

Themen und Kontexte als Strukturelemente des naturwissenschaftlichen Unterrichts

Zu den Schwierigkeiten, systematisches Physiklernen zu organisieren

Heinz Muckenfuß

Pädagogische Hochschule Weingarten, Kirchplatz 2. 88250 Weingarten

(Eingegangen: 29.04.2004; Angenommen: 12.10.2004)

Kurzfassung

In dem Artikel wird die Frage behandelt, welche Schwierigkeiten für systematisches Lernen im Rahmen eines themenorientierten Unterrichts auftreten, der sich als Alternative oder Gegenentwurf zum fachsystematischen Unterricht versteht. Wissenschaftstheoretische Defizite werden durch die kritische Bewertung von Argumenten deutlich, die für themenorientierten Unterricht häufig ins Feld geführt werden. Die für den Lernprozess als notwendig anerkannte Verknüpfung von Lebenswelt und Wissenschaft wird nicht gelingen, solange zwischen systematischem und themenorientiertem Lernen ein Gegensatz statt einer komplementären Beziehung gesehen wird. Zur Auflösung der scheinbaren Dichotomie werden „sinnstiftende Kontexte“ als Strukturelemente einer speziellen Form der Themenorientierung vorgeschlagen.

1. Themenorientierung – eine gut begründete Forderung an den naturwissenschaftlichen Unterricht?

Gegenwärtig entstehen in Deutschland viele Lehrpläne, die in einer Abkehr vom differenzierten Fachunterricht in Physik, Chemie und Biologie zugunsten eines integrierten Faches „Naturwissenschaften“ den Schlüssel für die Lösung akuter Bildungsprobleme im Bereich der Naturwissenschaften sehen. Dabei geht es nicht nur um eine organisatorische Zusammenführung der bisherigen Einzelfächer sondern um eine inhaltliche Neugestaltung. Sie wird in einem aktuellen Lehrplanentwurf des Landes Nordrhein-Westfalen für das Fach Naturwissenschaften global so beschrieben [1]:

„Hierzu werden die naturwissenschaftlichen Phänomene und Fragestellungen nach Rahmenthemen strukturiert, welche fachübergreifende Erfahrungszusammenhänge aus Schülersicht repräsentieren“¹. Dieser Lehrplan nennt für die Klassenstufe 5/6 die folgenden Rahmenthemen:

- Mein Körper – Meine Gesundheit
- Wahrnehmung mit allen Sinnen
- Pflanzen – Tiere – Lebensräume
- Wege in die Welt des Kleinen
- Geräte und Stoffe im Alltag
- Sonne – Wetter – Jahreszeiten

Andere Lehrpläne formulieren andere Themen: prinzipiell ist der Themenschatz, den uns das Leben anbietet, unerschöpflich. Weniger klar ist, in welchem Maß und welchem Umfang die Themenkompositionen wirklich „die naturwissenschaftlichen Phänomene und Fragestellungen strukturieren“. Die Darstellung der Kriterien, die jeweils zu der spezifischen Auswahl und Formulierung eines Themensatzes geführt haben, ist bisher noch sehr lückenhaft. Neben der lebenspraktischen Relevanz eines Themas ist zumeist auch das Bemühen zu erkennen, Inhalte und Verfahren der traditionellen naturwissenschaftlichen Fächer abzudecken. Darüber hinaus wird in den Bildungsplänen i. d. R. ein Katalog angestrebter „Kompetenzen“ formuliert, die nicht Themen gebunden und daher zumeist auch aus der Sicht des Fachunterrichts akzeptierbar sind. In den mir bekannten Bildungsplänen und Entwürfen bleibt die Frage jedoch überwiegend unbeantwortet, welchen spezifischen Beitrag ein bestimmtes Thema für den Aufbau eines themenunabhängigen naturwissenschaftlichen Kompetenzgefüges leistet. Deshalb ist nicht immer klar, ob und inwieweit die Themen als Mittel fungieren, übergeordnete fachliche Kompe-

¹ Die Beschränkung auf die unteren Klassenstufen der Sekundarstufe I wird derzeit noch in einigen Bundesländern vorgenommen, aber nicht theoretisch begründet. Es ist unschwer zu erkennen, dass die Begründungen für diese Veränderungen nicht auf diese Jahrgangsstufen spezifiziert sind. In einigen Lehrplänen und Lehrplanentwürfen anderer Bundesländer ist der Schritt zur Auflösung der Einzelfächer in der gesamten Sekundarstufe I bereits vollzogen.

tenzen aufzubauen oder ob ihre Bearbeitung selbst schon das Unterrichtsziel ist.

Der unbestreitbare Misserfolg des traditionellen Fachunterrichts einerseits und Legitimations- und Theoriedefizite neuerer Ansätze andererseits polarisieren gegenwärtig die didaktische Diskussion.

Die Protagonisten der geschilderten Art von Themenorientierung sehen in ihr einen programmatischen Gegensatz zum fachsystematischen Unterricht, d. h., sie betrachten Themenorientierung als Grundlage und Spezifikum eines nicht mehr nach den traditionellen Fächern geordneten Unterrichts. Dabei wird explizit oder implizit unterstellt, Fachunterricht sei unabänderlich „nur“ systematisch ausgerichtet und somit unausweichlich lebensfern². Besonders in den Fächern Physik und Chemie³ werde durch die fachsystematische Curriculumsstruktur verhindert, dass Lernen als sinnvolle Aktivität erlebt wird. Themenorientierter Unterricht – so wird argumentiert – greife dagegen nahezu zwangsläufig die Interessen der Schülerschaft auf, knüpfe an deren Vorerfahrung und ihren Präkonzepten an und sei per Definition lebensnah und sinnstiftend.

Auf der anderen Seite befürchten viele Fachlehrkräfte, dass mit dem Verschwinden der naturwissenschaftlichen Einzelfächer auch wichtige Ordnungsstrukturen für eine angemessene Sichtweise und Durchdringung unserer wissenschaftsgeprägten Welt verloren gehen. Weil sich allein aus der Fülle möglicher Themen keine Kriterien für das Ziel und den Aufbau eines naturwissenschaftlichen Gesamtfaches ergeben, besteht die Befürchtung, dass die inhaltliche Gestaltung des Unterrichts der Beliebigkeit anheim fällt.

Um einen Weg aus diesem unfruchtbaren Schwarz-Weiß-Schematismus zu finden, werde ich zunächst das Konstruktionsprinzip und die Begründungen für die geschilderten themenorientierten Curricula kritisch betrachten und anschließend aufzeigen, wie mit einer besonderen Form der Themenorientierung – nämlich mit Hilfe „sinnstiftender Kontexte“ – systematisches Lernen realisiert werden kann [3].

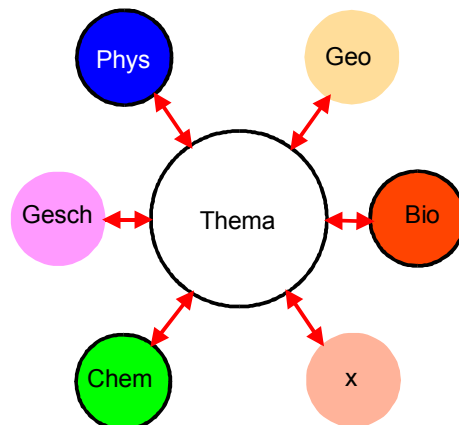
2. Kritische Betrachtung der Konstruktionsweise aktueller themenorientierter Curricula

Die Bildungsplaner legen dem naturwissenschaftlichen Einheitsfach Themen zugrunde, die aus möglichst vielen verschiedenen Perspektiven erschlossen

² Eine differenziertere Darstellung findet sich in dem Beitrag von Labudde [1]

³ Die Unterschiede in den Lernerfolgen, in den Interessen und in der Beliebtheit zwischen den Fächern Physik, Chemie und Biologie wären es wert, hinsichtlich ihrer Ursachen noch weiter erforscht zu werden. Zumindest für die Einschätzung, dass Biologie nicht zu den „harten“ Naturwissenschaften gehört und weniger unbeliebt ist als Physik und Chemie, sehe ich interessante wissenschaftstheoretische Gründe, die in Abschnitt 3 angesprochen werden.

multiperspektivischer Ansatz
mit komplexen Themen als
curriculare Strukturelemente



werden können. Dies wird durch eine möglichst große Komplexität der Themen gewährleistet [2]. Dem „multiperspektivischen Ansatz“ liegt u. A. die Auffassung zugrunde, dass die Gliederung des Unterrichts in Fächer eine Zergliederung der Erfahrungswelt bewirkt, die der Komplexität der Welt nicht gerecht wird und auch nicht den Lernbedürfnissen und Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler entspricht.

Viele Aspekte an dieser Argumentation leuchten spontan ein. Zumindest wirken sie auf Nicht-Naturwissenschaftler so überzeugend, dass sie auch den Rückhalt vieler Bildungspolitikern finden. Prüft man aber die Argumente genauer, dann zeigen sich doch gravierende Probleme:

- Das Zergliedern ganzheitlicher Erfahrungszusammenhänge soll vermieden werden. Jedoch gehört das Zerlegen komplexer Sachverhalte in überschaubare Teilprobleme seit Descartes zu den Fundamenten der naturwissenschaftlichen Methode [4]⁴. Die Entwicklung der Wissenschaften verdankt ihren erfolgreichen Verlauf nicht zuletzt dieser Strategie. Auf die pädagogischen Gefahren, die mit der beschränkenden Perspektive des physikalischen Zugriffs auf die Weltgehalte verknüpft sind, haben zum Beispiel Litt und Wagenschein nachdrücklich hingewiesen [5], [6]. Man kann diesen Gefahren begegnen, in dem der *Vorgang des Ausgliederns* des Lerngegenstandes aus einem Gesamtzusammenhang bewusst gemacht wird (Musik ist mehr als Luftdruckschwankungen). Ebenso gilt es, die Rückwirkung gewonnener wissenschaftlicher Einsichten auf unsere Weltsicht und Lebensform, auf unser Natur- und Menschenbild – kurz: auf die Wechselwirkung zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und

⁴ Die zweite „cartesische Regel“ lautet: „Jede der Schwierigkeiten, die ich untersuchen würde, in so viele Teile zu zerlegen als möglich und zur besseren Lösung wünschenswert wäre.“ [4]

Kultur als unverzichtbaren Teil des Lernens von Naturwissenschaften zu betrachten. Dass hier im bisherigen Fachunterricht viel versäumt wurde, ist kaum zu bestreiten. Wie sonst hätte die Auffassung so populär werden können, die Naturwissenschaften seien für das Verständnis unserer Kultur entbehrlich (s. z. B. [7], S. 482). Werden Ausgliederung und Reintegration nicht als zweckmäßige Erkenntnis-schritte ins Bewusstsein gehoben, kann der falsche Eindruck entstehen, ein Fach wie die Physik pflege naiv-realistischen Weltbild, beschreibe also die Welt schlicht so wie sie wirklich sei. Daraus resultierende unangemessene Wahrheitsansprüche erzeugen aber nur Skepsis und Ablehnung.

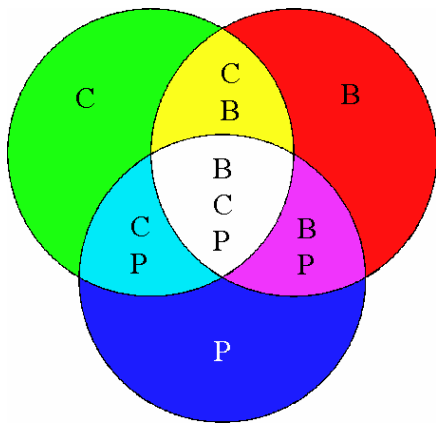
Für die Konstruktion von Curricula bedeutet dies: Nicht der Verzicht auf eine wichtige Strategie naturwissenschaftlichen Erkennens löst das didaktische Problem, sondern das Bewusstmachen der damit verknüpften Grenzen der Erkenntnis und des Gewinns für die Sichtweise des Ganzen.

- Das Argument, das spontane Lernen der Kinder sei nicht fachlich differenziert und folge demnach auch nicht der Logik der Fächer, ist zunächst nicht mehr als eine empirische begründbare Feststellung. Nicht selten mutiert sie aber unter der Hand zu der Norm, für den Lernprozess sei die Sachlogik den „natürlichen“ Erkenntnisweisen oder den lebensweltlichen Erkenntnisinteressen unter zu ordnen. Mit gleichem Recht kann man damit aber auch die Aufgabe der Schule begründen, den Kindern dabei zu helfen, ihre unreflektiert-lebensweltlich geprägte Sicht der Welt zu einem möglichst differenzierten wissenschaftsorientierten Weltbild weiter zu entwickeln. Dass der lebensweltlich geprägte geistige Zugriff eher spontanen und pragmatischen Bedürfnissen entspricht als der wissenschaftliche, ist natürlich unter pädagogischen und lernpsychologischen Gesichtspunkten unbedingt zu berücksichtigen. Aber es ist keine stichhaltige Begründung für die Ausklammerung fachlich-systematischer Erkenntnisgewinnung. Weiter unten werde ich noch näher begründen, warum es gerade *wegen* der Diskrepanz zwischen Alltagsdenken und wissenschaftlicher Erkenntnisweise und *wegen* der Komplexität der Lebenswelt notwendig ist, das fachlich disziplinierte wissenschaftliche Denken zu fördern. Der Verzicht darauf käme einer Kapitulation der Didaktik gegenüber der Aufgabe gleich, eine über pragmatisch begründete und situationsbezogene Qualifizierung hinausweisende Bildung anzustreben.

- Als wichtiges Argument für den multiperspektivischen Ansatz wird weiterhin angeführt, dass in einer zunehmend komplexeren Welt die Probleme immer weniger durch einzelfachliche Zugriffsweisen gelöst werden können. Dass alles mit allem zusammenhängt, fällt in einer globalisierten Welt natürlich deutlicher ins Auge und ist uns heute deshalb bewusster als früher. Der Forderung, die Auswirkungen

gen bestimmter Maßnahmen zur Veränderung der Welt umfassender in den Blick zu nehmen als in der Vergangenheit, wird niemand widersprechen. Das spricht aber für eine möglichst differenzierte Betrachtung aller erkennbaren Aspekte und nicht gegen eine Spezialisierung unserer Wissensbestände über diese Welt. Je umfassender diese werden, desto stärker sind wir auf Spezialisierung angewiesen. Deshalb differenzieren sich Berufsbilder und Studiengänge immer stärker aus. Nicht die Abschaffung des Spezialwissens oder der Spezialisten löst das Problem zunehmender Komplexität. Vielmehr kommt es darauf an, die äußerst anspruchsvolle Aufgabe zu meistern, viele spezielle Kenntnisse zu integrieren. Das setzt u. A. die Fähigkeit von Spezialisten voraus, miteinander zu kooperieren. Dass diese Fähigkeit durch die Schule angebahnt werden muss, steht außer Zweifel. Die äußerliche Änderung der Fächerstruktur scheint mir dabei weniger zu den vordringlichen Maßnahmen zu zählen, als die Weiterentwicklung der Unterrichtsmethoden und didaktische Anstrengungen zur internen Optimierung und wechselseitigen Abstimmung fachlicher Curricula.

- „Lernfelder“ oder „Lernbereiche“ stellen in den konkret vorgeschlagenen Ausprägungen – z. B. in Form des integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts – einen pragmatischen Kompromiss in Bezug auf die Möglichkeit dar, komplexe lebensweltliche Themen multiperspektivisch didaktisch zu erschließen. Die Grenzen der Lernbereiche muten recht willkürlich an und schaffen ein neues Innen und Außen. Dabei steht keineswegs fest, dass die Probleme, die von den neuen Grenzen hervorgerufen werden, geringer sind als die bisherigen. In meiner 20-jährigen Erfahrung mit der Konstruktion kontextorientierter Curricula für den Physikunterricht haben sich z. B. viele Kooperationsbedürfnisse mit Fächern außerhalb der Naturwissenschaften ergeben. Die Kultur- und Wissenschaftsgeschichte ist fast immer tangiert, in der Optik gab es die Zusammenarbeit mit den Fächern Kunst und Biologie, in der Thermodynamik (Wetterkunde) neben den Verbindungen zur Biologie und Chemie auch solche zur Geografie und zu sozialkundlichen Fächern. Ständig stimmen wir uns mit dem Fach Technik ab, immer wieder auch mit dem Fach Deutsch. Groß ist der Kooperationsbedarf mit dem Fach Mathematik. Warum fordert eigentlich niemand die Integration der Fächer Mathematik und Physik? – Natürlich fallen uns dazu viele Gegenargumente ein. Man sollte sie einmal daraufhin prüfen, ob sie für die Fächer Biologie oder Chemie wirklich weniger überzeugend sind! Die von den Themen und Situationen her wünschenswerte Kooperation mit wechselnden Fächern auch außerhalb der Naturwissenschaften wird durch integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht nicht erleichtert – im Gegenteil: Die Abstimmung der Inhalte verschiedener Naturwissenschaften kostet soviel Kraft, dass „Seitenblicke“ über die Naturwis-



Schematische Struktur der curricularen Vorgaben für den Lernbereich Naturwissenschaften

senschaften hinaus immer randständiger werden. „Die Kluft zwischen den zwei Kulturen“ [8], zwischen den Geistes- und Naturwissenschaften, die seit C. P. Snow sie benannt hat, nur gewachsen ist, wird jedenfalls durch die Gettoisierung der Naturwissenschaften in einem Lernbereich nicht leichter zu überbrücken sein als bisher.

- Den curricularen Vorgaben für Lernbereiche, in denen die drei Naturwissenschaften integriert sind, liegt meistens das Schema der obigen Abbildung zugrunde. Tendenziell hat die thematische Besetzung der gemeinsamen Schnittmenge Priorität. Das gelingt bei wenigen Themen, z. B. mit der Themenstruktur Boden, Wasser, Luft, Energie, die nicht nur zufällig an die antiken „Elemente“ erinnert (s. u.). Deshalb wird nach Themen gesucht, die wenigstens in zweien der drei Fächer von Bedeutung sind – und nur im „Notfall“ greift man auf Themenformulierungen zurück, die eine fachmonistische Behandlung nahe legen.

Auf diese Weise entsteht aber die Gefahr, dass der systematische Kern der Fächer überhaupt nicht erreicht wird, weil wesentliche Teile der Systematiken außerhalb der Schnittmengen liegen.

Dieses Problem verschärft sich dadurch, dass das Verhältnis der drei naturwissenschaftlichen Fächer untereinander überhaupt nicht so symmetrisch ist, wie es dieses Bild suggeriert. Die elementare Physik der Sekundarstufe I ließe sich nämlich prinzipiell ohne Rücksicht auf die Biologie oder Chemie lehren und lernen. Die Chemie ist auf Begriffe und Gesetze angewiesen, die im System der Physik definiert sind (Masse, Energie, Kraft, Ladung usw.), kommt aber ohne die Biologie aus. Diese wiederum muss auf Grundlagen der beiden anderen Naturwissenschaften zurückgreifen. Diese Asymmetrie besichert besonders der Physik eine Zulieferungsfunktion, auf die sie dann auch in vielen Teilen reduziert wird. Ein aus fachdidaktischer Sicht konsistenter bzw. systematischer Aufbau physikalischer Kompetenzen wird dadurch sehr erschwert, wenn nicht gar unmöglich. Für den physikalischen Fachunterricht entwickelte

Curricula verlieren während des Prozesses der Integration das fachdidaktisch begründete „Tuning“, was sich z. B. an entsprechenden Schulbuchentwicklungen nachweisen lässt. Ein systematischer Aufbau gelingt am ehesten noch im biologischen Bereich, weil dort das Bemühen nicht durch Zulieferungsanforderungen der Fächer Physik und Chemie gestört wird. Da die meisten Lehrkräfte, die in einem integrierten Lernbereich Naturwissenschaften unterrichten, eine Ausbildung im Fach Biologie haben und gegenüber dem Fach Physik oft eine eher distanzierte Beziehung pflegen, ist von ihnen nicht mit einem massiven Protest gegen die Auflösung physikalischer Curricula zu rechnen.

Trotz der angeführten Kritikpunkte am multiperspektivischen Ansatz des themenorientierten Unterrichts dürfen die pädagogischen Vorteile, die mit der Schaffung von Lernbereichen verbunden sein können, nicht unterschätzt werden. Dabei denke ich vor allem an die Gestaltungsspielräume, die ein größeres Budget an Wochenstunden mit sich bringt, wenn tatsächlich der ganze Lernbereich von einer Lehrkraft unterrichtet wird. Auch die offensichtlichen pädagogischen Vorteile der Einbeziehung alltagsrelevanter Themen in die Unterrichtsgestaltung lässt es ratsam erscheinen, nach Wegen zu suchen, systematisches Lernen in einem Fach mit lebensweltlich bedeutungsvollen Aspekten zu verknüpfen. Die Schwierigkeiten, die sich dabei auftun, haben mit den unterschiedlichen Ordnungskriterien zu tun, die dem Erfahrungswissen – dem common sense – und der Wissenschaft zugrunde liegen. Dies wird im folgenden Abschnitt kurz erläutert⁵.

3. Ordnungsstrukturen in thematischer und systematischer Hinsicht

Erkennen heißt Ordnen. Für das Zurechtkommen in der Welt sind wir darauf angewiesen, Zusammenhänge herzustellen und Unterscheidungen vorzunehmen. Wir tun dies unablässig auf der Grundlage unserer Wahrnehmung und der Erfahrung, die im praktischen Lebensvollzug akkumuliert. Auf diese Weise entsteht unreflektiert der so genannte common sense, der „gesunde Menschenverstand“, auf den wir im Alltag angewiesen sind. Multiperspektivische Themen im bisher genannten Sinn spiegeln daher eine durch Lebenserfahrung getragene Ordnungsstruktur wider, die auch für Laien – z. B. für Bildungspolitiker – unmittelbar einsichtig, also plausibel ist. So gewonnene Ordnungsstrukturen spielten auch im aristotelischen Weltbild eine tragende Rolle. Die „Elemente“ der antiken Wissenschaft, Erde,

⁵ Ausführlicher dargestellt ist dies im Vortrag „Retten uns die Phänomene?“ – Der Vortrag wurde in verschiedenen Zeitschriften und Tagungsbänden wiedergegeben, u. A. in: Unterricht Physik 12 (2001) Nr. 63/64, S. 74 (166) – 77 (169). Das Manuskript kann auch von der Homepage des Autors herunter geladen werden.

Wasser, Luft und Feuer sind in diesem Sinne plausible Ordnungsstrukturen. Deshalb sind sie als Themen auch in aktuellen Curriculumsentwürfen vertreten.

Beginnend mit der neuzeitlichen Physik in der Renaissance hat die Wissenschaft die Welt nach dem Kriterium der „Vernünftigkeit“ geordnet. Damit ist die Begründbarkeit des Wissens mit unbezweifelbaren Erkenntnissen gemeint. Diese entspringen entweder dem deduktiven Zusammenhang mit geistigen Gewissheiten (René Descartes) oder empirischen Gewissheiten (Francis Bacon). Die sinnliche Wahrnehmung und der Rekurs auf kulturelle Überlieferungen zählten nicht mehr zu den unbezweifelbaren Erkenntnissen. Es ist ein Charakteristikum der Epoche der Aufklärung, dass dem in diesem Sinne Vernunftgemäßen der Vorrang gegenüber der Wahrnehmung und unmittelbaren Welterfahrung eingeräumt wurde. Leider hat sich dabei als Komplikation ergeben, dass das Vernunftgemäße nicht immer plausibel und das Plausible nicht immer vernunftgemäß ist. So sagte Galilei in Bezug auf die kopernikanische Deutung der Himmelsbewegungen:

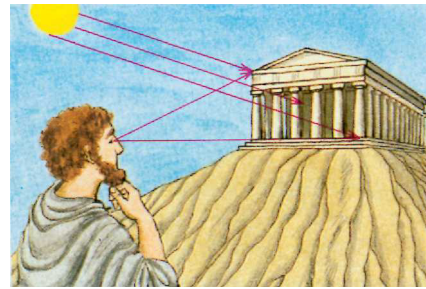
„Ich kann nicht genug die Geisteshöhe derer bewundern, die sich ihr angeschlossen [der Ansicht, dass die Erde sich dreht; H.M.] und sie für wahr gehalten, die durch die Lebendigkeit ihres Geistes den eigenen Sinnen Gewalt angethan derart, dass sie, was die Vernunft gebot, über den offenbarsten gegenteiligen Sinnenschein zu stellen vermochten“ ([9], S. 342).

Galilei kämpfte mit ganzer Kraft für die Ablösung des erfahrungsgebundenen aristotelischen Weltbildes. C. F. v. Weizsäcker charakterisiert dies so [10]:

„Galilei tat seinen großen Schritt, indem er wagte, die Welt so zu beschreiben, wie wir sie nicht erfahren“.

Descartes stellt den Zweifel am Plausiblen aller wahren Erkenntnis voran, so wie schließlich die gesamte neuzeitliche Wissenschaft die Prinzipien der Vernunft im oben genannten Sinn „über den offenbarsten Sinnenschein“ stellte. Viele – wohl die meisten – grundlegenden Konzepte und Begriffe der Physik (und auch der Chemie) stehen zunächst scheinbar im Widerspruch zu unserer Erfahrung. Ich erwähne einige Beispiele:

- Dass man die Augen als Lichtempfänger betrachten kann, lehrt uns nicht die Alltagserfahrung, sondern die Physik. Die Alltagssprache drückt aus, wie wir den Sehvorgang erfahren: *Man muss genau hinschauen*; man kann *einen Blick auf seinen Nachbarn werfen*, der dann vielleicht *auf dessen Nacken ruht*; *jemand hat einen stechenden Blick*, oder *man schaut zum Fenster hinaus*. Unsere Alltagssprache orientiert sich an der Erfahrung und enthält deshalb keinen Hinweis auf das Auge als Lichtempfänger, auf Lichtstrahlen, die Punkt für Punkt ein Bild erzeugen usw. Die physikalische Weise, die Sichtbarkeit der Welt über „Strahlengän-

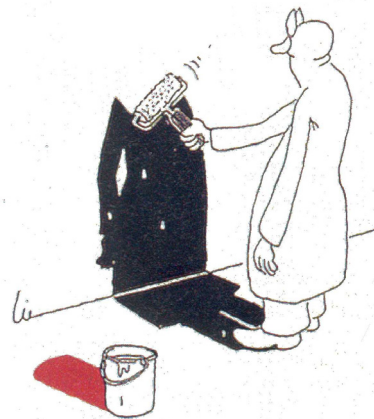


Eine der antiken Vorstellungen vom Sehvorgang: Nur wenn Sehstrahlen und Lichtstrahlen zusammentreffen kommt es zum Sehen.

ge“ zu erklären, bei denen die Strahlen nicht vom Auge sondern von den Gegenständen ausgehen, wurde im Abendland erst durch die Arbeiten Keplers zum Allgemeingut der Wissenschaft⁶

- Schatten sind in unserer Wahrnehmung etwas positiv Vorhandenes, eine Art Gegenstand, der geworfen wird; *man kann sich hineinsetzen in den Schatten*, er kann länger oder kürzer werden, oder *man kann mit ihm Schattenspielen*. Auch hier widerspricht das Wahrnehmungsschema der physikalischen Erklärung der Schatten als Ort, an dem etwas fehlt. Dies zeigt u. A., dass wir Licht nicht als Ausbreitungsvorgang in Raum und Zeit wahrnehmen. Gemäß unserer Wahrnehmung macht Licht instantan hell und ermöglicht uns das zu sehen, „was da ist“ (s. dazu [11]). Erst die wissenschaftliche Perspektive des Strahlenmodells lässt uns die Schatten als „Fehlen von Licht“ erkennen.

Künstler und Literaten nutzen den Widerspruch, um unser Denken zu affizieren, z. B. in Comics, in denen Schatten mittenächtlich ihr Unwesen treiben, oder – um ein Beispiel aus der Weltliteratur anzuführen – in Adalbert v. Chamisso's Märchen „Peter Schlemihls wundersame Geschichte“, in der die



Zum Widerspruch zwischen Schattenwahrnehmung und physikalischer Erklärung

⁶ Die Deutungen des Sehvorgangs im Altertum enthielten mit den „eidola“ der „Atomisten“ zwar bereits eine Empfängervorstellung für das Auge, diese war aber nicht empirisch oder durch die Wahrnehmung gestützt, sondern philosophisch-spekulativ begründet.



„Warme Luft steigt auf“ – immer? – und aus eigenem Vermögen?

Hauptfigur ihren Schatten an den „grauen Herrn“ verkauft.

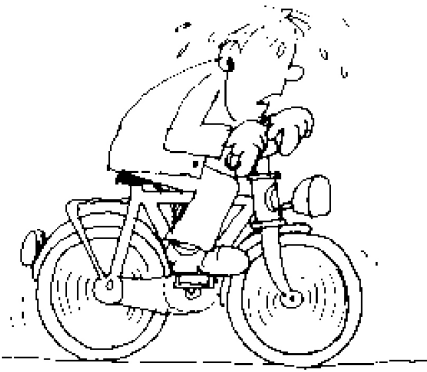
Analoges gilt für die Dunkelheit: Sie *bricht herein* oder *breitet sich aus*, der *Scheinwerfer durchdringt die Dunkelheit* – manchmal *bleibt das Dunkel auch undurchdringlich*. Goethe hat sich ein Leben lang geweigert, in der Dunkelheit nur das Fehlen von Licht – ein Negativum – zu sehen.

- Ähnlich polar nehmen wir Wärme und Kälte wahr. Physikalisch führt die Erfahrung nur in die Irre, *dass ein Pullover die Kälte abhält*. Wem aber die Kälte gerade durch alle Knochen kriecht, der wird den Physiker nicht ernst nehmen, der ihm weismachen will, es gäbe keine Kälte, nur die Wärme würde entweichen. Es ist nicht einmal einfach, Kindern begreiflich zu machen, dass ein Pullover keine Wärmequelle ist.

- Noch schwerer fällt es – so lehrt uns die Wissenschaftsgeschichte – zu akzeptieren, dass die Wärme und unsere Temperaturempfindungen etwas mit dem Gewusel von Teilchen zu tun haben, die unserer Wahrnehmung nicht zugänglich sind, aber „vernunftgemäß“ – d.h., aus der Sicht der Wissenschaft – als vorhanden gedacht werden müssen.

- *Warme Luft steigt auf* sagen wir so dahin, weil es unserer Erfahrung entspricht. (Manchmal steckt auch die Vorstellung dahinter, „die Wärme“ sei es, die bevorzugt nach oben steigt und anderes mit sich reißt.) Das „*Leichte geht nach oben*“, hat auch schon Aristoteles gesagt, weil diese Beschreibung eines scheinbar „natürlichen Verhaltens“ unsere Erfahrung wiedergibt. Dass warme Luft nicht aus eigenem Vermögen aufsteigt, sondern von schwererer Kaltluft angehoben wird, diese physikalische Erkenntnis ist nicht evident, geschweige denn die zusätzliche Einschränkung, dass der Vorgang nur zustande kommt, wenn sich an der Grenze zwischen Kalt- und Warmluft ein Druckgefälle zur Warmluft hin ausgebildet hat (was in der freien Natur nicht immer zutrifft).

- Wer Physik unterrichtet, erlebt regelmäßig, wie skeptisch Schülerinnen und Schüler gegenüber dem Trägheitsgesetz sind, das behauptet, man brau-



Kräftefreie Bewegung wegen konstanter Geschwindigkeit?

che keine Kraft, um die Bewegung eines Körpers aufrecht zu erhalten. Die physikalische Erklärung steht auch hier der Erfahrung, dem „Sinnenschein“ entgegen. Nach dieser braucht man eine umso größere Kraft um einen Körper zu bewegen, je höher dessen Geschwindigkeit ist. Erst die gemäß dem mathematischen Entwurf der Physik getroffene Auswahl und Interpretation von Phänomenen macht das Trägheitsgesetz verständlich, demnach es möglich ist, Jahrtausende lang ohne Kraft oder Energieumwandlung durchs Weltall rasen, wenn man nur darauf verzichtet, die Geschwindigkeit ändern zu wollen.

Was hier an physikalischen Beispielen angeführt ist, ließe sich problemlos auch mit solchen aus der Chemie durchführen. Wer z. B. glaubt von der Geschmackswahrnehmung her begreifen zu können, was Chemiker unter einer Säure verstehen, befindet sich in der Sackgasse.

In diesem Punkt unterscheidet sich die elementare Biologie in vielen Bereichen von der Physik und Chemie: Ihre Ordnungsstruktur orientiert sich stärker an derjenigen der Erscheinungswelt⁷

Die Reihe der Beispiele ließe sich beliebig verlängern. Das zeigt, dass es sich nicht um Ausnahmen sondern um ein Prinzip handelt: Die Wissenschaft ordnet die Welt nach Ideen, die sich nicht ohne weiteres aus der Erfahrung ergeben. Dadurch entstehen Zusammenhänge und Unterscheidungen, die dem common sense verborgen bleiben; ein Beispiel: Auf der Erdoberfläche verdunstet Wasser. Dabei nimmt es Energie aus der Umgebung auf. In den Wolken kondensiert dieses Wasser und die Energie wird wieder abgegeben. Der atmosphärische Wasserkreislauf transportiert also Energie von der Erdoberfläche in die höhere Troposphäre. Derselbe Vorgang läuft

⁷ Dies könnte ein wesentlicher Grund dafür sein, dass Biologie von den Schülerinnen und Schülern als „leichteres“ Fach wahrgenommen wird. (s. Fußnote 3)

in jedem Kühlschrank ab, in dem durch den Kreislauf eines Kühlmittels Energie aus dem Kühlschrank in die Küche hinaus transportiert wird. Der Zusammenhang zwischen Systemen und Prozessen aus ganz unterschiedlichen Erfahrungsbereichen ist phänomenologisch nicht gegeben. Er erschließt sich nur über das Ordnungssystem der Wissenschaften.

Bei den die Alltagserfahrung transzendierenden Ordnungssystemen handelt es sich um die Systematiken der Fächer. Sie sind nicht ohne weiteres alltagsrelevant im Sinne der Brauchbarkeit oder Nützlichkeit im Rahmen alltäglicher Handlungsbedürfnisse. Letztere entspringen ja dem *common sense*. Die wissenschaftliche Art der Erkenntnis dient mehr der geistigen Orientierung in einer komplexen Welt und konstituiert das Welt- Natur- und Menschenbild.

Die mit dem multiperspektivischen Themenkonzept verknüpfte Handlungs- und Praxisorientierung ist in diesem Licht keineswegs über Zweifel daran erhaben, dass sie hilfreich bei dem Bemühen ist, aus der Erfahrungswelt die Ordnungsstrukturen der Wissenschaft zu rekonstruieren.

Um von der Ebene der Erfahrungswelt, respektive von den lebensweltlichen Themen her in die Höhen der wissenschaftlichen Ideenwelt zu gelangen, bedarf es der gleichen Anstrengung, die notwendig war, um die aristotelisch-scholastische Wissenschaft durch die neuzeitliche Naturwissenschaft zu ersetzen. Das heißt aber nichts anderes, als dass wir der Aufgabe, Schülerinnen und Schüler in die Gedankenwelt der Naturwissenschaft hineinzuführen, durch diese Art der Themenorientierung keinen Schritt näher kommen. Die höhere Motivation, die man von den Themen erwartet, gilt gegebenenfalls den alltagsrelevanten Aspekten des Themas und erstreckt sich nicht notwendig auf deren naturwissenschaftliche Erklärung. Der *common sense* oder die Präkonzepte liefern in den meisten Fällen „handliche“ und plausible Deutungen, mit denen man im Alltag sehr wohl zu Recht kommt. Warum also sollte man sich um die umständlichen, spontan nicht plausiblen und vielfach schwierigen Konstrukte bemühen, die von den Naturwissenschaften angeboten werden? Die Klimaanlage produziert eben Kälte, Wärme steigt nach oben und der elektrische Strom wird im Bügeleisen verheizt – wozu bitte, braucht man Physik?

Solange sich themenorientierter Unterricht als Gegensatz oder Alternative zu einem Unterricht versteht, der sich an den Systematiken der Wissenschaften orientiert, läuft er Gefahr, im Erfahrungs- und Handlungswissen stecken zu bleiben und das Potenzial der abstrakten Ideenwelt nicht erschließen zu können. Diese Gefahr wurzelt in der Tendenz, nur jeweils solche „Stücke“ aus dem Ideengebäude heraus zu brechen, die gerade zum jeweiligen Thema oder Problem aus der Erfahrungswelt passen. Dann aber bleibt von der Ideenwelt statt eines wohlgeordneten Gebäudes nur ein Trümmerhaufen in den Köp-

fen unserer Schülerinnen und Schüler. Es würde in diesem Fall eine mehr oder weniger große Menge an Kenntnissen über singuläre Themen gelernt, die untereinander nicht durch die Ideen der Wissenschaft verknüpft sind. Die Zukunftsbedeutung solcher Singularitäten bleibt aber fragwürdig, selbst wenn man sich bei der Konstruktion von Curricula an den berühmten Schlüsselproblemen orientiert, von denen angenommen wird, dass sie der Menschheit noch lange erhalten bleiben. Niemand vermag heute zu sagen, was die Menschen in 20 Jahren umtreiben wird.

Das bedeutet aber, dass wir nicht darauf verzichten können, unsere Schülerinnen und Schüler mit der abstrakten Ideenwelt der Naturwissenschaften soweit vertraut zu machen, dass sie für die Deutung ihrer Lebenswelt flexibel nutzbar wird. Handlungs- und Praxisorientierung werden aus dieser Sicht dann problematisch, wenn sie nicht mehr als sinnvolle pädagogische Mittel verstanden werden, sondern zum dominanten Unterrichtsziel mutieren. Mir scheint diese Umkehr der Ziel-Mittel-Relation nicht sehr fern zu liegen, wenn z. B. das neue Integrationsfach an Baden-Württembergs Realschulen die Bezeichnung „Naturwissenschaftliches Arbeiten (NWA)“ trägt. Ungewollt könnte dies zu einer Abwertung nur systematisch zu gewinnender Erkenntnis führen.

Die konkreten Gegenstände und Handlungen, bei denen das Lernen seinen Ausgang nimmt bzw. nehmen sollte, haben vor dem Hintergrund fachlich-systematischen Lernens immer Beispielcharakter. Über die Beispiele hinaus ist das Wichtigste, was wir mit naturwissenschaftlichem Unterricht erreichen können, Kompetenzen aufzubauen, die *nicht* an ein konkretes Thema gebunden bleiben, die also abstrakt und universell genug sind, um mit ihnen beliebig viele Probleme, Sachverhalte oder Themen zu erschließen.

Wenn aber alles darauf ankommt, für unsere Schülerinnen und Schüler Wege aus der Erfahrungswelt in die Ideenwelt und aus dieser zurück in die Erfahrungswelt zu erschließen, dann muss auch die Lebenswelt unserer Schülerinnen und Schüler eine gewichtige Rolle im naturwissenschaftlichen Unterricht spielen. Für die Lösung dieser Aufgabe halte ich eine bestimmte Form der thematischen Orientierung fachunterrichtlicher Inhalte für ein geeignetes Mittel. Themenorientierter Unterricht ist dabei *keine* Alternative zum systematisch orientierten Unterricht, sondern ein Mittel, um systematisches Lernen im Fach fruchtbar zu machen.

4. Kontextorientierung als Mittel für systematisches Lernen

Für das didaktische Modell, mit dem wir die Verknüpfung von Lebenswelt und Wissenschaft zu erreichen versuchen, habe ich vor längerer Zeit „sinnstiftende Kontexte“ als charakteristische Struk-

turelemente vorgeschlagen [3]. Mit Kontexten sind Themen – oder thematische Aspektierungen eines fachlichen Teilgebietes – gemeint, mit denen jeweils ein wohl definierter Bereich der wissenschaftlichen Ideenwelt erschließbar ist. Diese Kontexte greifen – wie andere Themen auch – Inhalte oder Probleme aus der Lebenswelt auf, die für die Adressaten unseres Unterrichts subjektiv möglichst bedeutungsvoll sind. Im Gegensatz zur oben geschilderten Themenorientierung kommt es bei den Kontexten aber nicht in erster Linie auf die Möglichkeit des multiperspektivischen Zugriffs an. Das didaktische Potenzial eines Kontextes ist viel mehr daran zu messen, wie gut es mit ihm gelingt, ein Teilgebiet einer Naturwissenschaft sachlogisch konsistent zu erschließen. Eine mehr oder weniger große Zahl dieser Kontexte ermöglicht es dann, die für ein Unterrichtsfach als bildungsrelevant anerkannten Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten zu erarbeiten.

Der von der Ideenwelt der Wissenschaft her definierte Bausteincharakter der sinnstiftenden Kontexte liefert wesentliche Kriterien für ihre Auswahl und Strukturierung und unterscheidet sie dadurch von den multiperspektivischen Themen.

Die skizzierten Anforderungen an Kontexte sollen kurz mit bewährten Beispielen noch etwas verdeutlicht werden: Für die Erarbeitung der elementaren Thermodynamik haben wir z. B. mit dem Kontext Wetterkunde gute Erfahrungen gemacht. Die physikalischen Sachverhalte, die für ein Verständnis der meteorologischen Prozesse erforderlich sind, umfassen alle Gesetze, Begriffe und Vorstellungen, die schon immer als wesentliche Inhalte für die Wärmelehre in der Sekundarstufe I angesehen wurden. Hat man also die Wetterkunde behandelt, so sind damit auch die Inhalte der traditionellen Wärmelehre abgedeckt. Manche wetterkundlichen Inhalte sprengen zwar den Rahmen der traditionellen Wärmelehre. Auf der anderen Seite erscheinen im Licht alltagsrelevanter Wetterbeobachtungen manche tradierten Inhalte nicht mehr so bedeutungsvoll – z. B.: Für die Wetterkunde ist es wichtiger, die spezifische Wärmekapazität von Erde oder Sand zu bestimmen, als die von Kupfer- oder Bleischrot; die Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens mit der des Wassers zu vergleichen wird wichtiger als die unterschiedliche Wärmeleitung von Kupfer und Aluminium.

Im Unterschied zum multiperspektivischen Ansatz wird die Wetterkunde als Kontext unter physikalischen Gesichtspunkten strukturiert. Fächerübergreifende Aspekte – z. B. Wirkungen auf die Biosphäre – kommen notwendigerweise in den Blick, bleiben aber bezüglich ihres Einflusses auf den Unterrichtsaufbau randständig. Behandelt man das Wetter dagegen als multiperspektivisches Thema, kommt es gerade darauf an, auch biologische, chemische, klimawirtschafts- und sozialgeografische Aspekte u.

A. eingehend zu berücksichtigen. Ein fachsystematisch orientierter Aufbau wäre dann erschwert⁸

Ein weiteres Beispiel stellt der Kontext „Licht und Bild (Abbildungen)“ dar. Er dient in unseren Vorschlägen der Vermittlung der Grundlagen aus der Strahlenoptik und folgt der Leitlinie Schattenbilder → Lochkamerabilder → Linsenabbildung → Abbildende Apparate, wobei das letzte Teilthema auch die Bilderzeugung im Auge umfasst⁹. Wenn man jedoch z. B. das Auge als multiperspektivisches Thema wählt, dann ist seine abbildende Funktion nur einer von vielen Aspekten. Unter biologischen Gesichtspunkten wäre das Auge in den größeren systematischen Zusammenhang der sinnlichen Wahrnehmung einzuordnen. Bei einer multiperspektivischen Behandlung des Auges, der ja auch künstlerische, gesundheitserzieherische, ästhetische und andere Gesichtspunkte mit einschließen sollte, bliebe kaum Raum für die fachsystematischen Zusammenhänge.

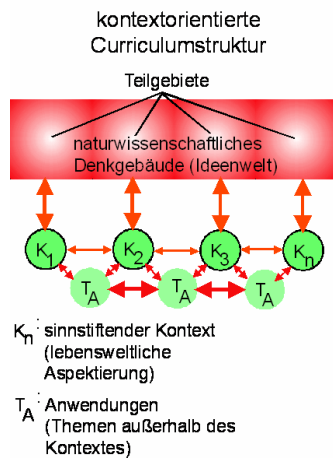
Die Überschreitung der Fachgrenzen ist in den Kontexten angelegt, erfolgt aber mit anderer Zielsetzung als im üblichen themenorientierten Unterricht. In unseren Vorschlägen spielt z. B. der Kontext „visuelle Wahrnehmung“ im Optikunterricht eine wichtige Rolle. Aber nicht um eine Brücke zum Biologieunterricht zu schlagen – das ist eher ein wünschenswerter Nebeneffekt –, sondern um die Physik besser zu verstehen. Eine Reihe physikalischer Inhalte (z. B. virtuelle Bilder) und die Physik als Ganzes können nämlich nicht oder nur missverstanden werden, wenn man die „Schnittstelle Mensch“ nicht mit ins Kalkül einbezieht [14].

Die Orientierung der Kontextauswahl an der Systematik eines Einzelfaches macht auf Grund der kontextimmanenten fächerübergreifenden Bezüge Kooperationen mit anderen Fächern nötig, manchmal unentbehrlich. Dies wurde bereits im Abschnitt zwei beschrieben. Es soll aber betont werden: *Die Einbeziehung von Aspekten anderer Fächer geschieht um die Physik besser zu verstehen, ist also physikdidaktisch begründet.* Fächerübergreifendes Unterrichten dient in diesem curricularen Modell deshalb dem besseren Verständnis des Einzelfaches.

Die Systematiken mehrerer Fächer lassen sich schwerlich durch die gleichen *sinnstiftenden Kontexte* abdecken. So kann man z. B. mit dem Kontext „Wetter und Klima“ den größten Teil der Thermodynamik abdecken. In der Biologie oder Chemie sind jedoch nur Einzelaspekte dieses Kontextes als interessante Anwendungen von Bedeutung. Die Systematiken dieser beiden Fächer lassen sich leichter über andere Kontexte erschließen. Im Unterschied zum multiperspektivischen Ansatz erfordert

⁸ Genauere Ausführungen zur Unterrichtseinheit Wetterkunde finden sich z. B. in [12]

⁹ s. dazu die Beiträge des Autors in [13]



eine systematische Orientierung für jede Disziplin eigene „Kontextkombinationen“.

Eine sinnvolle Kombination der Kontexte zu einem Gesamtcurriculum ist das größte didaktische Problem. Wir haben die Erfahrung gemacht, dass es – neben den bekannten pädagogischen Kriterien – zweckmäßig ist, fachsystematische Teilgebiete mit möglichst wenigen Kontexten abzudecken. Dies fördert und fordert die Konzentration auf eine Sache, erleichtert es, auch auf der systematischen Ebene Zusammenhänge herzustellen und wirkt so einer „Zerhäckselung“ der Ideenwelt entgegen. Andererseits gilt es, dabei die Balance zwischen den Forderungen nach lebensweltlicher Bedeutsamkeit und fachsystematischer Stringenz zu finden.

Ein Beispiel für eine relativ weit entwickelte und erprobte, teilweise auch bereits in Schulbücher transformierte Kontextkombination für den Physikunterricht zeigt die Tabelle. Die Kontextwahl und ihre Reihenfolge musste bei diesem Beispiel auch die Vorgaben (noch) aktueller Lehrpläne für den Physikunterricht in den Jahrgangsstufen 7–10 berücksichtigen. Auch deshalb ist die dargestellte Kontextkombination an den traditionellen Teilgebieten der Physik orientiert (Optik, Mechanik, Elektrik, Thermodynamik usw.). Die didaktische Strukturierung der Teilgebiete verändert sich allerdings nach Maßgabe der Kontexte erheblich gegenüber traditionellen Unterrichtsgängen.

Für verschiedene Lehrpläne und Schularten gibt es erprobte Alternativen. Bei dem Beispiel in der Tabelle wird phänomenologisch orientierter Unterricht in der Klassenstufe 5/6 vorausgesetzt. Erwähnt werden soll noch, dass die Kontextkomposition auch kumulatives Lernen in dem Sinne ermöglichen muss, dass erworbene Kompetenzen in einem Bereich als Werkzeug für die Erschließung neuer Sachverhalte genutzt und dadurch sukzessive erweitert werden können. Dies geschieht unter anderem durch die Anwendung des erworbenen systematischen Wissens auf Themen außerhalb des Kontextes, wie dies oben am Beispiel der Analogie des Energietransports im atmosphärischen Wasserkreislauf und im Kühlschrank gezeigt wurde. Auf diesem Weg wird dann die Flexibilität erworbener Kompetenzen zunehmend erhöht.

Die tabellarische Übersicht erstreckt sich nicht über alle Teilgebiete des traditionellen Physikunterrichts. Sie erhebt auch nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, wenngleich die Erfahrung mit der Umsetzung der aufgeführten Themen zeigt, dass bereits mit diesen Kontexten der größte Teil der gegenwärtig in der Sekundarstufe I zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit beansprucht wird. Die curriculare Arbeit an den Kontexten ist ständig im Fluss und wohl prinzipiell nicht abschließbar. Eine gewisse Unvollständigkeit hat auch ganz praktische Gründe: Ein Set von Kontexten bezieht sich auf den Unterricht mehrerer Schuljahre. An der Erprobung arbeiten wir deshalb meistens fünf bis zehn Jahre, denn sie führt zu Revisionen und neuen Erprobungen, bis schließlich ein praktikabler Unterrichtsvorschlag daraus entsteht. Vor diesem Erfahrungshintergrund erscheinen manche Erwartungen bezüglich der raschen Reformierbarkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts illusorisch. Wer den Schulen die Freiheit einräumt, eigene Curricula zu entwickeln, die dem traditionellen Unterricht überlegen sind, der sollte auch eine gehörige Portion Geduld mitbringen. Die angestrebten regelmäßigen Evaluationen müssen so gestaltet sein, dass sie langfristige Entwicklungen befruchten und nicht behindern – eine Aufgabe, der die aktuell offenkundige Ungeduld unserer Bildungspolitiker entgegensteht.

Das wichtigste Ergebnis der theoretischen Überle-

physikalische Teilgebiete	sinnstiftende Kontexte
Optik (ohne Farbenlehre)	<ul style="list-style-type: none"> • Licht und Bild (Abbildungen) • visuelle Wahrnehmung (Wechselwirkungen zwischen Objektwelt und Gehirn)
Energie und Mechanik I	<ul style="list-style-type: none"> • Die physischen Grenzen des Menschen und wie er sie überwindet
Elektrik	<ul style="list-style-type: none"> • Energieübertragung durch elektrische Anlagen
Optik: Farbenlehre	<ul style="list-style-type: none"> • Warum und wie wir Farben sehen
Thermodynamik (Wärmelehre)	<ul style="list-style-type: none"> • Wetterkunde
Mechanik II (Dynamik)	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilität und Energie
...	...

gungen dieses Beitrages, dass für naturwissenschaftliches Lehren und Lernen die Orientierung an den Systematiken der Disziplinen eine unaufgebbare Forderung ist, deckt sich mit den empirischen Befunden der aktuellen Bildungsstudien. Prenzel fasst diese folgendermaßen zusammen: *Die vorliegende empirische Evidenz lässt keinen Qualitätsgewinn in Deutschland durch einen integrierten Naturwissenschaftsunterricht erwarten. Der Naturwissenschaftsunterricht hierzulande folgt einer vernünftigen curricularen und didaktischen Tradition, die konsequent weiter entwickelt werden muss* [15, S. 23]. Die Publikation, der dieses Zitat entnommen ist verfolgt im übrigen einen Ansatz, der mit den Schlussfolgerungen dieses Artikels konvergiert: „Fächerübergreifenden Fachunterricht“!

Literaturhinweise

- [1] Naturwissenschaft - Lehrplan für die Jahrgangsstufen 5 und 6, Nordrhein-Westfalen. Arbeitsfassung: 29. März 2004. Download: <http://www.learnline.nrw.de/nav/sekundarstufen/naturwissenschaften>
- [2] Labudde, Peter: Fächer übergreifender Unterricht in und mit Physik: eine zu wenig genutzte Chance. In: PhyDid 1/2 (2003) S.48-66
- [3] Muckenfuß, Heinz: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Cornelsen: Berlin 1995
- [4] Descartes, René: Abhandlung über die Methode des richtigen Vernunftgebrauchs. Stuttgart (Reclam 3767) 1961
- [5] Litt, Theodor: Naturwissenschaft und Menschenbildung. Heidelberg, 1952
- [6] Wagenschein, Martin: Die Pädagogische Dimension der Physik, Braunschweig 1962
- [7] Schwanitz, Dietrich: Bildung – Alles was man wissen muss. Frankfurt a. M.: 1999
- [8] Snow, Charles Percy: Die zwei Kulturen. Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. Stuttgart 1967
- [9] Galileo Galilei: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische. Leipzig 1891
- [10] v. Weizsäcker, C. F. : Die Tragweite der Wissenschaft. Erster Band. Schöpfung und Weltentstehung. Die Geschichte zweier Begriffe. Stuttgart: Klett 1964
- [11] Jung, Walter: Erhebungen zu Schülervorstellungen in der Optik (Sekundarstufe I). In: physica didactica 8/1981, Heft 3, S. 137–153)
- [12] Muckenfuß, Heinz: Zur Didaktik einer physikalischen Wetterkunde. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 53. Jahrgang, Heft 7 (Oktober 2004), S. 26–30
- [13] Themenheft Optik im Sekundarbereich I. Praxis der Naturwissenschaften. Physik. 45/1996 Heft 8
- [14] Muckenfuß, Heinz: Zur Didaktik virtueller Bilder. In [13, S. 9–14]
- [15] Schaefer, Gerhard (Hrsg.): Allgemeinbildung durch Naturwissenschaften. Denkschrift der GDNÄ-Bildungskommission. Köln (Aulis): 2002