, um der Sache auf den Grund zu gehen, und haben Anfragen per Email und auf dem Postweg an Didaktiker naturwissenschaftlicher Fächer, an Wissenschaftler in naturwissenschaftlichen Museen und an Historiker und Philosophen geschickt, die sich mit der Naturwissenschaft befassen. Außerdem haben wir Arbeiten von Descartes und über seine Philosophie studiert, ohne bisher eine direkte Verbindung entdecken können. Mehrere unserer wissenschaftlichen Kontakte haben uns ausgiebig mit Ideen, Literaturverweisen und Spekulationen versorgt. Und doch müssen wir feststellen, dass wir eine Beschreibung des Tauchers in Descartes Hauptwerk nicht finden konnten. Falls eine Verbindung wirklich existiert, muss sie sehr versteckt sein. Einem unserer historisch ältesten Referenzwerke entnahmen wir immerhin, dass die Vorrichtung (die man Kartesischer Teufel nannte) seinerzeit – im achtzehnten Jahrhundert – bereits sehr bekannt war (Triewald 1731). Beschreibungen von hydrostatischen Phänomenen und Entwürfen von Tauchgeräten (z.B. Tauchglocken) sind in Descartes Ära tatsächlich erschienen (Damerow et al. 1992, Marx 1990, Tokaty 1971). Die Hydrostatik bot Forschern wie Galilei bei der Entwicklung des Konzepts des freien Falls wichtige Analogien (Damerow et al. 1992). Descartes lieferte bedeutende Beiträge zur Debatte über die Bewegung schon vor der Entwicklung der Newtonschen Mechanik und wäre sicherlich in der Lage gewesen, über die vielen Phänomene zu reflektieren, die durch

den Taucher illustriert werden (Damerow et al. 1992, Garber 1992, Shea 1991). Aber es ist ein Schüler Galileis, Raffaello Maggiotti, dem die Anerkennung für die erste schriftliche Dokumentation des Kartesischen Tauchers gebührt (Rose 1970). In einem kurzen Text spricht Maggiotti (1648, nachgedruckt in Targioni-Tozzetti, Giovanni 1780) von der Vorrichtung als „meine Erfindung“ („L'invention mia non consiste nel caldo, o nel freddo; ma nella Renitenza all Compressione“). Der Taucher wurde Descartes also fälschlicherweise zugeschrieben (Damerow 1994). Auch beziehen die Franzosen sich auf den Taucher nicht als ‚kartesisch‘, sondern als ‚ludion‘, ein Wort, das aus dem Lateinischen kommt und Schauspieler, Spaßmacher oder wandernder Unterhaltungskünstler bedeutet (Feral 1994).

Als Lehrer finde ich die unklaren Anfänge eines Objektes faszinierend, das im naturwissenschaftlichen Unterricht an Schulen derart bekannt ist. Ich habe mich oft gefragt, wie viele andere klassische Demonstrationen, Experimente und Geräte in Schulen als selbstverständliche Rituale und Relikte des naturwissenschaftlichen Wissens weiterleben mögen. Unsere intensive Suche nach dem Ursprung des Tauchers in diesem Jahr hat mich zum Nachgrübeln über viele verschiedene Ansätze zur Förderung des naturwissenschaftlichen Lernens von Kindern gebracht: Wie ist es am besten zu fördern? Interessanterweise bietet eine Vermutung meiner Schüler darüber, weshalb das Gerät den Namen Descartes trägt, einen Ausweg aus meiner Zwickmühle. Auch liefert sie den Fokus meines Textes. Die Antwort der Schüler, historisch naiv, gibt auch das beste Argument für den Einsatz von philosophischem Spielzeug in Schulen. Sie lautet: „Der Taucher ist nach einem großen Philosophen benannt, weil uns das zum Nachdenken anregt.“

„Zum Nachdenken worüber?“

„Über Erklärungen und Beweise und über Gewicht, Druck, Bewegung, Materie, Wasser, Schwerkraft, das Schweben, das Sinken, und Kräfte und Vakuum“.

Im Gegensatz zu seinem zögerlichen Erscheinen in der Geschichte der Naturwissenschaften ist der Kartesische Taucher im naturwissenschaftlichen Unterricht nahezu allgegenwärtig. Zwei Artikel über das Gerät zierten im Abstand von nur sechs Monaten im Jahr 1993 (Penick 1993, Berg 1993) die Seiten von *The Science Teacher*. Ein weiterer Artikel, der den pädagogischen Reichtum des Instruments beschwört,

wurde in derselben Zeitschrift veröffentlicht (Roberts 1981). In meiner persönlichen Bibliothek habe ich Beschreibungen des Tauchers in sechs naturwissenschaftlichen Handbüchern ganz unterschiedlicher Herkunft gefunden (Barrett 1963, Cherrier 1978, Ehrlich 1990, Marson 1967, Van Cleave 1985, Zubrowsky 1981). Mindestens ein naturwissenschaftliches Schulprogramm für Schüler im Alter von 11 bis 14 Jahren, Foundational Approaches to Science Teaching (FAST) (Pottenger, Young 1992), benutzt den Taucher als Ausgangspunkt und Zentrum für den Aufbau von Vorstellungen zum Verhältnis von Auftrieb und Dichte.

Nachdem zur Rolle des Tauchers im naturwissenschaftlichen Unterricht bereits so viel gesagt worden ist, kann man fragen: Was bleibt da noch hinzuzufügen? Das einfach erscheinende „geschlossene System“ des Kartesischen Tauchers ist - wie es sowohl Penick (1993) als auch Berg (1993) in ihren Science Teacher Artikeln plausibel erklärt haben - eigentlich ein beziehungsreiches und kompliziertes System, das offen ist und zum Üben naturwissenschaftlicher Untersuchungen gewissermaßen einlädt. Natürlich bleibt es trotzdem immer noch einfach, den Taucher einfach als gegeben hinzunehmen, in der Annahme, dass auch die rätselhaftesten Erscheinungen korrekt durch simple Erklärungsmuster aufzulösen sind, - dass der Taucher also tatsächlich nur ein Spielzeug ist.

Spielzeug oder nicht, dem Taucher gelingt es jedenfalls immer, Schüler zu faszinieren. Für gewöhnlich beginne ich zunächst mit der einfachen Version. Die ersten Versionen, die wir einsetzen, werden aus 1,5 Liter Plastikflaschen hergestellt. Für die Taucher selbst benutzen wir umgedrehte Reagenzgläser, Pipetten und Spritzen, die mit einer kleinen Bleikugel als Ballast gefüllt sind. (Der Spritzenentwurf ist beschrieben in FAST 1: Pottenger, Young 1992). Die Taucher können so „eingestellt“ werden, dass sie sofort reagieren, wenn sie in die wassergefüllten Flaschen gelangen. Am leichtesten ist es, den Auftrieb der Taucher in einem großen offenen Wasserbehälter auszutrieren, bevor man sie in die Flaschen steckt. Die Flaschen müssen mit Wasser gefüllt sein, die Taucher werden mit dem offenen Ende nach unten in die Flaschen gesetzt, ohne die beim Austrieren eingegebene Wassermenge zu verändern, und die Deckel müssen festgedreht oder aufgedrückt werden. Wenn ich den Schülern die Taucher gebe, sind alle funktionsbereit. Ich gebe in der Regel eine kurze Einführung, spekuliere über den Namen und liefere eine hanebüchene Erklärung dazu, was mit dem Taucher passiert.

Zum Beispiel behaupte ich, dass ich meinen Schülern Psychokinese vorführe, indem ich den Taucher mit meinen Gedanken nach unten drücke. Tatsächlich aber drücke ich die Flasche unmerklich zusammen. Während die Schüler es kaum abwarten können, ihre Hände an die Versuchsanordnung zu bekommen, stelle ich zwei Aufgaben: Die Schüler sollen erstens das Verhalten des Tauchers oder der Taucher so vollständig wie möglich beschreiben und zweitens die Konstruktion und Handhabung der drei eingesetzten Taucher-Formen erlernen (Teströhre, Pipette, Spritze). Ich rege die Schüler an, Bilder zur Illustration ihrer Beschreibungen und Erklärungen anzufertigen.

Im Lauf der Jahre habe ich gelernt, bestimmte typische Erklärungen zu erwarten. Die Tatsache, dass manche Ideen in jeder Klasse wiederholt werden, lässt mich zu dem Schluss kommen, dass diese dauerhaft wirksamen Konzepte eine nähere Betrachtung wert sein könnten. Einen Teil unserer Taucheraktivitäten haben wir in diesem Jahr den Eltern bei einem naturwissenschaftlichen Forum vorgeführt. Drei der von meinen Schülern immer wieder angeführten Erklärungen schienen auch den Eltern besonders plausibel zu sein.

Es geht mir nicht darum, diese „Theorien“ im Sinne der Erforschung alternativer Konzeptionsbildung zu untersuchen. Ich denke aber, dass es durchaus mitteilenswert erscheint, wenn im Lauf von 10 Jahren naturwissenschaftlichen Unterrichts rund 1300 Schüler ähnliche Erklärungsmuster entwickeln. Ich möchte jede dieser Erklärungen sorgfältig darstellen, wobei ich von der zuletzt unterrichteten Gruppe von Schülern ausgehe. Der Spaß beginnt, wenn wir anfangen, uns die Theorien vorzunehmen. Ich habe jeder einzelnen einen Namen gegeben, um eine Diskussion zu erleichtern.

Theorien zur Funktionsweise des Kartesischen Tauchers

Die Gewichtstheorie: Das Zusammendrücken der Flasche zwingt Wasser in den Taucher. Mehr Wasser lässt den Taucher schwerer werden und ihn sinken. Das Loslassen der Flasche bewirkt, dass die zusammengesprengte Luft, die in dem Taucher gefangen ist, das überschüssige Wasser wieder hinausbefördert. Der Taucher wird leicht genug, um wieder empor zu treiben.

Die Lufttheorie: Luft bewirkt, dass der Taucher an die Oberfläche treibt. Wenn das Luft-Volumenverhältnis eines Objekts auf einen bestimmten Punkt reduziert wird, ist

nicht mehr genug Luft vorhanden, um das Objekt oben zu halten; es sinkt. Der Taucher funktioniert, weil die Luft in seinem Innern durch das Pressen der Flasche bis zu dem Punkt komprimiert wird, an dem sie den Taucher nicht mehr oben halten kann. Wird die Flasche wieder losgelassen, expandiert die Luft wieder bis zu jenem kritischen Punkt, an dem sie den Taucher oben halten kann.

Die Druck-Strömungstheorie: Das Pressen der Flasche übt Druck auf das Wasser im Innern aus. Das Wasser versucht, nach oben aus dem Flaschenhals zu treten. Dies kann man sehen, wenn man die Flasche ohne Verschluss zusammendrückt. Wenn der Verschluss aber aufgesetzt ist, prallt das Wasser zurück und zieht den Taucher mit hinunter. Wenn man die Flasche loslässt, wird diese Strömung rückgängig gemacht.

Die Druck-Krafttheorie: Das Pressen der Flasche übt Druck auf das Wasser im Innern aus. Weil die Druckkraft das Wasser nicht bewegen kann, da es eingeschlossen ist, wird die Druckkraft auf den Taucher übertragen und drängt ihn nach unten. Diese übersetzende Kraft verschwindet, wenn das Pressen aufhört und der Taucher kehrt in seine treibende Ausgangsposition zurück.

Die Volumen-Verdrängungstheorie: Schweben und Sinken beinhaltet eine Beziehung zwischen dem Gewicht eines Objektes und dem Gewicht des Wassers, das es verdrängt. Für Schwebkörper gilt, dass das Gewicht des schwimmenden Objektes genauso groß ist wie das Gewicht des Wassers, das es verdrängt; für Sinkkörper gilt, dass das Gewicht des sinkenden Objekts größer ist als das Gewicht des Wassers, das es verdrängt. Durch den Druck von außen verdrängt der Taucher unterschiedliche Wassermengen und wechselt als Schweb- oder Sinkkörper auf und ab. Die unterschiedlichen Mengen verdrängten Wassers scheinen in den Taucher hinein und wieder aus ihm hinaus zu gehen.

Abhängig vom Jahr oder der Klasse kann es sein, dass die eine oder die andere Theorie besondere Popularität gewinnt. Manchmal haben die Erklärungen auch eine annähernd gleiche Zahl von Anhängern. Einige Schüler wollen die Theorien miteinander verbinden. Einige denken, dass alle Erklärungen vernünftig sind. Im Allgemeinen gilt: Je eher die Erklärung dem herkömmlichen Standard entspricht (je eher sie Vokabeln wie Dichte / konstante Masse / Auftrieb verwendet), um so weniger wahrscheinlicher ist es, dass sie zur populärsten wird. Die meisten der Schüler, die eine Erklärung anbieten,

haben bereits Erfahrungen mit der Untersuchung von Auftriebsphänomenen. Einige kennen sogar die Anekdote von Archimedes. Die Gewichtstheorie ist immer wieder sehr populär. Und in der Tat behaupten auch fünf der oben erwähnten sechs Handbücher, dass der Eintritt von Wasser in den Taucher durch das Drücken der Flasche diesen schwerer machen würde. Das FAST 1 Lehrerhandbuch (Pottenger, Young 1992) behandelt die Gewichtstheorie als eine Frage der Definition. Demnach gilt: Wenn Wasser als Bestandteil des Tauchers eingeschlossen wird, dann ist die Gewichtstheorie begründet. Die Druck-Strömungstheorie geht der Druck-Krafttheorie häufig voraus. Nachdem die Schüler die Sache ausprobiert haben, geben sie die Strömungstheorie oft wieder auf, aber das Konzept des Drucks, der einen Effekt produziert, bleibt in einigen Fällen erhalten. Interessanterweise werden verschiedene Druck-Theorien oft mit identischen Diagrammen dargestellt.

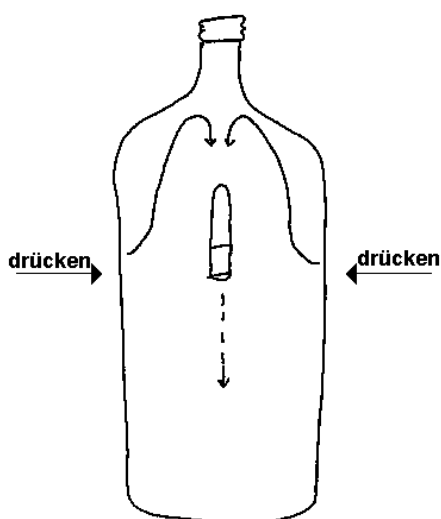


Abbildung 1: Zeichnung hergestellt für die Druck-Strömung- und Druck-Kraft-Theorien.

Linien für Strömung oder Kraft werden von den Druckpunkten bis zur Spitze und entlang der Krümmung der Flasche gezeichnet. Diese Linien winkeln dann nach unten auf den Taucher ab. In den letzten zwei Jahren hat nur ein Schüler (von einhundertundzwanzig) pro Jahr eine Theorie auf der Basis des Archimedischen Prinzips angeboten. Ich vermute, dass die Druck-Strömung- und Druck-Kraft-Befürworter das Tauchersystem nicht als Beispiel für das Auftriebsphänomen sehen. Die Gewichtstheorie beruft sich auf Schwerkraft als die senkende Kraft. Die Luft-Theorie deutet auf die althergebrachte fantasiereiche Vorstellung der natürlichen Bewegung zum richtigen Ort (Telos): Luft steigt nach oben.

Wenn die Theorien dargelegt, erklärt und konsolidiert worden sind, stelle ich den Schülern die Aufgabe, jede von ihnen zu testen. Sie sollen neue Beweise für oder gegen jede Theorie finden. Die Beweise sollen dadurch ermittelt werden, dass die Folgerungen, die sich aus jeder Theorie ergeben, im Einzelnen nachgeprüft werden. Schließlich präsentieren die Schüler die Auswertung ihrer verschiedenartigen Vorgehensweisen in der Klasse. Es zeigt sich, dass sie mit der Aufgabe ganz unterschiedlich umgehen. Einzelne hinterfragen die Theorien so energisch, als ob es ihnen darauf ankäme, jede einzelne zu widerlegen. Einige halten an ihrer ursprünglichen Idee fest; sie können sich einfach nicht vorstellen, dass sie nicht zutreffen sollte. Manche der Theorien stellen keinerlei Problem dar. Einigen Schülern bereitet es Kopfzerbrechen, dass die verschiedenen Theorien so unterschiedlich sind: Die Druck-Krafttheorie bringt eine neue Ursache ins Spiel, während die Volumen-Verdrängungstheorie einfach nur eine komplexe Beziehung beschreibt. Andere Schüler sind darüber ganz aufgeregt, dass sie an dem Taucher eine neue Facette entdeckt haben, während es andere beunruhigt, Beweise gegen eine Theorie zu haben, die ihnen immer noch gut erscheint.

Ebenso wie ich über die Jahre erfahren habe, dass die Theorien über den Taucher vorhersehbar sind, habe ich feststellen können, dass die Tests dazu unglaubliche Innovationen hervorrufen. Jedes Jahr lerne ich etwas Neues, sehe ein neues Beweisstück oder ein altes in einem neuem Licht. Eine Atmosphäre von Entdeckung und Debatte dominiert den naturwissenschaftlichen Unterricht während dieser Theorie-Test-Phase. Neue Ideen werden bedenkenlos angewandt, neue Techniken werden erfunden und verbessert. Einige dieser Tests sind so einzigartig, sie müssen einfach beschrieben werden. In den Literaturhinweisen, die ich gesehen habe, sind kaum ähnliche aufgeführt worden. Die meisten der im Folgenden wiedergegebenen Versuche haben Schüler im Alter von 11 bis 14 Jahren entwickelt.

Versuche zur Prüfung von Theorien über die Funktionsweise des Kartesischen Tauchers

Nach der Gewichtstheorie sollte ein Taucher, der gegen Wasserzutritt verschlossen ist, nicht funktionieren, da kein Wasser eintreten kann, um ihn schwerer zu machen. Ein Reagenzglas, über dessen Öffnung ein Ballon gespannt wird, kann mit eingefülltem

Wasser so austariert werden, dass es als Taucher fungiert. Auch ein leicht aufgeblasener Ballon, der eine Murmel oder ein Angelgewicht aus Blei enthält, kann als Taucher fungieren.



Abbildung 2: Fotografie eines Schülers, der einen „geschlossenen“ Taucher bedient, der aus einem Ballon mit einem kleinen Angelgewicht im Innern hergestellt wurde. Der Ballon schwebt in der mit Wasser gefüllten Plastikgetränkeflasche, bis die Flasche gedrückt wird.

Die Tatsache, dass ein geschlossener Taucher hinabsinken und emportreiben kann, wird von den meisten als ernste Bedrohung der Gewichtstheorie wahrgenommen. Geschlossene Taucher sind auch für andere Tests brauchbar, da die Flaschen, die sie enthalten, auf den Kopf gestellt, fallen gelassen und schnell gedreht werden können. Strikte Befürworter der Gewichtstheorie werden argumentieren, dass geschlossene Taucher anderen Prinzipien folgen als die klassischen Kartesischen Taucher mit dem offenen Zugang.

Nach der Gewichtstheorie sollte eine Spritze schwerer werden, wenn Wasser hinzu gegeben wird. Wenn man eine Spritze an einem Faden an einer empfindlichen (Sprung)federwaage befestigt und Wasser dazugibt, wird die Spritze in der Tat schwerer, sofern sie in der Luft gewogen wird. Eine Spritze jedoch, die beim Sinken unter Wasser gewogen wird, scheint durch den Zutritt von Wasser ins Innere nicht schwerer zu werden. Für manche ist dies ein ambivalenter Test, da die Spritze die Auftriebsschwelle bereits überschritten hat, wenn das Wiegen unter Wasser durchgeführt wird.

Verschiedene Testserien mit dem Ballontauher können auch in einer Unterdruckkammer nach dem oben beschriebenen Muster durchgeführt werden. Der

Ballon und das Gewicht, bei atmosphärischem Druck ins Wasser gesetzt, sollten sinken. Wird die Kammer geleert, sollte der Ballon sich aufblähen und nach oben treiben. Mit einem Messzylinder im Innern der Vakuumglocke kann das von einem Ballon jeweils verdrängte Wasser gemessen werden, der als Sink- und Schwebkörper eingesetzt ist. Eine kleine (Sprung)federwaage in der Vakuumglocke zeigt die Gewichtsunterschiede beim aufgeblasenen und beim luftleeren Ballon an. Diese Versuche stützen die Volumen-Verdrängungstheorie und stellen die Gewichtstheorie in Frage, da sich keine Gewichtsveränderung beobachten lässt. Die beiden Drucktheorien scheinen in diesen Fällen ebenfalls nicht zu helfen, da die Druckveränderung nicht aus einer bestimmten Richtung kommt. Die Lufttheorie wird durch den Ballontauher in der Unterdruckkammer unterstützt. Einige Befürworter der Lufttheorie betrachten sie deshalb als der Volumen-Verdrängungstheorie sehr ähnlich.

Ein Ballontauher und ein Schwebekörper aus anderem Material (Spielzeugtier aus Plastik) werden in eine Flasche gesetzt. Die Flasche wird auf den Kopf gestellt, oder sie wird auf dem Tisch schnell um die eigene Achse gedreht. Wasserströmungen tragen die beiden Objekte auf ähnlichen Pfaden durchs Flascheninnere. Dann wird die Flasche gedrückt, und nur der Ballon sinkt: Strömungen können treibende Objekte in der Flasche bewegen, aber das Drücken kann keine feststellbare Strömung produzieren.

Die aufregendsten Versuche laufen darauf hinaus, den Taucher während des freien Falls zu betätigen. Die beiden Drucktheorien und die Lufttheorie berufen sich für die Tauchbewegungen auf andere Ursachen als die Schwerkraft. Die meisten Schüler stimmen darin überein, dass, die Drucktheorie richtig sein muss, wenn es sich als irrelevant herausstellen sollte, ob die Flasche fällt oder nicht, wenn also das Drücken allein genügt.

Am Swimmingpool üben die Schüler das Springen vom Sprungbrett, während sie den Taucher betätigen. Dabei treten folgende Situationen auf: Ein Schüler springt und drückt die Flasche mit dem Taucher. Der Schüler drückt und springt. Der Schüler drückt, springt und löst den Druck. Der Schüler drückt, springt und lässt die Flasche los.

Der im freien Fall befindliche Taucher bringt nahezu jedermann, einschließlich Erwachsene, zu einem Augenblick des nachdenklichen Innehaltens. Ist der Kartesische

Taucher tatsächlich ein Beispiel für Auftriebsphänomene? Hängen Auftrieb und Sinken mit der Schwerkraft zusammen?



Abbildung 3: Ein Schüler springt vom Sprungbrett und bedient gleichzeitig ein Kartesisches Taucher System. Der Ballontaucher funktioniert gut bei Sprungbrettexperimenten, weil sie selbst dann glücken, wenn die Flasche auf den Kopf gestellt wird.

Der intelligenteste Test zur Prüfung der Lufttheorie drehte sich um den raffinierten Einsatz des Vakuums. Eine Schülerin nahm eine 50-Kubikzentimeter-Spritze mit eingezogenem Kolben, versah sie am unteren Ende mit einem Gummischlauch und einer Klemme, und setzte ein zylinderförmiges Röhrchen aus festem Plastik daran. Die gesamte Anordnung wurde in einem großen Wassercontainer zum Sinken gebracht. Die Schülerin nahm dann die Spritze aus dem Wasser, drückte den Schlauch zusammen und klemmte ihn zu. Dann zog sie den Kolben auf und keilte den Plastikzylinder zwischen das Ende des Kolbens und der Kante des Spritzenkörpers, um zu verhindern, dass der Kolben durch den atmosphärischen Druck in die Spritze hineingedrückt wurde. Die Schülerin demonstrierte, dass der Innenraum der Spritze nicht wie ein luftgefüllter Raum reagierte, indem sie den Schlauch unter Wasser öffnete und Wasser in die Spritze eindringen ließ. Sie leerte das Wasser aus der Spritze, klemmte den hochgezogenen Kolben wieder fest und platzierte dieses Versuchsgerät im Wasserbehälter. Die Spritze schwamm, obgleich keine Luft hinzugefügt worden war. Die Schülerin konnte also den Auftrieb dieses dem Kartesischen Taucher ähnlichen Gerätes variieren, ohne das Gewicht zu verändern oder Luft hinzuzufügen. Die darauf folgende Debatte über das Vakuum hätte vielleicht sogar Descartes beeindruckt.

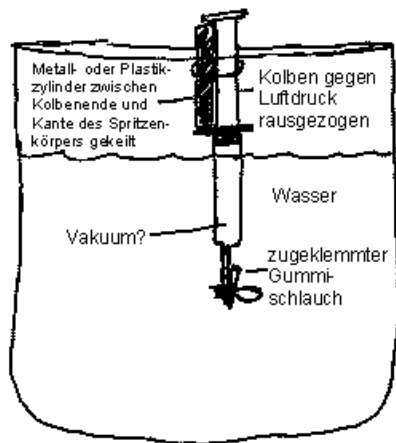


Abbildung 4: Tauchgerät zur Prüfung der Lufttheorie. Eine Spritze, die gegen atmosphärischen Druck offen gehalten wird, schwimmt, obgleich keine Luft in den Taucher getreten ist.

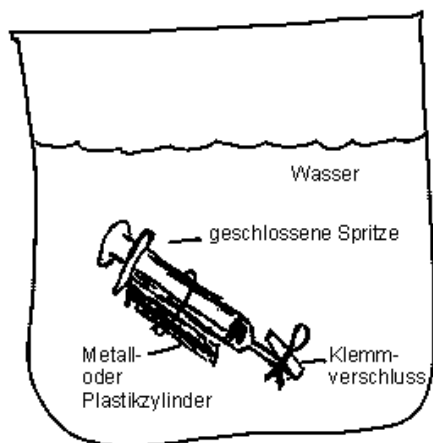


Abbildung 5: Ohne Luft, ohne Vakuum und ohne Veränderung der Masse wird die Spritze zum Sinken gebracht.

Nach der Lufttheorie stellt sich die Volumen-Verdrängungstheorie für die Schüler als die am schwierigsten nachprüfbar heraus. Einige versuchen, das Archimedische Prinzip zu prüfen, indem sie die Objekte und das von den Objekten verdrängte Wasser wiegen. Wenn nur wenige Schüler solch eine Messung durchführen, sind die Ergebnisse zweifelhaft, denn die Streuung der Messergebnisse kann erheblich sein. Einige Gruppen glauben trotzdem, dass die Abweichungen ihrer Ergebnisse die Theorie in Frage stellen; andere meinen, dass so viel gegen die anderen Theorien spricht, dass die Verdrängungsvolumentheorie korrekt sein muss. Wieder andere Schüler ignorieren die

Verdrängungs-Volumentheorie komplett, vielleicht weil sie keine Ursache anführt, auch wenn sie ein verständliches Modell beschreibt.

Eine Klasse von 24 Schülern führt im Zeitrahmen von drei Tagen gewöhnlich zehn bis fünfzehn unterschiedliche Tests durch. Am Ende dieses Zeitraums präsentiert jede Gruppe ihre Ergebnisse und ihr Votum für die brauchbarste Theorie. Nachdem alle Theorien nachgeprüft wurden, findet sich für jede von ihnen jemand, der meint, dass sie diskreditiert worden sei, und für alle bleibt Zuspruch erhalten. Wir stellen alle Beweise zusammen, die für und die gegen eine Theorie sprechen und versuchen dann zu beurteilen, welche davon unseren intensiven Prüfungen am besten standgehalten hat. Es ist interessant zu beobachten, wie sich die Schüler auf den Diskurs über Erklärungen und Beweise einlassen. Beim Diskutieren und Aushandeln einer Bewertung durch die Klasse vertreten die Schüler unterschiedliche Positionen. Nicht alle Beweise sprechen für sich selbst; manchmal werden die gleichen Daten in entgegen gesetzter Richtung interpretiert. Im Interesse der Schüler, die glauben, dass es eine autoritative Antwort geben muss, gehen wir einer Reihe von Literaturhinweisen nach. Es kommt vor, dass Publikationen Erklärungen anführen, die wir verworfen haben, Erklärungen miteinander vermischen oder ein Detail einbringen, das wir nie beobachtet oder in Erwägung gezogen haben.

Oft erstreckt sich die Diskussion auf Taucher, die in anderen Formen vorkommen, z.B. als Schwimmblase bestimmter Fische (Lerman 1986), oder als ein Stück Vakuumtechnologie, den Dubrovinschen Druckmesser (Roth 1982). Wir stoßen auch auf neue Rätsel, wenn wir versuchen, noch raffiniertere Tests unserer Erklärungen des variablen Auftriebs beim Kartesischen Taucher auszutüfteln.

Eine dieser Demonstrationen beinhaltet die Einführung eines neuen Faktors, nämlich Temperatur, die einen recht komplizierten Effekt hervorruft. Der Auftrieb eines umgedrehten, unten offenen Reagenzglases wird so adjustiert, dass es in Eiswasser gerade eben sinkt. Ein kleines Fläschchen mit einer starren, wasserdichten Kappe wird so justiert, dass es gerade eben an der Oberfläche treibt. Um den Auftrieb des Fläschchens auszutarieren, kann Wasser, Bleischrot oder Sand benutzt werden. Die beiden Objekte, eins schwimmend, eins sinkend, werden in denselben Behälter mit Eiswasser gegeben. Das Wasser wird dann angewärmt. An einem bestimmten Punkt des

Temperaturanstiegs wechseln die beiden Objekte die Position. Der Schwebekörper wird zum Sinkkörper und der Sinkkörper zum Schwebekörper. Bei vorsichtigem Probieren können die ursprünglichen Auftriebe so justiert werden, dass das Reagenzglas und das Fläschchen die Positionen gleichzeitig wechseln. Der hier zu beobachtende variable Auftrieb eines starren, geschlossenen Objektes bringt rasch einen Verwandten der Druck-Strömungstheorie ins Spiel, den Temperatureffekt. Die Vertreter der Gewichtstheorie führen das Konzept von Hitze als Substanz an. Manche Schüler glauben, dass das Fläschchen durch Erhitzen schwerer wird. Die Tatsache, dass die beiden Objekte unter denselben Bedingungen in gegenläufiger Richtung steigen und sinken, stärkt jedenfalls die Idee, dass ein mit sich selbst einverstandenes Verstehen mit wissenschaftlicher Theoriebildung manchmal wenig zu tun hat.

Eine andere Demonstration ist deshalb rätselhaft, weil ein Reagenzglas in der Flasche das Verhalten des Kartesischen Tauchers umzukehren scheint. Ein auf den Kopf gestelltes Reagenzglas, das nicht genug Luft enthält, um es in Schwebelage zu halten, wird in eine 1,5 l Plastikflasche gesteckt. Das Reagenzglas soll gerade so viel Luft enthalten, dass es am Boden der Flasche aufrecht stehen bleibt. Die Seiten der Flasche werden dann kräftig mit einem Stock oder den Handseiten geschlagen. Die Stöße müssen stark genug sein, um das Röhrchen nach oben zu treiben. Die Stöße können in einer Frequenz ausgeführt werden, die das Röhrchen in der Flasche suspendiert halten. Einige Schüler sehen in den Stößen eine Analogie zum Drücken der Kartesischen Taucherflasche, - eine Analogie mit gegenläufiger Wirkung. Diese Schüler argumentieren mit Gegensätzen: Ein sinkendes Röhrchen wird aufsteigen, wenn man auf die Flasche schlägt. Ein schwebendes Röhrchen wird sinken, wenn die Flasche gedrückt wird. Ich habe verschiedene Schüler beobachtet, die selbstständig auf diese Erscheinung gestoßen sind, aber keiner von ihnen hat versucht, eine vollständige Erklärung zu geben. So bleibt der „Trommel“-Taucher eine nicht ungelöste Anomalie innerhalb unseres Wissens um den Kartesischen Taucher.

Schüler erreichen einen Grad vorläufiger Gewissheit bei ihrem Wissen um den Kartesischen Taucher. Beunruhigt durch die Vorstellung, dass es vielleicht nicht möglich sein wird, das Buch zu finden, in dem die letztgültige Wahrheit verzeichnet ist, sind sie trotzdem beflügelt vom Erfolg, ein schwieriges physikalisches System

vollständig untersucht zu haben. Oder sollte ich besser sagen: ein Spielzeug? Der Kartesische Taucher macht seinem philosophischen Namen jedenfalls Ehre.

Literatur

Barrett, Raymond E. (1963). *Build-It-Yourself Science Laboratory*. Doubleday & Company, Inc., Garden City, New York.

Berg, Craig. (1993). "Another Look at the Mysterious Closed System". *The Science Teacher*, Vol. 60 No. 9, pp. 44-48, December.

Cherrier, Francois. (1978). *Fascinating Experiments in Physics*, Sterling Publishing, Inc., New York.

Damerow, Peter, Freudenthal, Gideon, McLaughlin, Peter, Renn, Juergen. (1992). *Exploring the Limits of Preclassical Mechanics*, Springer-Verlag, New York.

Damerow, Peter. (1994). personal communication, e-mail: "I can tell you, that the Cartesian diver was first described 1648 and later erroneously (?) ascribed to Descartes."

Ehrlich, Robert. (1990). *Turning the World Inside Out and 174 Other Simple Physics Demonstrations*. Princeton University Press, Princeton.

Feral, Isabelle. (1994). personal communication. Miss Feral writes from the Conservatoire National des Arts et Metiers in Paris.

Frazier, Richard. (1992). *Dabbling in Density: Demonstrations, Diversions, Dilemmas*. Presentation at Southeast Asia Teacher's and Counselor's Conference. Bangkok, Thailand.

Garber, Daniel. (1992). *Descartes' Metaphysical Physics*. University of Chicago Press. Chicago.

Lerman, Mathew. (1986). *Marine Biology--Environment, Diversity, Ecology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company. Inc.. Menlo Park.

Magiotti, Raffaello. (1648). *Renitenza certissima dell. Acqua alla Compressione, dichiarata con varij scherzi, in occasione d' altri Problemi curiosi*. in Targioni-Tozzetti, Giovanni. (1780). *Notizie degli aggrandimenti delle scienze fisiche accaduti in Toscana*

nel corso di anni LX. del secolo XVII, Firenze, Volume II, part 1 Appendix (p. 92-191) (microcard from Landmarks in Science Series).

Marson, Ron. (1978). Pressure. TOPS Learning Systems (Task Oriented Physical Science), Canby, Oregon.

Marx, Robert F. (1978, 1990). The History of Underwater Exploration, Dover Publications, Inc., New York.

Oxford University Press. (1971). The Compact Edition of Oxford English Dictionary. Vol. 1 (A-O), Oxford.

Penick, John E. (1993). The Mysterious Closed System. The Science Teacher, Vol. 60 No. 2, pp. 30-33, February.

Pottenger, Francis M., Young, Donald B. (1992). The Local Environment--FAST 1, Foundational Approaches in Science Teaching (Teacher's Guide), Curriculum Research & Development Group, University of Hawaii, Honolulu.

Roberts, Robert S. (1982). Teaching an Old Diver New Tricks. The Science Teacher, Vol. 49 No. 7, pp. 25-27, October.

Rose, Paul Lawrence. (1970). "Raffaello Magiotti," in Gillispie, Charles Coulston (ed.), Dictionary of Scientific Biography, Charles Scribner's Sons, New York.

Roth, A. (1982). Vacuum Technology. second revised edition. North Holland, Elsevier Science Publishing Company, Inc., Amsterdam.

Shea, William R. (1991). The Magic of Numbers and Motion--The Scientific Career of Rene Descartes. Science History Publications, USA.

Tokaty, G.A. (1971). A History and Philosophy of Fluid Mechanics. G.T. Foulis & Co. Ltd., Henley-on-Thames, Oxfordshire.

Triewald, Mr. (1731). A Letter from Mr. Triewald. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 39, pp. 79-80.

Turner, Gerard L'E. (1987). Scientific Toys: Presidential Address. British Journal for the History of Science, 20, London. reprinted in Turner, G. (1990), Scientific Instruments and Experimental Philosophy--1550-1850, Variorum, Aldershot, Hampshire, UK.

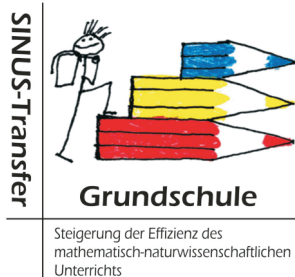
Van Cleave, Janice Pratt. (1985). *Teaching the Fun of Physics*, Prentice-Hall Press, New York.

Vilenkin, A. (1980). A Cartesian Diver. in Kikoin, I.K. (ed.). *Physics in Your Kitchen Lab*, Mir Publishers, Moscow.

Zubrowski, Bernie. (1981). *Messing Around with Water Pumps and Siphons*, Little, Brown, and Company, Boston.



Programmträger: IPN, Kiel
Projektleitung: Prof. Dr. Manfred Prenzel
www.ipn.uni-kiel.de



SINUS-Transfer Grundschule
Projektkoordination am IPN: Dr. Claudia Fischer
Tel. +49(0)431/880-3136
cfischer@ipn.uni-kiel.de
www.sinus-grundschule.de

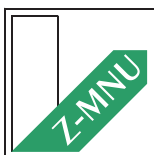


Ministerium für Bildung
und Frauen
des Landes Schleswig-Holstein

Programmkoordination für die Länder durch das
Ministerium für Bildung und Frauen des Landes
Schleswig-Holstein (MBF)
MR Werner Klein (SINUS-Transfer Grundschule)
<http://landesregierung.schleswig-holstein.de>



Landeskoordinatorenausbildung durch das
Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung
StD Christoph Hammer
www.isb.bayern.de



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Zusammenarbeit mit dem Zentrum zur Förderung des
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts der
Universität Bayreuth (Z-MNU)
Leitung: Prof. Dr. Peter Baptist
<http://zmnu.uni-bayreuth.de>