

„Alles klar! Der Sauerstoff verschwindet, das Wasser steigt!“

Irrwege und Wege der naturwissenschaftlichen Bildung vom Kindergarten- bis ins Erwachsenenalter

D. Plappert

1 Um was es geht

„Naturwissenschaften spielen in unserer Gesellschaft eine bedeutende Rolle. Denn der Wohlstand des Landes beruht zunehmend auf dem „Rohstoff Bildung“, das Wissen avanciert zum Fließband des 21. Jahrhunderts. Immer mehr unterstützen Wirtschaft und Politik deshalb die naturwissenschaftliche Frühförderung mit Fokus auf Bildung im Vorschulalter. Bereits zu einem möglichst frühen Zeitpunkt möchte man das Interesse der Kleinen wecken ...“. So in *Sabine Latorres* Einleitung zu ihrer Dissertation „Naturwissenschaftliche Bildung: der kumulative Aufbau von Kompetenzen auf dem Weg zu einem institutionsübergreifenden Curriculum“ [1] zu lesen. Naturwissenschaftliche Frühförderung findet aus den unterschiedlichsten Motiven heraus statt. Am Beispiel des „Ker-

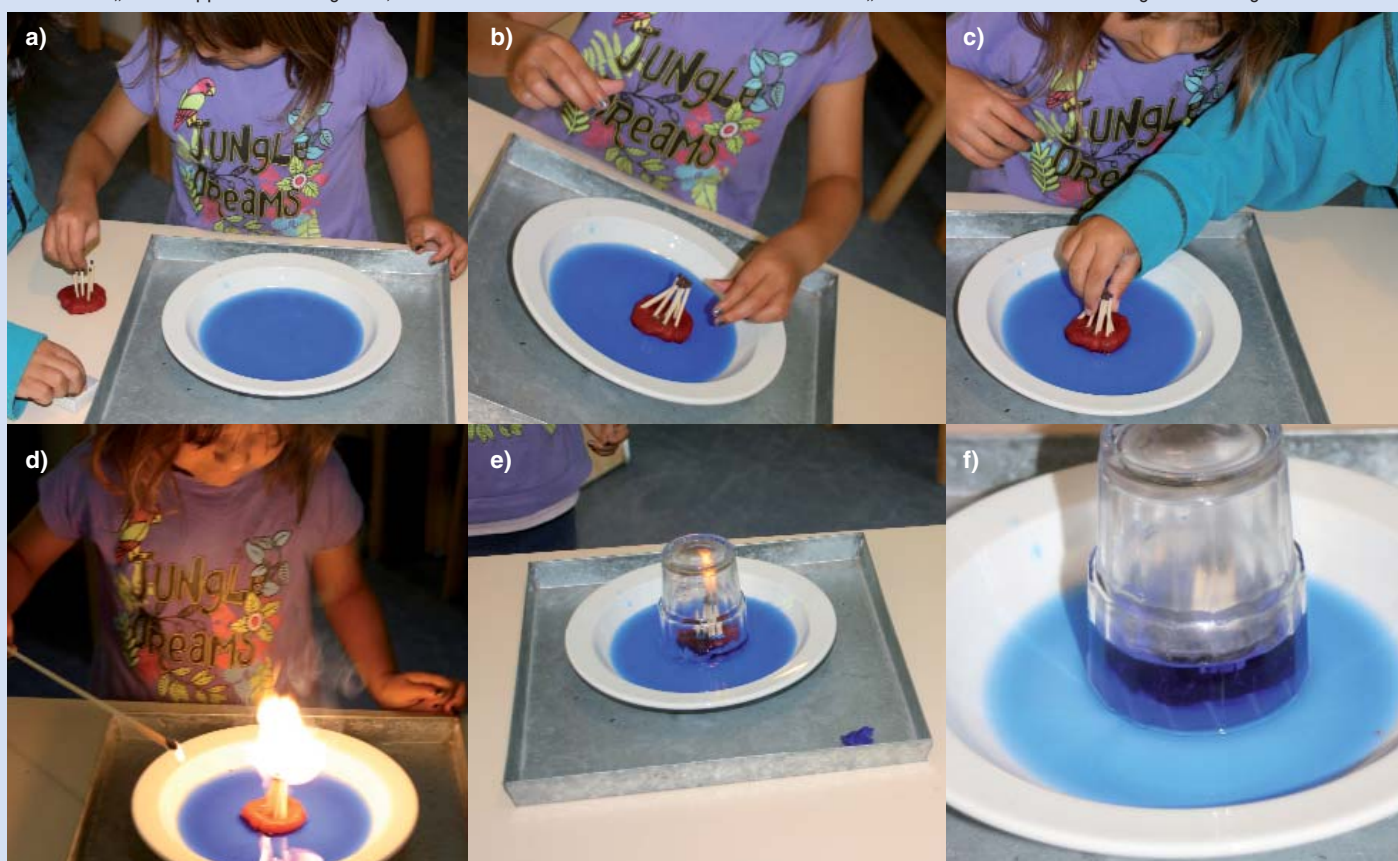
zenversuchs“ soll im Folgenden zunächst gezeigt werden, wie problematisch eine sicher gut gemeinte Förderung sein kann. Anschließend soll ausgehend von dem Konzept „Freiburger Forschungsräume“ ein Weg zu einer zukunftsfähigen, naturwissenschaftlichen Bildung im Erwachsenenalter skizziert und begründet werden, der von einer wirklichkeitsgesättigten Lebenswelt der Kinder im Kindergartenalter ausgeht.

2 Die „Feuertreppe“ I

In der mit Mikroskop, Lupen, Magneten, elektrischem Bastelmaterial, Waagen ... ausgestatteten Forscherecke eines Kindergartens mit offenem Konzept fragt die Erzieherin Maria, ein etwa 5 jähriges Mädchen, ob sie das „Feuertreppenexperiment“ zeigen möchte. Sie ist begeistert,

holt selbständig einen Teller, blaues Krepppapier, eine Knetkugel, kurze und lange Streichhölzer und ein Trinkglas. Mit dem Krepppapier färbt sie das Wasser blau. In die Knetkugel steckt sie Streichhölzer so nebeneinander, dass sich ihre Köpfe fast berühren (Abb. 1b). Während dieser Vorbereitungen kommen immer mehr interessierte Kinder an den Tisch, bis etwa 15 Paare weit geöffnete Kinderaugen mit Hochspannung dem Geschehen folgen. *Maria* entzündet mit einem langen Streichholz eines der in die Knete gestreckten Streichhölzer. Die Streichhölzer entzünden sich nacheinander – eine Feuertreppe entsteht. Mit heller Flamme brennen nach kurzer Zeit alle Streichhölzer. *Maria* stülpt das Trinkglas über das Feuer – das nach kurzer Zeit erlischt – Wasser steigt im Glas in die Höhe. Weiterhin Hochspannung – bis die

Abb. 1: Die „Feuertreppe“ im Kindergarten, mit Dank an die Kinder und die Mitarbeiterinnen des „Hauses für Kinder am Hirzberg“ in Freiburg



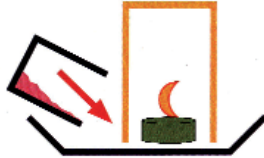
Luft – lebensnotwendiger Stoff

Experiment 7b:

Materialien:

- Teller, Backblech oder Glasschale
- Teelicht oder Schwimmkerze
- Wasserglas
- Wasser
- Tinte zum Färben des Wassers

Durchführung:
Teelicht anzünden und in das gewählte Gefäß stellen. Mit Tinte gefärbtes Wasser eingießen. Teelicht sollte nicht schwimmen. Glas über Teelicht stülpen. Beobachten!



Beobachtung:
Je mehr Luft zur Verfügung steht, desto länger brennt die Kerze. Nach kurzer Zeit erlischt die Flamme und Wasser dringt teilweise ein.
Die Kerze „verbraucht“ einen Teil der Luft, den Sauerstoff. Im Glas ist nun Platz für einen anderen Stoff – das Wasser kann eindringen. Es steht aber nur so viel Platz zur Verfügung, wie freigegeben wird. Der Sauerstoffanteil in der Luft ist ungefähr ein Fünftel.

Zusammensetzung der Luft, hier: Veranschaulichung der Anteile

1 Kind – Sauerstoff	} davon ist das Sauerstoffkind O ₂ , das Wasserkind wartet außerhalb der Kiste ...
4 Kinder – Stickstoff	

Tipp:
Mithilfe des sich im Glas befindlichen Stickstoffs kann man nun eine weitere Kerzenflamme ersticken: Feuerlöschprinzip!

Abb. 2: Der Kerzenversuch ist beliebt in naturwissenschaftlichen Anleitungen für Kindergarten und Grundschule [3].

Erzieherin fragt, warum eigentlich das Wasser in die Höhe gestiegen sei. In Windeseile waren nun plötzlich fast alle Kinder verschwunden. Ich fragte, warum diese Frage. Weil es sich doch um frühkindliche Naturwissenschaft geht und nun die Erklärung noch kommen muss: „Die Flamme frisst den Sauerstoff der Luft auf und deshalb steigt das Wasser in den „Hohlraum“ hoch.“ Im Handbuch der naturwissenschaftlichen Bildung – Theorie und Praxis für die Arbeit in Kindertageseinrichtungen [2] finden wir dazu: „Didaktisch reduziert kann man auch folgende Deutung anbieten: Das Experiment zeigt, dass die Kerzenflamme nicht die gesamte Luft zum Brennen benötigt, sondern nur einen Anteil der Luft, der rund ein Viertel ausmacht – eben den Sauerstoffanteil. Und wenn der zu einem großen Teil *verbraucht* ist, dann wird dieser Anteil durch Wasser aufgefüllt, denn ein Vakuum gibt's in der Natur nicht.“

3 Die „Feuertreppe“ II

Eine Woche später möchte ich den Versuchsablauf filmen. Wieder beginnt ein Kind den Versuch vorzubereiten, wieder kommen viele interessierte Kinder hinzu. Aus irgendeinem Grund ging die Feuertreppe nach dem Entzünden des ersten Streichholzes nicht los. Die Kinder rufen Vorschläge herein, was zu tun sei, es wurden zusätzliche Streichhölzer eingesteckt, dann wurde das Ganze mit zusätzlich eingesteckten langen Streichhölzern wiederholt, diese brannten und bogen sich zu unerwarteten Gestalten, das Interesse wurde immer größer. Könnte man nicht Stecknadeln zwischen die Streichhölzer stecken,

um die Feuerwirkung zu verstärken, oder Magnete, Alles wurde ausprobiert. Die Erzieherin beobachtete, sorgte dafür, dass die „Forschungsarbeiten“ in einem sicheren Rahmen erfolgen konnten. Als nach einer Stunde intensivem Forschen die Konzentration einiger Kinder nachließ, leitete die Erzieherin das Ende des Forschungsprojektes ein. Die Kinder räumten alles auf und gingen an andere Stationen des Kindergartens. Einige gingen in die Bauecke, um mit Bauklötzen „Lagerfeuer“ zu machen, um das „Erlebte“ zu verarbeiten. War das nun keine Naturwissenschaft, weil keinerlei Erklärungen kamen? Außerdem hatten die Kinder ganz vergessen, dass sie eigentlich ein Glas über die Flamme stülpen wollten (oder sollten?).

Der Kerzenversuch ist in Anleitungen für Kindergarten und Schule sehr beliebt. Abb. 2 zeigt ein Arbeitsblatt, in dem auch die Erklärung gleich kindgerecht vorgegeben ist. Es kann einem Heranwachsenden passieren, dass er bis zu 5mal den Kerzenversuch in seiner Laufbahn erlebt.

4 Der Kerzenversuch mit Referendaren zu Beginn ihres Vorbereitungsdienstes

Gerne lasse ich den Kerzenversuch in der Einführung in die Fachdidaktik der Physik von Referendaren durchführen. Die meisten, z. T. promovierte Physiker und Chemiker, kennen ihn. Eine Referendarin hatte diesen Versuch schon in Kindergartengruppen angeleitet. Sie meinte, dass sie den Versuch kenne und wisse, worauf es ankommt. Ich bat trotzdem alle den Versuch durchzuführen, er sollte u. a. zeigen, mit wie wenig Aufwand Schüler experi-

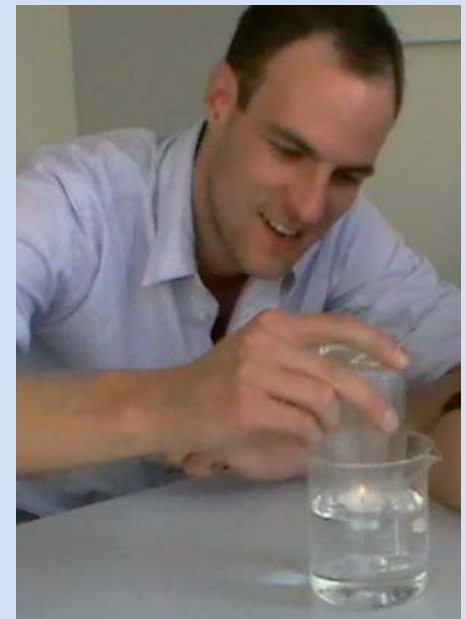


Abb. 3: Referendar beim Kerzenversuch

mente im Unterricht durchgeführt werden können und wie wichtig es ist, Beobachtung und Interpretation zu unterscheiden. Die Zweiergruppen hatten die Versuche schnell durchgeführt. Die Beschreibung der Durchführung und der Beobachtungen war knapp und präzise. Über die Erklärung war schnell Einigkeit gefunden: „Sauerstoff verschwindet beim Verbrennen, es entsteht ein Unterdruck, Wasser steigt hoch.“ Nach einer kurzen Pause meldet sich „schüchtern“ ein junger Physiker: „Könnte es nicht auch daran liegen, dass die Abkühlung der Luft durch das Verlöschen der Kerzenflamme die Ursache der Wasserhebung ist?“ Nach kurzer, kontroverser Diskussion wurde klar, dass der Zeitpunkt des Steiges des Wasserspiegels einen Hinweis geben könnte, ob die Ursache der „verschwindende Sauerstoff“ oder die „Abkühlung der Luft“ ist: Im ersten Fall müsste das Steigen verstärkt während des hellen Brennens der Flamme erfolgen (da dabei viel Sauerstoff pro Zeiteinheit verbraucht wird), und im zweiten Fall müsste das Steigen erst bei kleiner werdender Flamme erfolgen, insbesondere nach dem Verlöschen der Flamme. Es stellte sich heraus, dass auf diese Feinheit niemand geachtet hatte. Der Versuch wurde nun mit „Hochspannung“ wiederholt, die eigentliche Forschungsarbeit begann. Erstaunlich war, wie lange manche Forschergruppen brauchten, das Beobachtete anzunehmen und sich dabei von ihrem Vorwissen zu lösen. Die Leser können diesen Versuch am besten selbst durchführen oder unter www.plappert-freiburg.de diesen Versuch als Video 1 betrachten.

5 Zum physikalischen Hintergrund des Kerzenversuchs

Sauerstoff wird zwar bei der Verbrennung verbraucht, es entstehen dabei jedoch als Reaktionsprodukte viel „größere Mengen“ an Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf. Dies könnte deshalb auch zu einem Überdruck führen. In [4] setzt sich J. Schlichting ausführlich mit dem physikalisch-chemischen Hintergrund dieses komplexen Phänomens auseinander. Er zeigt, dass die zentrale Ursache des Wasserhebens die Druckdifferenz ist, die durch die Abnahme der Temperatur der Luft beim Erlöschen der Kerze entsteht; er nennt deshalb auch diese Erscheinung „Kerzenpumpe“. Als Fazit schreibt er u. a.: „Darüber hinaus ist es in mehrfacher Weise „lehrreich“. Zum einen stellt es eine äußerst trickreiche Vorrichtung zur Umwandlung von thermischer Energie in potentielle Energie dar. Zum anderen können Schüler und Schülerinnen im Zusammenhang mit den beschriebenen Versuchen erfahren, dass bei gleich plausibel erscheinenden alternativen Erklärungen Nachdenken allein nicht notwendig zur gewünschten Entscheidung für die eine oder andere Erklärung führen muss.“

Durch Video II (www.plappert-freiburg.de) kann die Erklärung plausibel werden: Das Glas wird so lange über die brennende Kerzenflamme gehalten, bis sich so viel Kohlenstoffdioxid im Glas sammelt, dass die Verbrennung durch das Herabsinken des Glases deutlich behindert wird. Dann wird das kohlenstoffdioxidhaltige Glas auf die Wasseroberfläche gedrückt, die Kerzenflamme erlischt sofort, es wird also

kein Sauerstoff verbrannt, und trotzdem steigt der Wasserspiegel sofort im Inneren des Glases an.

Anmerkung: Beim genaueren Beobachten fällt ein Beschlag des Glases zum Zeitpunkt des Steigens des Wassers auf. Ein Teil des durchsichtigen Wasserdampfes, das sich neben dem Kohlenstoffdioxid im Glas befindet, kondensiert durch die Abnahme der Temperatur. Wenn man bedenkt, dass flüssiges Wasser ein mehr als 2000mal kleineres Volumen als Wasserdampf hat, wird klar, dass der kondensierende Wasserdampf einen verstärkenden Einfluss hat.

6 Erste Zwischenbilanz

1. Beeindruckend war, wie bei den forschenden Kindern und den forschenden Referendaren dieselbe innere „Forschershaltung“, ihre Spannung, ihre Freude, ihr Tatendrang zu spüren war. Der Antrieb war in beiden Situationen der gleiche: eigene Fragen. Hier wird erlebbar, was in vielen Schriften für frühkindliche naturwissenschaftliche Bildung beschrieben wird. Exemplarisch sei [5] zitiert: „Zieht man neue entwicklungspsychologische Untersuchungen heran, belegen diese, dass Kinder bereits über die kognitiven Voraussetzungen verfügen, die Welt zu erkunden und Theorien über diese zu bilden: Kindern wird die Fähigkeit zugeschrieben, sich Phänomenen der belebten und unbelebten Natur oder aus dem Bereich der Technik mit wissenschaftlichen Methoden zu nähern. Dabei sind Kinder bereits zu Erkenntnisprozessen in der

Lage, bei denen Annahmen über verschiedene Phänomene aufgestellt, geprüft und gegebenenfalls verändert werden.“ So prüften die Kinder bei der Feuertreppe II u. a. die selbst aufgestellten Hypothesen, „Stecknadeln, Magnete ... tragen zur Verbesserung einer Verbrennung bei!“

- Die Kinder hatten kein Interesse an den „wissenschaftlichen Erklärungen“, die auf ähnliche Weise in den verschiedenen Anleitungen zu Experimenten in Kindertageseinrichtungen und Schulen zu finden sind.
- Diese sogenannten „wissenschaftlichen Erklärungen“ entbehren oft jeder fachwissenschaftlichen Grundlage, klingen plausibel, sind aber einfach falsch und setzten sich, wie es sich bei den Referendaren zeigte, wie ein „verdunkelndes Wissen“ (M. Wagenschein [7]) zwischen den Beobachter und die Erscheinungen der Welt. Ein solches „Wissen“ wird zu einem Lernhindernis für den später einsetzenden naturwissenschaftlichen Unterricht.

Im Weiteren wollen wir den folgenden Fragen nachgehen:

- Welche Anforderungen sind an eine naturwissenschaftliche Bildung zu stellen, die den Bildungsweg eines Kindes, eines Heranwachsenden als Ganzes im Blick hat und wie könnte ein solcher Weg aussehen?
- Welche Rolle spielen „Erklärungen“ bei einer derartigen naturwissenschaftlichen Bildung?
- Welche innere Haltung soll vermittelt werden, sollen die Lehrenden haben?
- An welcher Stelle des naturwissenschaftlichen Bildungsweges könnte der Kerzenversuch seinen Sinn haben?“ ...

Abb. 4: Die Entwicklung des Individuums und der Naturwissenschaft: Verschiedenes!



7 Zur Entwicklung des Kindes und der Naturwissenschaft

Die Naturwissenschaft, ein von Menschen in Entwicklungsstufen geschaffenes Kulturgut unterliegt einem stetigen zeitlichen Wandel. Die Naturwissenschaft ist nur einer von vielen möglichen Zugängen zur Welt. Ein Kind „erlebt“ von Anfang an die Wirksamkeit der „Naturgesetze“, die die Ausreifung, das Wachstum seines Körpers mit beeinflussen. Die das Kind umgebende „Kultur“ kommt als bildender Faktor hinzu. In Entwicklungsstufen bildet sich der Leib, das Gehirn, die Bewegungsmöglichkeiten, die Sprache und die kognitiven Möglichkeiten ... Wie in [6] ausführlich dargestellt, sind primäre sinnliche Erfahrungen zentraler Ausgangspunkt für jede per-

sönliche Entwicklung. Zunächst sind die „Entwicklung des Individuums“ und die „Naturwissenschaft“, d.h. die begriffliche Beschreibung der Natur voneinander unabhängige Bereiche. Erst im naturwissenschaftlichen Unterricht kommen beide miteinander in Berührung.

8 Naturwissenschaftlicher Unterricht

Im naturwissenschaftlichen Unterricht geht es nun darum, zwei „Welten“ miteinander zu verzahnen: die Erfahrungs- und Begriffswelt des Individuums mit der Welt der Begriffe und Konzepte der Naturwissenschaft. Die naturwissenschaftlichen Begriffe und Konzepte können nicht einfach gelehrt, bzw. „in die Kinder getrichtert“ werden. Es geht auch nicht darum, sie äußerlich anzuheften, z. B. für eine Klassenarbeit, sondern sie so zu „verwurzeln“, dass sie in die eigene Denk- und Erfahrungswelt der Kinder „hineinwachsen“. Am Beispiel der „Mondsichel“ führte *Martin Wagenschein* [7] vor fast 50 Jahren aus, dass 80% befragter Abiturienten die Mondsichel durch den Schatten der Erde verursacht denken: „Nicht die Unkenntnis als solche ist es, die hier bestürzt. Anständige Unkenntnisse, ehrliche von schwierigen Dingen, gehören zur Bildung. Aber hier ist die Wahrheit leicht zu sehen; und noch leichter wäre zu bemerken, dass es der Erdschatten unmöglich sein kann, der den Mond aushöhlt. Denn der Sichelmond steht am Himmel niemals weit ab von der Sonne und nie ihr gegenüber (wie es ja sein müsste, wenn unser Schatten auf ihn fallen sollte), Abb. 5. Der moderne Mensch hat hier also oft gerade das verlernt, was die Naturwissenschaft ihm hätte lehren können: einer Sache gewahr werden, beobachten. Bedenklicher noch: Statt zu wissen, was er sehen könnte, wenn er gelernt hätte, hinzusehen, hat er leere Sätze bereit; und hier nun gar von einem anderen viel selteneren, meist nicht persönlich angeschauten und also auch nicht verstandenen Ergebnis her, der Mondfinsternis. Er hat es durch sogenanntes Lernen verlernt.“ *Wagenschein* zitiert *Simon Weil*: „Jene Sonne, von der im Unterricht die Rede ist, hat für den Schüler nichts gemeinsam mit der Sonne, die er sieht. Man reißt ihn aus dem Allgesamt seiner Umweltbeziehungen heraus ...“ *Wagenschein* schreibt: „Herausgerissen, der Wurzeln beraubt zu werden und dafür ein Gerede angeboten zu bekommen, das ist ein nichtswürdiger Tausch Leere Worte, die uns schmeicheln, Wissen zu sein, und uns taub machen für die Wirklichkeit.“ Die verfrühten Erklärungen des Kerzenversuchs können, wie wir gesehen haben, nicht nur leere, sondern

auch falsche Worte sein ... und das Tragische ist, dass es nicht bemerkt wird und viele begeistert sind von dieser kindgerechten naturwissenschaftlichen Erklärung. Was nottut, ist eigenes, hingebungsvolles, genaues Beobachten und redliches Erklären. *Donata Elschenbroich* fordert eine „Frage-Schule“ statt einer „Antwort-Schule“ [8]. Wie im Folgenden dargelegt, sollten die Erziehenden und Lehrenden mit dieser Haltung Vorbild sein. Es bleibt die Frage, wie ein Unterricht aussehen könnte, sodass die den Schülern angebotenen naturwissenschaftlichen Begriffe in ihrer persönlichen Erfahrungs- und Begriffswelt Wurzeln schlagen?

9 Zuerst in der Welt tätig sein, sie kennenlernen ...

Ausgangspunkt jeder persönlichen Entwicklung sind persönliche Erfahrungen mit der Lebenswelt, beim Beobachten, beim Nachahmen, beim Selbsttun. Dabei werden die Erfahrungen gesammelt, die die Grundlage späterer naturwissenschaftlicher Reflexionen sein können. Schon vor 230 Jahren schien für *J. H. Pestalozzi* ein „Erziehungsproblem“ vorzuliegen: „Die Kunst und Schul bringt dem Menschen das Urteil in den Kopf, ehe er die Sache sieht und kennt, daher die Schulmenschen, so gemeinlich weder die Sache selber, von der sie reden, noch die Menschen, mit denen sie handeln und wandeln, kennen. Es ist also ein vorzügliches Bedürfnis der guten Auferziehung, dass dieser Klippe ausgewichen werde und das Kind um aller Liebe willen nicht allzu früh akademisch erzogen werde: lieber im Stall, in der Küche, im Garten, in der Wohnstube, als maßleidend beim Buch und mit nassen Augen abstrahierend.“ Im Umgang mit der Welt ergibt es sich auf ganz natürliche Weise, dass altersgerecht ganz nebenbei zentrale naturwissenschaftliche und technische Methoden erprobt und eingeübt werden, wie

- Beobachten
- nonverbales oder verbales Beschreiben und Symbolisieren,
- Sortieren, Strukturieren, Allgemeines erkennen,
- Erproben, d.h. Hypothesen bilden und in einfachen selbsterfundenen Experimenten überprüfen,
- Planen, Konstruieren, Bauen, Optimieren ...

Diese Fähigkeiten sind, wie zuvor beschrieben und am Beispiel der Feuertreppe II dargestellt von Anfang an da und werden, wenn die Kinder „ungestört“ bleiben, mit großer Konzentration und Hingabe durchgeführt. Die Kinder haben dieselbe innere For-



Abb. 5: Die Sonne steht seitlich, der Erdschatten kann die Mondphase nicht verursachen!



Abb. 6: Durch das Abbrennen kann ein Streichholz magnetisch werden.

schungshaltung wie die Referendare beim Kerzenversuch und wie die Forscher in naturwissenschaftlichen Forschungseinrichtungen. Bei den Erziehenden in Kindergarten und Schule kann diese Haltung dadurch gefördert werden, dass sie selbst zu Forscher werden. Der Blick der Kinder öffnet einerseits unseren durch unser naturwissenschaftliches Vorwissen oft eingegengten Blick und andererseits öffnet sich unser Blick auf das oft überraschende Denken der Kinder und der Jugendlichen. Werden Kinderfragen ernst genommen, so können erstaunliche Erfahrungen gemacht werden. „Du Papa, warum werden Streichhölzer durch Feuer magnetisch?“ Ist das eine sinnvolle Frage? *Michael Worbs* hat seinem 7jährigen Sohn ernst genommen, die Frage erforscht und Erstaunliches zutage gefördert [9].

10 Kognitive Reife

Wann sind die kognitiven Möglichkeiten eines Kinder so weit entwickelt, dass es für naturwissenschaftliche Begriffe und Konzepte bereit ist?

„Auch hinsichtlich der Fähigkeit, kausal zu denken, besagen neue wissenschaftliche Erkenntnisse, dass Kindergartenkinder bereits nach den gleichen Prinzipien wie

Ketzerische Anmerkungen zu „Forscherkisten“

„Forscherkisten“ aller Art werden für alle Altersstufen und Schularten angeboten. Zweifellos kann damit naturwissenschaftlich-technisches Wissen vermittelt werden. Das sei hier nicht in Abrede gestellt. Allerdings sind auch deren Begrenztheiten zu sehen. Die Aufmerksamkeit auf diesen Fokus zu lenken ist Sinn dieser „Ketzerschrift“.

Um der „Forscherkiste“ auf den Grund zu kommen, stellen wir uns mal ganz dumm und fragen: Was ist eine „Forscherkiste“?

Eine „Forscherkiste“ ist, wenn jemand sich ausdenkt, was Kinder (oder Jugendliche) erkennen sollen. Dann überlegt er (oder sie) sich, welche Materialien und Geräte dafür benötigt werden. Diese Utensilien werden dann zusammengestellt und – zumeist mit einer Anleitung, wie vorzugehen ist, damit das Vorgedachte auch wirklich eintritt – in eine Kiste verpackt. Das Forschen findet mit selektiven Materialien und Geräten sowie nach „Kochrezept“ (meist nach einer kleinschrittigen Anleitung) statt.

Eine „Forscherkiste“ ist also, wenn jemand sich etwas ausgedacht hat, was andere entdecken sollen, und die für diese Vorstellungen notwendige Utensilien in eine Kiste verpackt.

Zu Fragen bleibt, ob Forscherinnen und Forscher sich nicht gerade dadurch auszeichnen, dass sie den Weg ins Unbekannte, ins Nicht-Vorgedachte wagen? Zeichnen sich neue Forschungsergebnisse nicht gerade dadurch aus, dass sie Neuland oder eine neue Sichtweise auf Bekanntes erschließen? Wenn dem aber so ist, dann müssen Forscherinnen und Forscher von Morgen (zumindest auch) andere, nicht vorgefertigte Zugangsmöglichkeiten zur Forschungstätigkeit erhalten.

Kasten 1: Edgar Bohn in [12]

Erwachsene kausale Schlussfolgerungen ziehen. Mit kausalem Denken ist das Herstellen einer Beziehung zwischen Ursache und Wirkung gemeint. Kindergartenkinder gehen bereits davon aus, dass ein Ereignis eine Ursache hat. Dabei werden als mögliche Ursachen Ereignisse in Betracht gezogen, die zeitlich vor dem beobachteten Effekt stattgefunden haben. Kindergartenkinder stellen sich Fragen zu möglichen Ursachen für einen bestimmten beobachteten Effekt, sie begeben sich auf die Suche nach kausalen Mechanismen (Erklärungen). Zwischen dem kausalen Denken von Kindern im Vorschulalter und dem von Erwachsenen besteht also bereits in einigen Aspekten eine strukturelle Ähnlichkeit. Die Unterschiede im Denken sind vor allem durch die unterschiedliche Verfügbarkeit von themenspezifischem begrifflichem Wissen zu erklären.“ [5]

Tab. 1: Zuordnung von Denkstil und Hirnhälften [13]

linke Hemisphäre	rechte Hemisphäre
verbal	nichtverbal visuell-räumlich
sequentiell zeitlich digital	gleichzeitig räumlich analog
logisch analytisch	ganzheitlich synthetisch
rational	intuitiv
westliches Denken	östliches Denken

Das folgende Zitat scheint auf den ersten Blick polar entgegengesetzt: „Zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr beeinflusst die sogenannte magische Phase das kindliche Denken und Handeln: Alles, was das Kind sich wünscht und denkt – „Schönes“ wie auch „Schreckliches“ –, könnte in seiner Vorstellung tatsächlich eintreten. Was es selbst denkt und tut, sieht es als wichtige Ursache für Vieles, was passiert. Gleichzeitig ahnt oder befürchtet das Kind, dass andere Kinder und Erwachsene, aber auch Hexen, Feen und Monster auf die gleiche Weise etwas geschehen lassen könnten. In Teilbereichen kann sich diese Phase bis zum sechsten Lebensjahr und darüber hinaus hinziehen. Während der magischen Phase ist in der kindlichen Vorstellung alles möglich. Fachleute sprechen von einer in sich stimmigen „magischen Logik“: Dinge und Geschehnisse werden von dem Kind weitgehend magisch erlebt und durch „magische Theorien“ zu deuten und zu erklären versucht. Viele alterstypische Ängste und Befürchtungen, aber auch freudige Überraschungen und Erwartungen haben hier ihren Ursprung: Wolken regnen, weil sie traurig sind, der Ball liegt unter der Kommode, weil er schlafen will. Hexen, Monster und Geister, aber auch Weihnachtsmann, Christkind und Osterhasen gibt es in der kindlichen Vorstellung wirklich. Und wenn das Kind in der Badewanne sitzt, könnte der Sog des abfließenden Wassers es in seiner „magischen Vorstellung“ wirklich mit durch den Abfluss reißen.“ [10]

Es erstaunt nicht, dass Kinder auch die Fähigkeit des kausalen Denkens haben – die Frage ist nur, welche der vielen Möglichkeiten in welchem Alter gestärkt werden sollen.

Hierzu schreibt der Neurologe *Gerald Hüther*: „Jeder Versuch, diese Entdeckerfreude und Gestaltungslust in eine bestimmte, in den Augen der Erwachsenen bedeutsame Richtung zu lenken, beraubt Kinder zwangsläufig der Möglichkeit, für sie relevante Bedeutsamkeiten selbst zu entdecken. Der Versuch, ihnen etwas in den Augen ihrer Bezugspersonen Wichtiges zu zeigen, zu erklären oder „beizubringen“, das gerade nicht in ihrem Fokus ist, beraubt sie der Möglichkeit, es aus eigenem Interesse selbst zu entdecken. Kinder, die durch solche „Förderungsmaßnahmen“ daran gehindert werden, aus eigenem Antrieb für sie Bedeutsames zu entdecken und mit ihren eigenen Möglichkeiten zu erkunden, verlieren aufgrund dieser Erfahrungen ihr Interesse am eigenen aktiven Entdecken, am Erkunden und Gestalten ihrer Lebenswelt. Sie werden abhängig von den „Anregungen“, die von außen an sie herangetragen werden. Sie machen die Erfahrung, dass es auf das, was sie im Inneren bewegt, auf ihre eigenen Intentionen und Ideen, auf ihre eigene Neugier und Gestaltungslust nicht ankommt. Sie können sich nicht mehr über sich selbst begeistern, sondern bestenfalls noch über das, was von außen an sie herangetragen wird. Solche Kinder machen die Erfahrung und verankern diese in ihrem Gehirn, dass sie nicht so gemocht werden und sein können, wie sie sind, sondern dass ihnen von ihren Bezugspersonen etwas gezeigt, erklärt und vorgeführt wird, was sie nur noch entweder annehmen oder ablehnen können. Je nachdem, wofür sie sich entscheiden, machen sie eine weitere schmerzhaft Erfahrung, die ebenfalls in ihrem Gehirn verankert wird: dass sie nun selbst, entweder angenommen oder abgelehnt werden. Jede gezielte Frühförderungsmaßnahme, die nicht Eröffnung von Erfahrungsräumen, sondern Vermittlung vorverdauter Informationen ist, bringt ein Kind also in ein Dilemma: Entweder es unterdrückt sein angeborenes Bedürfnis nach eigenem Wachstum und selbstgesteuerter Potenzialentfaltung oder es unterdrückt sein Bedürfnis nach Verbundenheit und Zugehörigkeit. Gleichgültig, wofür es sich entscheidet, es macht in beiden Fällen die gleichermaßen schmerzhaft Erfahrung, dass es beides, sein Bedürfnis nach Nähe und Verbundenheit und sein Bedürfnis nach Wachstum, Potenzialentfaltung und

Autonomie nicht gleichzeitig stillen kann ... So ernüchternd es aus dieser neurowissenschaftlichen Perspektive klingt: Wer Kinder zu passiven Konsumenten und folgsamen Mitläufern erziehen will, sollte sie so früh wie möglich zum Objekt seiner Frühförderungskonzepte machen ... Ob es uns nun gefällt oder nicht: Wir werden uns entscheiden müssen, ob wir das oder lieber etwas anderes wollen.“ [11]

Natürlich hätte die Erzieherin die Kinder in der bei Feuerstiege Teil I beschriebenen Situation auffordern können zu bleiben, um ihrer Erklärung zu folgen – aber der in Teil II beschriebene Weg führte die Kinder weiter, obwohl die Kinder nicht an dem vorgedachten Ziel des Versuchs angekommen sind.

11 Kinder haben noch das ganze Potenzial

Kinder haben schon sehr früh die Fähigkeit kausal zu denken – sie können aber viel mehr. Ihr großer Schatz sind die Phantasiekräfte, die sich, noch wenig vom Verstand kontrolliert, frei entfalten können. Ziel jeder Bildung muss sein, die gegensätzlichen Qualitäten, die oft den beiden verschiedenen Hälften des Gehirns zugeschrieben werden (Kasten 2), zu stärken, und zwar zu dem in der kindlichen Entwicklung richtigen Zeitpunkt. Interessant ist in diesem Zusammenhang Martin Wagenscheins Bild: „Die Entwicklung darf nicht stockwerkhaft gedacht werden (Abb. 7a), so als ob in einem gewissen Alter die eine Phase endete und eine neue begänne. Spätere Phasen setzen sich nicht als Stufen obenauf, sondern als Schichten außen an (Abb. 7b). Die magische Schicht bricht nicht ab, sie zieht sich nur zurück und lebt „innen“ weiter.“ [7]

Sollte dann nicht im Sinne einer zielgerichteten Frühförderung die vorwissenschaftlichen Stufen möglichst übersprungen werden? Hierzu soll noch einmal M. Wagenschein zu Wort kommen: „Wahrscheinlich wird niemand auf den Gedanken kommen, die magische Phase einzusparen. Denn selbst, wenn wir es könnten, dürften wir es nicht wollen: „Der eigentümliche Reichtum der Frühstufen darf nicht völlig verlorengehen, gerade deshalb, weil in ihnen etwas für die reife Stufe Unentbehrliches sich ausbildet, das als Fundament erhalten bleiben muss; andernfalls verkümmern Kräfte, deren auch die reife Kultur noch bedarf. Dies ist der Standpunkt des *Verwandelt-Bewahrens*. Oder als Prinzip ausgedrückt: Es ist für eine gesunde Entwicklung des Menschen notwendig, dass er jede von der Natur gewollte Altersstruktur mit

voller Intensität durchlebt, weil jede ihren eigentümlichen Sinn für die Gesamtentwicklung in sich trägt und durch ihn Notwendiges für das spätere Leben beiträgt.“ [7] Diese innere Schicht, Quelle der Begeisterung, der Kreativität, der Selbststärke, sie gilt es in der frühen Kindheit zu fördern und zu stärken um dann später, wenn die kognitiven Fähigkeiten entsprechend herangereift sind, das Kulturgut „Naturwissenschaft“ so anzubieten, dass es sich mit dem inneren Kern verwurzeln kann.

Zum Abschluss dieses Abschnittes noch zwei Bemerkungen:

- Die anfangs zitierte Erklärung des Kernversuchs klingt zwar plausibel, sie ist jedoch schlichtweg falsch. Viele solcher moderner „Märchen“ werden in Schulbüchern, in den Medien als „wissenschaftliche Erklärung“ erzählt und vom Publikum und vermutlich auch vom Erzähler geglaubt, besonders wenn noch zauberhafte „Teilchenmodelle“ eine besonders tiefgehende Wissenschaftlichkeit vorgaukeln. Haben altersgemäße, von den Kindern selbst entwickelte magische Erklärungen nicht den Vorzug, dass mit zunehmender Reifung der kognitiven Fähigkeiten dem Heranwachsenden deutlich bleibt, dass die naturwissenschaftliche Erklärung eigentlich noch aussteht – und so diese Art der Erklärung nicht nur dem verdunkelnden Wissen entgegen wirkt, sondern auch noch emotional eine wichtige Verbindung zum Erlebten aufrecht erhält?

Kasten 2: Stufenfolge im Umgang mit der Sprache im naturwissenschaftlichen Unterricht nach Martin Wagenschein [15]

Stufe 1 (bis ins Grundschulalter): Die Kinder versuchen das, was sie sinnlich selbst erlebt haben mit eigenen Worten zu fassen. Dabei sprechen die Kinder im Wechsel, zögernd, tastend, suchend. Ihre Worte dienen nicht dem genauen Beschreiben, sie unterstützen vielmehr ihre suchende Bewegung. Auch das Schweigen findet dabei seinen Platz. In diesen Prozess des Denkens darf der Erwachsene nicht mit Erklärungen oder gar Belehrungen eingreifen, dies würde den Denkprozess stören. „Nichts tötet die Sprache so sehr wie das in-flagranti-Korrigieren eines Kindes, das, weil es denkt, in den ehrwürdigen Stand des Stammelns eingetreten ist. Der Lehrer, sofern er in dieser Phase überhaupt etwas sagt, auch er rede nicht in „wohlgebauten“ Sätzen und nicht entfernt in der Fachsprache, er rede überhaupt nicht als ein Berichtiger, sondern als ein Mitdenkender: natürlich, anthropomorph, bildhaft; keineswegs kindisch, sondern so wie er mit sich selber redet, wenn er allein ist.“

Auf dieser Stufe geht es somit nicht um das exakte, korrekte Ausformulieren. Wenn Kinder von einer Sache gefangen sind, bringt das Denken darüber die richtigen Worte hervor - ggfs. im gemeinsamen Ringen darum. „Will man aber die Sprache polieren, so lang sie noch fließt, so spaltet man die Aufmerksamkeit von der Sache ab und züchtet leere Worte.“

Stufe 2 (Sekundarstufe 1): nach Wagenschein ist der Formulierende nun in einer anderen Lage. Er hat verstanden, was ist und kann nun überlegen, wie das, was ist, so formuliert werden kann, dass es für ihn selbst aber auch für andere verständlich ist und bleibt. Dabei geht es um die genaue und überzeugende Unterrichtssprache, noch nicht um die Fachsprache.

Stufe 3 (Sekundarstufe 2): erst jetzt wird die Fachsprache eingeführt. „In ihr erstarrt die lebendige Sprache, wird steril, aber bezeichnet präzise (kulturell) Vereinbartes.“

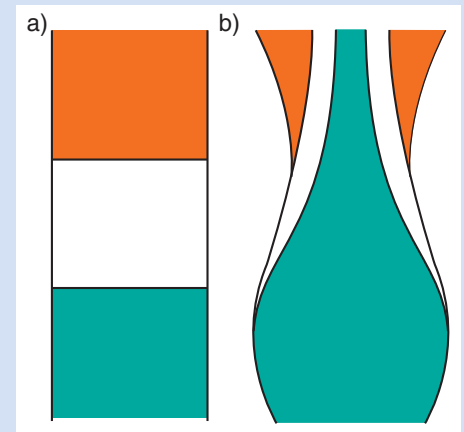


Abb. 7: Die Entwicklung verläuft nicht stockwerkhaft, die früher Phase lebt im Inneren weiter!

- Die magische Welt der Kinder steht dem Denken der modernen Physik viel näher als das kausal-rationale Denken. Hans Peter Dürr, Mitarbeiter und Nachfolger Werner Heisenbergs, einer der Wegbereiter der heutigen Quantenphysik schreibt: „Leider ist unser Gehirn nicht darauf trainiert, die Quantenphysik zu verstehen. Mein Gehirn soll mir im Wesentlichen helfen, den Apfel vom Baum zu pflücken, den ich für meine Ernährung und letztlich für mein Überleben brauche. Unsere Umgangssprache ist eine Apfelpflücksprache mit Ja oder Nein. Das ist die zweiwertige Logik. Aber diese zweiwertige Ja-oder-Nein-Logik ist eben nicht die Logik der Natur. Die Quantenphysik beschreibt die Natur viel besser, denn in der Quantenwelt



Abb. 8:
Pendeluhr

herrscht die mehrwertige Logik, ein Dazwischen, das Unentschiedene. Daran müssen wir uns gewöhnen. Wenn mir etwas schwammig vorkommt, komme ich der Wirklichkeit am nächsten. Denn Aussagen über sie sind unendlich vieldeutig. Auf emotionaler Ebene haben wir damit weniger Schwierigkeiten. Unsere Gefühle sind ja in diesem Sinne alle ein bisschen schwammig, ohne dabei unverständlich zu sein. Sie sind Bewegung, ihre Grenzen fließen.“ [14]

12 Sprachbildung im naturwissenschaftlichen Unterricht

Wie zuvor schon beschrieben, besteht die Gefahr, dass sich sprachliche Vorstellungen als „verdunkelndes Wissen“ zwischen uns und unserer Erfahrungswelt schieben. Um dies zu verhindern, schlägt Martin Wagenstein in „Physik und Sprache“ [15] den in Kasten 3 zusammengefassten, altersgestuften Umgang mit Sprache vor.

Ihm ist besonders wichtig, dass es im naturwissenschaftlichen Unterricht eine unabdingbare Voraussetzung von Stufe 3 ist, dass zuvor die ersten beiden Stufen durchlaufen werden. Zusammenfassend betont er: „Erst erfahre es, dann sage es beteiligt, schließlich fasse es nüchtern!“

Anmerkungen

- Die Altersangaben sind nur grobe Hinweise, die individuelle Entwicklung des Kindes kann ganz unterschiedlich verlaufen. Jedoch wird mir durch Jahrzehnte lange Beobachtung und Reflexion von Physikunterricht immer klarer, dass eine wirkliche Verwurzelung der physikalischen Begriffe und Konzepte eine gewisse kognitive Reife benötigen, und dass eine Verfrühung, wie sie häufig auch durch Bildungspläne vorgege-

ben wird, entweder zu „leeren Worthüllen“ führt, die brav in Klassenarbeiten „apportiert“ werden, oder im Unterreich unverhältnismäßig viel Zeit aufgewendet wird, ohne dass die Schüler eine wirklich stabile Begriffsbildung erreichen können. Oft hätte diese – ein oder zwei Jahre später – in kürzester Zeit erreicht werden können. So gesehen führt die „formale“ Verfrühung zu verlornener Lernzeit, die sinnvoller genutzt werden könnte, um die vielfältigen Gesetzmäßigkeiten in Natur und Technik erlebbar werden zu lassen.

13 Einführung von mechanischen Schwingungen in der Kursstufe

Dass es im naturwissenschaftlichen Unterricht eine unabdingbare Voraussetzung von Stufe 3 ist, zuvor die ersten beiden Stufen zu durchlaufen, konnte ich vor Kurzem in einer Stunde zur Einführung von mechanischen Schwingungen in der Kursstufe erleben. Die Schüler waren im Alter von 16 – 17 Jahren, in einem 2-stündigen „Grundkurs“. Die Schüler wurden als normalerweise wenig interessiert bezeichnet. Obwohl die Schüler zuvor schon 4 Jahre Physikunterricht hatten, wurden alle drei oben genannten „Sprachstufen“ durchlaufen. Auffällig war, wie alle Schüler sehr engagiert mitarbeiteten.

Aufgabenstellung: Die abgebildete Uhr wird gezeigt. Sie läuft in 24 h 10 min zu schnell. Wie kann das Problem behoben werden?

Sprachstufe 1: Mithilfe des Arbeitsauftrags „Betrachte die Pendeluhr und finde heraus, welche Aufgaben die Komponenten „Gewicht“, „Kette“, „Pendel“, „Anker“, „Zahnäder“ haben“ wurde zunächst über die Funktionsweise der Uhr „gestammelt“ und durch die Gespräche der Schüler untereinander langsam **Sprachstufe 2** erreicht; die Funktionsweise der Uhr konnte in alltags-sprachlicher Formulierung beschrieben werden. Dabei wurde klar, dass die „Schwingungsdauer“ des Pendels verringert werden muss. Durch ein weiteres Arbeitsblatt ange-regt konnten die Schüler selbständig erforschen, wie die Schwingungsdauer T mit der Masse m , der Amplitude A , der Länge des Pendels l zusammenhängt und Vorschläge erarbeiten, wie das Pendel der vorgegebenen Pendeluhr verändert werden muss. Alle Schülergruppen arbeiteten hoch motiviert, fanden heraus, dass nur die Pendellänge der entscheidende Faktor sein kann. Schnelle Gruppen untersuchten die angenommene Proportionalität. Im folgenden Klassengespräch wurde der Mittelwert der von den Schülergruppen mit dem vom Lehrer theo-

retisch berechneten Wert verglichen und die mathematische Beziehung zwischen der Schwingungsdauer T , der Masse m , der Länge l und dem Ortsfaktor g

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

gezeigt und damit auch geklärt, warum keine Proportionalität vorliegt. Im Klassengespräch wurde ansatzweise **Sprachstufe 3** erreicht. Auch den Schülern wurde hierbei deutlich, dass sie sich in Bezug auf Energiebetrachtungen im Augenblick noch auf Stufe 1 bzw. teilweise auf Stufe 2 befinden und dass durch den folgenden Unterricht Stufe 3 erreicht werden kann. Erstaunlich war, wie gelassen die Lehrkraft trotz der „Reife“ der Schüler auf Stufe 1 begann und schrittweise in kurzer Zeit mit den forschenden Schülern ansatzweise Stufe 3 erreichen konnte.

14 Das Konzept

„Freiburger Forschungsräume“

In Freiburg hat sich im Frühling 2011 eine Arbeitsgruppe von etwa 25 Erziehern Grundschul- und Gymnasiallehrern sowie Mitarbeitern außerschulischer Lernorte im „Forschungsraum“-Projekt der Stadt Freiburg zusammengefunden und mit Unterstützung eines Steuerkreises „von der Basis her“ ein „Qualifizierungskonzept“ [12] für einen ganzheitlichen Zugang zu den Naturwissenschaften erarbeitet, das vom heranwachsenden Kind her gedacht ist. Im Frühjahr 2012 wird dieses Konzept von der Stadt Freiburg für die Fortbildung von Erziehenden und Lehrenden genutzt werden.

In der Erarbeitungsphase des Konzepts hat sich immer deutlicher gezeigt, dass es in erster Linie auf die „Haltung“ der Erziehenden mit Blick auf den Umgang mit den Kindern, in Hinblick auf den Umgang mit Natur oder Technik ankommt: „Die Erziehenden sollen selbst „Forscher“ werden“, die mit den Kindern zusammen wirkliche Fragen haben, statt geniale Kinderfragen mit halbverstandenen, pseudowissenschaftlichen oder falschen Erklärungen zu ersticken. In der im Frühling 2012 beginnenden Runde werden wir versuchen verstärkt die Sekundarstufe in den Blick zu nehmen. Bei der Entwicklung des Konzepts war es wichtig, dass es in einem offenen „Forschungsprozess“ mit in der Erziehungspraxis Stehenden zusammen entwickelt wurde. Selbstverständlich wird sich das Konzept in den nächsten Jahren aufgrund der hinzukommenden Erfahrungen weiter entwickeln. Das Freiburger Konzept

„Freiburger Forschungsräume“ ist unter [12] zu finden. Hier seien einige zentrale Eckpunkte genannt:

Grundlage jeder forschenden Haltung ist die lebenslange Neugier und das Interesse jedes Menschen an der Welt um sich herum, die in Hinblick auf den in der Sekundarstufe einsetzenden naturwissenschaftlichen Unterricht noch erweitert werden müssen. Ausgangspunkt sind die persönlichen konkret-sinnlichen Erfahrungen im Umgang mit dieser Welt. Das Individuum will (und muss) die Welt um sich herum für sich selbst erschließen, deuten und schließlich Zusammenhänge verstehen, um darin handlungsfähig zu werden bzw. zu bleiben.

Diese Welterschließung wiederum erfolgt – aufgrund der unterschiedlichen Vorerfahrungen der Kinder – notwendigerweise in unterschiedlichen Deutungsmustern, die sich – je nach dem Entwicklungsstand der Kinder und Jugendlichen – sehr unterscheiden können und zunächst erheblich von der heute üblichen naturwissenschaftlichen Sichtweise – die in vielen Jahrhunderten entstanden ist – abweichen werden.

Ausgangspunkt dieser naturwissenschaftlich-technischen Welterschließung können von den Kindern selbst gestellte Fragestellungen sein, die sich aus ihren eigenen konkret-sinnlichen Erfahrungen ergeben. Diese können für die Kinder sinnvoll und bedeutsam sein, auch wenn sich dieser Sinn oder die Bedeutsamkeit Erwachsenen oft nicht erschließt. Wesentlich dabei ist, dass sich diese Fragestellungen aus den Weltdeutungen der Kinder ergeben und damit wiederum einen Rückschluss gerade darauf ermöglichen.

Aus solchen Fragestellungen können sich selbst gestellte „Forschungsaufgaben“ ergeben. Diese werden einzeln bzw. in Gruppen bearbeitet.

Die so gefundenen Ergebnisse können von Jungen und Mädchen zunehmend dem kritischen Diskurs unterzogen werden, wenn sie dafür einen Rahmen vorfinden, der das eigene Denken und Fragen herausfordert und unterstützt. Dabei geht es um Plausibilität und nicht um Richtigkeit in Bezug auf gegenwärtige naturwissenschaftliche Deutungsmuster.

Daraus lässt sich die Forderung ableiten, dass auch die Erwachsenen, die die Kinder begleiten, selbst eine forschende Haltung einnehmen. Mit Neugier und Interesse begegnen sie der Welt um sich herum und als Verantwortliche für Lernprozesse gerade auch der Art und Weise, wie die Kinder versuchen, die Welt zu verstehen:

Die Erwachsenen müssen bereit dazu sein, sich mit den Kindern und Jugendlichen auf einen suchenden Weg zu begeben. Dazu gehören Mut und eine veränderte Rolle der Erwachsenen: Sie gehen zusammen mit den Kindern und Jugendlichen eine Lerngemeinschaft ein. Der gemeinsam beschrittene Lernweg ist dabei – weder in Bezug auf die Ergebnisse noch in Bezug auf die einzuschlagenden Wege – durch die Erwachsenen zu planen und zu steuern oder gar vorwegzunehmen. Er muss sich vielmehr aus der suchenden Lösungsbewegung ergeben.

Aufgabe der Erwachsenen dabei ist, diesen Weg interessiert, teilnehmend, dialogbereit, wertschätzend und auf Augenhöhe zu begleiten. Dies wiederum verlangt, dass auch die Erwachsenen Lernende in und mit der Situation sind und in der Regel gerade nicht – wie im üblichen Kontext schulischen Lernens – die Ergebnisse bereits von vorneherein wissen und bestimmte Ergebnisse erwarten. Ihnen muss es gelingen, dieses Wissen und die damit verknüpften Erwartungen zurückzustellen. Ihre Aufgabe ist es vielmehr, die Deutungen der Kinder versuchen zu verstehen und damit im Sinne *Sokrates* Hebammenkunst zu agieren. Dies ist die unmittelbare Konsequenz daraus, dass sie sich auf den Prozess dieser „suchenden Forschungsbewegung“ mit den Mädchen und Jungen verschiedener Altersstufen einlassen.

Die Erwachsenen verfügen in diesem Zusammenhang also gerade nicht über einen Wissensvorsprung (z. B. magnetische Streichhölzer). Ihre Rolle in diesem Lernprozess ist vielmehr eine andere, weggleitende: Sie haben das Wissen und die Kenntnisse, wie diese suchenden Prozesse des Forschens, Entdeckens und Entwickelns gesteuert und vorangebracht werden können, und unterstützen die Lernenden in dieser Bewegung.

Eine – zumindest in Schule und Unterricht – weitverbreitete „Didaktik des schnellsten Weges“ ist damit in diesem Zusammenhang nicht angezeigt. Umwege und Irrwege sind – für die angezielten Prozesse wissenschaftlichen Forschungsgeistes – unabdingbar und geradezu notwendig. Diese bilden auch die Voraussetzung dazu, dass für die forschenden Jungen und Mädchen die Erfahrung von Selbstwirksamkeit ermöglicht wird.

Die erwachsenen Personen leben diese „Forschungs-Haltung“ selbstverständlich und dienen somit als Vorbild für die Lernenden.

Abb. 9 stellt das Konzept der Freiburger Forschungsräume zusammenfassend dar.

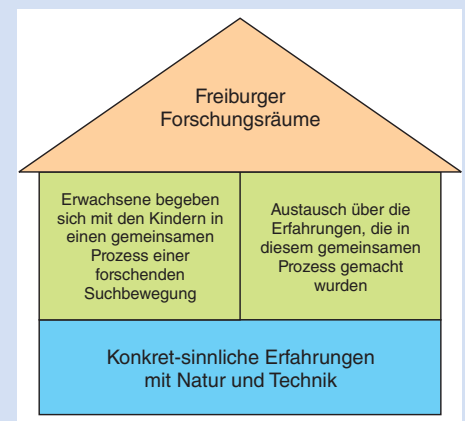
Die Basis und Voraussetzung für gelingende Lernprozesse bilden die konkret-sinnlichen Erfahrungen. Wo diese nicht vorhanden sind, müssen sie geschaffen werden, damit sinnvolles naturwissenschaftlich-technisches Lernen überhaupt möglich wird. Darauf aufbauend im Augenblick zwei Säulen.

Säule 1 ist die forschende Suchbewegung, in die sich Kinder und Erwachsene zusammen in den gemeinsamen Prozess begeben. Aufgabe des Erwachsenen dabei ist, diesen Prozess zu begleiten und ihn zu ermöglichen. Dazu gehört: den Rahmen für diese Prozesse zu gestalten oder zu wählen (Orte aufsuchen, Materialien anbieten ...) Impulse geben, solche aufgreifen, infrage stellen, Anregungen zur Fortsetzung des Prozesses zu geben ... und vor allem: Zeit lassen und Zeit geben, denn dieser Weg der suchenden Forschungsbewegung schließt Umwege, Irrwege, Sackgassen und Stolperstellen mit ein.

Säule 2: Damit die individuellen Erfahrungen und Erkenntnisse ins Bewusstsein gehoben werden, besteht ein entscheidender Schritt in diesem Prozess darin, den Jungen und Mädchen den Austausch ihrer Erfahrungen zu ermöglichen, ja diesen Austausch herauszufordern. Dies kann in Form der gesprochenen Sprache, aber auch in anderen Ausdrucksformen (Spiel, Bewegung, bildhafte Darstellung, Konstruktion, ...) erfolgen.“ Aus Säule 1 entwickeln sich zunehmend die zentralen naturwissenschaftlichen methodischen Kompetenzen und aus Säule 2 durch entsprechende Ergänzung der Erziehenden und Lehrenden eine solide Grundlage einer Natur- und Sachkunde.

Die noch fehlende **3. Säule**, die Begrifflichkeiten und Konzepte der Naturwissenschaft, wird im Lauf der Sekundarstufe relevant und soll im kommenden Jahr verstärkt in den Blick genommen werden, um die Freiburger Forschungsräume entsprechend zu erweitern.

Abb. 9: Freiburger Forschungsräume



15 Abschließende Gedanken

Die „Freiburger Forschungsräume“ können als ein Versuch betrachtet werden, die naturwissenschaftliche Bildung von den Kindertageseinrichtungen her, über die Grundschule bis zur Sekundarstufe als Ganzes zu sehen. Mit dem Einsetzen der „formal – operativen Phase“ [6], in Baden-Württemberg ab der 7. Klassenstufe kommen die Begrifflichkeiten und Konzepte der Naturwissenschaft, also die fehlende 3. Säule schrittweise hinzu, zunächst qualitativ, in Klassenstufe 9 und 10 quantitativ, und zwar exemplarisch in Mechanik, Elektrizitätslehre und Thermodynamik. Erst im 4-stündigen „Leistungskurs“ der Kursstufe wird das formale Niveau einer Naturwissenschaft erreicht. Beispielhaft sei aus dem Bildungsplan von Baden-Württemberg für das Fach Physik zitiert [17]: „Der 4-stündige Physikkurs ist auf eine systematische Beschäftigung mit den wesentlichen Inhalten und Grundprinzipien gerichtet und macht damit die Breite, die Komplexität und den Aspektreichtum des Faches und seiner Bezüge zu Natur und Technik deutlich. Er zielt auf eine vertiefte Beherrschung der Fachmethoden und ihrer Anwendung sowie der theoretischen Reflexion ab. Den 4-stündigen Physikkurs zeichnet ein hoher Grad an Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler vor allem beim Experimentieren, in einzelnen Fällen aber auch bei der Wissensgenerierung, aus.“

Abb. 10 soll das hier Vorgetragene zusammenfassen: Das Kind steht in vielfältigem Kontakt mit der Außenwelt. Dieser Kontakt formt den Aufbau des Körpers, der Sinne, des Gehirns, ... Durch Nachahmung und eigenes Tun sammelt das Kind Erfahrungen, die in einer Natur- und Sachkunde münden. Der von Anfang an vorhandene Forschungsimpuls führt zu den methodischen naturwissenschaftlichen Kompetenzen. Die kindlichen Denkfähigkeiten, wie etwa das magische Denken, stehen uns lebenslang zur Verfügung und sind die Quelle nicht-naturwissenschaftlicher Weltzugänge. Mit den heranreifenden kognitiven Fähigkeiten kann die naturwissenschaftliche Weltansicht an den Heranwachsenden herangetragen werden, sodass die naturwissenschaftlichen Begriffe und Konzepte sich im Idealfall mit dem kindlichen Denken verbinden.

Helfen unsere Überlegungen den anfangs beschriebenen „Kerzenversuch“ sinnvoll in den naturwissenschaftlichen Bildungsweg einzuordnen?

Wie als Feuertreppe II beschrieben, kann er die Kinder sehr motivieren, eigene

Forschungen durchzuführen. Erklärungen sollten – wenn überhaupt – in altersgemäßer Form erfolgen und offen für späteres Aufgreifen und Verstehen bleiben. In meinem Unterricht ist die 9. Klassenstufe ein geeigneter Ort für den Kerzenversuch – im Rahmen der Thermodynamik, bei der Behandlung von Phasenübergängen und der Frage, welche Aufgaben die Kühltürme von thermischen Kraftwerken haben [18]. Sie dienen ja zur Kühlung des „Kondensators“, einem Raum nach der Dampfturbine, in dem der Dampf so kondensiert wie beim Kerzenversuch, wenn die Flamme erlischt.

Zum Abschluss soll der Bogen noch etwas weiter gespannt werden. Vor kurzen hat *Ulrich Melle*, Philosoph an der katholische Universität Leuven, im Rahmen des Seminars „Energiewende“ an der Universität Freiburg zum Thema „Bedarf es zur Überwindung der ökologischen Krise außer Nachhaltigkeit auch eines moralischen Verhältnisses zur Natur?“ referiert. Zunächst hat er wissenschaftliche Ergebnisse und Konsequenzen der Klima- und Umweltforschung dargestellt. Er zweifelt, ob die gewaltigen Probleme mit naturwissenschaftlichem Denken allein zu lösen sein werden. Er weist auf eine „Moralisierung unseres Naturverhältnisses hin, das aber im Widerspruch mit einer rein funktionalen Bestimmung der ökologischen Krise als Stoffwechselkrise zwischen Mensch und Natur steht. Genau an einer solch rein funktional-instrumentellen Bewertung der Natur entzündet sich die in den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts einsetzende naturethische Reflexion mit der Frage, ob nicht gerade die Vorherrschaft eines rein instrumentellen, nutzenorientierten Verhältnisses zur nicht-

menschlichen Natur die tiefere geistig-moralische Wurzel der ökologischen Krise ist?“ Er fordert: „Wir sollen schrittweise dazu gebracht werden, die Natur mit anderen Augen zu sehen, es geht um die Ausweitung unserer moralischen Erfahrung über den mitmenschlichen Bereich hinaus in die nichtmenschliche Welt hinein. Ein solches Denken kann sich, dies ist eine der Hauptthesen des amerikanischen Naturethikers *Anthony Weston*, nicht unabhängig entwickeln von einer Praxis, in der uns die Natur in ihrer Eigenheit, in ihren verborgenen oder verschütteten Möglichkeiten, auch in ihrer Andersheit begegnen kann. Wir begegnen der Natur in einer nicht-aufdringlichen und fordernden, sondern höflichen und respektvollen Weise und laden sie ein, um sich uns in ihren verborgenen Möglichkeiten zu zeigen; wir versuchen, mit ihr in einen Dialog zu treten, herauszufinden, ob, wie weit sie und auf welche Weise sie mit uns in Dialog treten will.“ [19]

Vielleicht kann hierfür ein naturwissenschaftlicher Bildungsweg hilfreich sein, der die Phantasiekräfte, die persönlichen Erfahrungen, das eigene Erforschen, die Kräfte des selbständigen Handelns ernst nimmt und erst wenn die kognitiven Fähigkeiten eine gewisse Reife erlangt haben, die bis dahin gesammelten Erfahrungen altersgemäß, mit dem naturwissenschaftlichen Denken verbindet. ■

Literatur

[1] *Sabine Latorre: Naturwissenschaftliche Bildung: der kumulative Aufbau von Kompetenzen auf dem Weg zu einem institutionsübergreifenden Curriculum; Kölner Universitätsverlag 2011*

[2] *Gisela Lück: Handbuch der naturwissenschaftlichen Bildung – Theorie und Praxis für die*

Abb. 10: Naturwissenschaftliche Bildung als Ganzes gesehen



Arbeit in Kindertageseinrichtungen, Herder 2009
 [3] Arbeitgeberverband Gesamtmetall (Herausgeber): Physik in Kindergarten und Grundschule, Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien, 2011

[4] zu finden unter:

http://www.unimuenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/196_die_kerzenpumpe.pdf

[5] Wassilios E. Fthenakis (Hrsg.): Natur-Wissen schaffen, Band 1, Bildungsvlag EINS, Troisdorf, 2008

[6] Dieter Plappert: Naturwissenschaftliche Bildung vom Kindergarten bis zur Hochschulreife, Praxis der Naturwissenschaft 5/60. Jg. 2011

[7] http://www.uni-kassel.de/fb1/KVilmar/ws_2003_2004/martin_wagenschein.pdf

[8] Donata Elschenbroich: „Weltwunder – Kinder als Naturforscher“, Wilhelm Goldmann Verlag, 2007

[9] Michael Worbs: Du, Papa, warum sind Streichhölzer magnetisch? PdN-PhiS 4/58. Jg. 2009

[10] Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung:

<http://www.kindergesundheit-info.de/fuer-eltern/kindlicheentwicklung/entwicklung/magischphase>

[11] http://www.sinn-stiftung.eu/downloads/was-kleine-kinder-wirklich-brauchen_huether.pdf

[12] Konzept „Freiburger Forschungsräume“, zu finden unter www.plappert-freiburg.de

[13] Sally P. Springer u. Georg Deutsch: Linkes und rechtes Gehirn, Spektrum, Heidelberg 1984

[14] Hans-Peter Dürr: Warum es ums Ganze geht, Oekom, München 2009

[15] Martin Wagenschein: Physikunterricht und Sprache. Die Pädagogische Dimension der Physik, Hahner, Aachen 1995

[16] Unterrichtsentwurf Jan Weisner, Droste-Hülshoff-Gymnasium Freiburg, Februar 2012

[17] Bildungsplan Baden-Württemberg Gymnasien, Physik:

unter www.bildungsstandards-bw.de

[18] Horst Petrich, Dieter Plappert u. Heiner Schwarze: Entropielehre II – Energie und Entropie, Unterricht Physik Bd. 24, Aulis, Köln

[19] Ulrich Melle: Bedarf es zu Überwindung der ökologischen Krise außer Nachhaltigkeit auch eines moralischen Verhältnisses zur Natur?

Vortrag, gehalten am 6.2.2012, Universität Freiburg

Anschrift des Verfassers

Prof. Dieter Plappert, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Freiburg,

(Abteilung Gymnasien), Oltmannsstraße 22
79100 Freiburg

E-Mail: dieter@plappert-freiburg.de

Altlasten der Physik (137): Direkte und indirekte Messung

F. Herrmann

Gegenstand

Man unterscheidet oft zwischen direkten und indirekten Messungen. Hierzu drei Zitate:

1. „Unter direkten Messungen versteht man solche, deren Ergebnis unmittelbar am Messmittel ablesbar ist, beispielsweise Messungen mit Lineal, Winkelmesser oder Maßband. Bei indirekten Messmethoden liegt das Resultat erst nach einigen Zwischenstufen vor ..., z. B. Temperatur-Bestimmung von Sternen aus deren elektromagnetischen Spektren.“
2. „Eine physikalische Größe wird direkt gemessen, wenn man ihren Wert durch Vergleich mit einer Größe desselben Typs, die als Normal genommen wird, erhält. ... Eine physikalische Größe wird indirekt gemessen, wenn ihr Wert mit Hilfe einer geeigneten mathematischen Beziehung aus anderen physikalischen Größen berechnet wird.“
3. „Das direkte Messen einer physikalischen Größe erfolgt durch Vergleich mit einem vorher definierten Maßstab (Messgröße und Messstandard). Ist ein direkter Vergleich unmöglich oder zu aufwendig, wird indirekt gemessen.

Dazu wird eine leicht zugängliche Größe bestimmt, die mit der Messgröße in einer wohl bekannten Beziehung steht.“

Mängel

Eine Unterscheidung zwischen direkter und indirekter Messung wird offenbar für so wichtig gehalten, dass man die Klassifizierung ausdrücklich erklärt. Ein Vergleich unserer Zitate zeigt allerdings, dass die Definitionen nicht übereinstimmen. So ist die einfache Frage, ob eine Spannungsmessung mit einem Galvanometer eine direkte oder indirekte Messung ist, schon schwer zu beantworten. Wie lautet dann aber die Antwort, wenn man die Spannung mit einem Digitalvoltmeter misst, oder wenn man sie über CASSY am Bildschirm anzeigen lässt? Ist eine Energiestrommessung mit einem klassischen Wattmeter (mit Strom- und Spannungsspule) eine direkte oder indirekte Messung? Wie steht es bei der Messung einer elektrischen Ladung oder auch einer elektrischen Spannung mit einem Elektroskop?

Man sieht, dass diese Fragen nicht nur schwer zu beantworten sind, sondern auch dass ihre Beantwortung keinerlei Folgen

hat und kein Problem löst. Manchmal ist ein Klassifizieren nützlich, weil es gedankliche Ordnung schafft. Aber auch das ist hier nicht der Fall.

Herkunft

Wohl aus einer Zeit, als Messgeräte noch sehr einfach gebaut waren. Aber auch damals war der Begriff entbehrlich.

Entsorgung

Man kann schon einmal sagen, dass man etwas „direkt“ gemessen hat, wenn man das Wort in seiner einfachen umgangssprachlichen Bedeutung benutzt. Man würde es einfach dann sagen, wenn man den Messwert direkt irgendwo abliest, egal, welche Tricks in dem Messsystem zur Anwendung kommen. Man würde es genau so sagen, wie man etwa sagen könnte, man ist auf direktem Wege hergekommen. Niemand würde verlangen, dass man eine allgemeingültige Definition des direkten Weges gibt. ■

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Friedrich Herrmann, Institut für Theoretische Festkörperphysik, KIT,
76128 Karlsruhe, E-Mail: f.herrmann@kit.edu