

Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel (IPN)

Peter Häußler, Gunter Lind

BLK-Programmförderung "Steigerung der Effizienz des
mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts"

Erläuterungen zu

Modul 1

mit Beispielen für den Physikunterricht

Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht

Stand Juli 1998

<u>1. VORBEMERKUNGEN</u>	2
<u>2. WAS IST UNTER DER "WEITERENTWICKLUNG DER AUFGABENKULTUR" ZU VERSTEHEN?</u>	3
<u>3. WO UND MIT WELCHEM ZIEL KÖNNEN AUFGABEN VERWENDET WERDEN?</u>	6
3.1 WIE KÖNNEN AUFGABEN IN DEN UNTERRICHT INTEGRIERT WERDEN?	6
3.2 GEHT DIE VERSTÄRKTE INTEGRATION VON AUFGABEN IN DEN UNTERRICHT NICHT ZU LASTEN WICHTIGER ZIELE NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHTS?	8
<u>4. WIE KÖNNEN AUFGABEN GESTELLT WERDEN, DIE UNTERSCHIEDLICHE LÖSUNGSWEGE ERMÖGLICHEN ?</u>	13
<u>5. WIE KÖNNEN AUFGABEN MIT VARIIERENDEN KONTEXTEN ENTWICKELT WERDEN?</u>	21
<u>6. WIE KÖNNEN AUFGABEN ENTWICKELT WERDEN, IN DENEN LÄNGER ZURÜCKLIEGENDER UNTERRICHTSSTOFF WIEDERHOLT WIRD?</u>	23
<u>7. IN WELCHEN BEREICHEN DER UNTERRICHTSFORSCHUNG HAT ES IN LETZTER ZEIT INTERESSANTE ENTWICKLUNGEN GEGEBEN?</u>	29
7.1 WISSENSERWERB ALS LERNEN AUS BEISPIELEN	29
7.2 DAS SELBSTERKLÄREN	32
7.3 AUS FEHLERN LERNEN	33
7.4 INTERESSENORIENTIERUNG UND MOTIVATION	35
7.5 PORTFOLIOS	37
<u>8. WOMIT KÖNNTEN DIE ARBEITSGRUPPEN IN DEN SCHULEN BEGINNEN?</u>	40

1. Vorbemerkungen

Die Autoren dieser Erläuterung sind Mitarbeiter des Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), also jenes Instituts, dem die Koordinierung der BLK-Programmförderung "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" übertragen worden ist.

Das IPN ist ein Forschungsinstitut. Obwohl viele von uns ehemalige Lehrer oder Lehrerinnen sind und wir häufig Unterricht beobachten, liegt der Schwerpunkt unserer Kompetenz auf der Erforschung von Unterricht und nicht auf der Unterrichtspraxis. Diese klare Kompetenztrennung kann Vor- und Nachteile für die Kooperation mit den Arbeitsgruppen an den am Programm teilnehmenden Pilot- und Netzwerkschulen haben. Nachteile können z.B. darin liegen, daß gegenseitige Vorurteile eine Zusammenarbeit erschweren. (Die wollen uns sagen, was am Unterricht verändert werden könnte, haben aber selbst keine Ahnung, was Unterrichten heißt! - Aber auch: Die wursteln so vor sich hin, anstatt daß sie sich mal über neue Unterrichtskonzepte informieren). Vorteile können darin liegen, daß man, gerade weil die Kompetenzen so verschieden sind, voneinander lernen kann. Wir könnten lernen, wie ein Konzept an die Bedürfnisse einer Klasse angepaßt werden muß, um praktikabel zu sein, und die Arbeitsgruppen an den Schulen könnten sich von uns darüber informieren lassen, welche interessanten Entwicklungen es in letzter Zeit gegeben hat, die uns im Sinne einer Weiterentwicklung der "Aufgabekultur" weiterbringen.

Die folgenden Ausführungen sollen Anregungen für einen Dialog zwischen den Lehrerinnen und Lehrern der teilnehmenden Schulen und dem IPN sein.

Wir beginnen in Kapitel 2 mit einer kurzen Beschreibung von Modul 1 auf der Grundlage der Expertise "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" und legen dar, warum wir diese Vorgabe für den Fall des naturwissenschaftlichen Unterrichts für ergänzungsbedürftig halten. (Der ungekürzte Text zu Modul 1 ist im Anhang wiedergegeben.)

In Kapitel 3 gehen wir auf Möglichkeiten ein, Aufgaben verstärkt in den Unterricht zu integrieren und diskutieren diese Schwerpunktverlagerung im Lichte allgemeiner Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts.

In den Kapiteln 4 bis 6 nehmen wir Bezug auf die drei in der Expertise angesprochenen Aspekte, die Aufgabekultur weiterzuentwickeln und geben jeweils einige erläuternde Beispiele für den Physikunterricht.

In verschiedenen Bereichen der Unterrichtsforschung, z.B. in der Expertise- und Interessenforschung hat es Entwicklungen gegeben, die uns im Zusammenhang mit Modul 1 beachtenswert scheinen (Kapitel 7).

In Kapitel 8 schließlich machen wir Vorschläge, womit die Arbeitsgruppen, die sich mit einer Weiterentwicklung ihres Unterrichts im Sinne von Modul 1 beschäftigen, beginnen könnten.

2. Was ist unter der "Weiterentwicklung der Aufgabenkultur" zu verstehen?

Die Expertise geht davon aus, daß Aufgaben für die Motivierung des Lernens und für ein verständnisvolles Erschließen, Üben und Konsolidieren von Wissen eine zentrale Rolle spielen. Dementsprechend sieht sie in der Weiterentwicklung von Aufgabenstellungen und der Form ihrer Bearbeitung ein beträchtliches Potential zur Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Unter "Aufgaben" verstehen wir im folgenden wohldefinierte Probleme, die (mindestens) eine Lösung haben und deren Bearbeitung in relativ kurzer Zeit möglich ist. Aufgaben im Physikunterricht sind meist verbal formuliert und erfordern zu ihrer Lösung eine schriftliche Ausarbeitung. Im folgenden ist durchweg von diesem, im Unterricht dominierenden Aufgabentyp die Rede. Damit sollen keineswegs andere Aufgabentypen ausgeschlossen oder abgewertet werden. So haben etwa die meisten Schülerexperimente der Art, wie sie bei Schülerübungen in gleicher Front oder beim Schülerpraktikum verwendet werden, Aufgabencharakter. Allerdings haben Sie meist eine andere unterrichtliche Funktion als die hier behandelten Aufgaben: sie zielen nicht in erster Linie auf die Beherrschung und Anwendung physikalischer Begriffe und Gesetze, sondern auf das Einüben physikalischer Arbeitsweisen. Sie sollen deshalb im Zusammenhang mit Modul 2 (Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen im Unterricht) behandelt werden. Dort werden auch solche Probleme angesprochen werden, die aufgrund ihrer offenen Fragestellung und ihrer Komplexität nicht mehr als Aufgaben bezeichnet werden können, sondern die eher den Charakter von eigenständigen Forschungsarbeiten oder Projekten haben. Auch bei diesen spielt die Reflexion über das methodische Vorgehen eine zentrale Rolle.

In der Expertise werden folgende Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung der Aufgabenkultur genannt, die sich aus einer Kritik an der gegenwärtigen Unterrichtspraxis ergeben:

- Die Unterrichtsführung sei bisher überwiegend auf die Erarbeitung *einer* Lösung, die Beherrschung *eines* Algorithmus oder die Automatisierung *einer* Routine angelegt. Um zu einer größeren methodischen Variabilität zu kommen, sollten Aufgabentypen entwickelt und erprobt werden, die mehrere Vorgehensweisen und unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten zulassen oder geradezu anbieten.
- Die bisher gängige Übungspraxis sollte überdacht werden. Abwechslungsreiche Anwendungsaufgaben in variierenden Kontexten könnten dem Üben Reiz und Bedeutung geben und zur Konsolidierung des Wissens beitragen. Zusätzliche Strukturveränderungen in den Aufgaben würden anspruchsvolle Denk- und Übertragungsprobleme schaffen, die Wissen flexibilisieren.
- Bislang sei es noch nicht befriedigend gelungen, systematisches Wiederholen auch länger zurückliegender Stoffe so in den Unterricht zu integrieren, daß es sich harmonisch in die Erarbeitung, Konsolidierung und Übung des neuen Stoffs einfügt. Ursachen seien u.a. die

relativ geringe Vernetztheit der Themen und Stoffe untereinander und Leistungsnachweise, in denen im wesentlichen nur der jüngst durchgenommene Stoff geprüft wird.

Diese Aspekte der Weiterentwicklung der Aufgabenkultur sind in erster Linie mit Blick auf den Mathematikunterricht formuliert worden. Mit Rücksicht auf die Besonderheiten des naturwissenschaftlichen Unterrichts schlagen wir vor, einen weiteren Punkt voranzustellen. Ein zumindest im Physik- und Chemieunterricht häufig anzutreffendes Szenario betont die Einführung neuen Stoffes durch Demonstrationsexperimente, die im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch erklärt, entfaltet und in den Zusammenhang der wissenschaftlichen Systematik gestellt werden. Die Stellung des Lösens von Aufgaben ist dabei im wörtlichen Sinne randständig. Es dient der Festigung des Gelernten im Anschluß an den "eigentlichen" Unterricht, wird selten geübt und manchmal sogar den Hausaufgaben zugewiesen. Dem liegt wohl immer noch die bereits von Wagenschein gezeigte Auffassung zugrunde, das Einordnen des Wissens in die Systematik des Faches impliziere ein "Verstehen", das die anschließende "Anwendung" zur leichten Übung werden lasse. Demgegenüber ist die Binsenweisheit festzuhalten: was man im Unterricht erreichen will, das muß man üben. Und wenn man sich entschlossen hat, die Effizienz des naturwissenschaftlichen Unterrichts durch die Anwendung des Wissens in einfachen Aufgaben zu bestimmen (wie TIMSS das tut, was man mit guten Gründen aber auch anders sehen kann), dann muß es zunächst darum gehen, das Aufgabenlösen aus seiner randständigen Position stärker in die Mitte des Unterrichts zu rücken.

Erst wenn Aufgaben in diesem Sinne eine größere Bedeutung im naturwissenschaftlichen Unterricht erlangen, lohnt es sich unseres Erachtens, Modul 1 in der in der Expertise angelegten Weise zu bearbeiten.

Zusammenfassung von Kapitel 2

Aspekte der Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im naturwissenschaftlichen Unterricht

- (1) Eine verbesserte unterrichtliche Einbettung von Aufgaben, um sie aus ihrer bisher eher randständigen Position mehr ins Zentrum des Unterrichts zu rücken.
- (2) Die Entwicklung und Erprobung von Aufgaben, die mehrere Zugangsweisen und Lösungswege zulassen und zu einer Flexibilisierung des Wissens beitragen.
- (3) Die Entwicklung und Erprobung von abwechslungsreichen Anwendungsaufgaben in variierenden Kontexten zur Konsolidierung des Wissens.
- (4) Die Entwicklung und Erprobung von Aufgaben, in denen länger zurückliegender Unterrichtsstoff systematisch wiederholt und mit dem neuen Stoff verknüpft wird.

Wie dieses Vier-Punkte-Programm weiter entfaltet werden kann, soll uns in den folgenden Kapiteln näher beschäftigen. Dabei geht es also um die Frage ...

- wie die Einbettung von Aufgaben in den Unterricht verbessert werden kann (Kapitel 3),
- wie Aufgaben mit unterschiedlichen Lösungswegen entwickelt werden können (Kapitel 4),
- wie Aufgaben in unterschiedlichen Kontexten formuliert werden können (Kapitel 5) und
- wie in Aufgaben länger zurückliegender Stoff wiederholt und mit dem neuen Unterrichtsstoff verknüpft werden kann (Kapitel 6).

3. Wo und mit welchem Ziel können Aufgaben verwendet werden?

3.1 Wie können Aufgaben in den Unterricht integriert werden?

Im Prinzip scheint es uns möglich, daß Aufgaben in jeder Unterrichtsphase, wenn auch in unterschiedlicher Funktion, eine Rolle spielen können.

In der **Einstiegsphase** hätten sie die Funktion, die Schülerinnen und Schüler mit einer für sie interessanten Fragestellung zu konfrontieren. Besonders geeignet erscheinen uns dazu Aufgaben aus dem unmittelbaren Erfahrungs- und Lebensbereich der Schülerinnen und Schüler. So könnte z.B. eine Zeitungsnotiz über einen Verkehrsunfall zu der Frage führen, wie die Polizei in der Lage war, aus den Bremsspuren eines daran beteiligten Fahrzeugs auf dessen überhöhte Geschwindigkeit zu schließen. Eine entsprechende Aufgabe wäre nicht lösbar, bevor man sich nicht mit gewissen Grundprinzipien der Mechanik auseinandergesetzt hat. Sie schafft somit ein Lernmotiv.

In der Phase der **Erarbeitung** neuen Stoffes hätten Aufgaben die Funktion, das Verständnis eines neuen Prinzips, eines Begriffs oder einer Regel in einer Weise zu unterstützen, die über das Memorieren oder darüber Reden können weit hinausgeht. Eine Aufgabe zwingt geradezu zum richtigen Gebrauch des neuen Wissens. Selbst wenn die Lösung nicht auf Anhieb gelingt, der neue Stoff also noch nicht zu anwendungsfähigem, lebendigem Wissen geworden ist, geben die dabei gemachten Fehler Hinweise, wo die Schwierigkeiten liegen bzw. wie sie überwunden werden könnten. Besonders wichtig erscheinen Aufgaben, um den Anwendungsbereich eines neu erarbeiteten Gesetzes zu umreißen. Zu entscheiden, wo der Energiesatz angewendet werden darf und wo nicht, lernt man am besten aus Beispielaufgaben. Sie helfen auch, das abstrakte Lehrbuchwissen mit vielfältigen Anwendungssituationen zu verbinden, Situationen, in denen das neue Wissen mit anderen, bereits bekannten Wissens-elementen verknüpft ist. So kann Wissen miteinander vernetzt werden, eine Aufgabe, die in einem linear aufgebauten Lehrgang oft vernachlässigt wird.

Wie die Kluft zwischen den im Prinzip vorhandenen (aber noch toten) Wissensbausteinen und deren flexibler Anwendung beim Lösen eines entsprechenden Problems verringert werden kann, soll uns in Kapitel 7.1 beschäftigen.

Eine ähnliche Funktion haben Aufgaben natürlich auch in Übungs- und Wiederholungsphasen, die in einem aufgabenbezogenen Unterricht eng mit der Erarbeitung des neuen Stoffes verzahnt werden sollten. Während der **Übungsphasen** könnten Aufgaben, die in unterschiedliche Kontexte eingebettet sind, für zusätzliche Motivation sorgen und den Transfer auf Anwendungen erleichtern, die außerhalb des vorher im Unterricht Erarbeiteten liegen. Konkrete Hinweise, welche Kontexte dazu besonders geeignet sind, liefern u.a. Interessenstudien zu naturwissenschaftsbezogenen Sachverhalten (s. Kapitel 7.4).

In den **Wiederholungsphasen** hätten Aufgaben hauptsächlich die Funktion, auch länger zurückliegende Inhalte zu aktualisieren und im Idealfall mit dem zuletzt Gelernten zu verknüpfen. Nur so können Schülerinnen und Schüler spüren, daß sie in ihrer auf ein bestimmtes Fach bezogenen Kompetenz Fortschritte machen. Die Querverbindungen zu Modul 5 (Zuwachs von Kompetenz erfahrbar machen: Kumulatives Lernen) sind offensichtlich.

Zusätzliche Funktionen kommen Aufgaben zu, wenn sie in Verbindung mit bestimmten Sozialformen des Unterrichts gestellt werden. In **Individualphasen** könnten sie bei einer geeigneten Anpassung an je individuelle Fähigkeiten dafür sorgen, daß weniger fortgeschrittene Schülerinnen und Schüler nicht abgehängt und erfolgreichere aufs Neue herausgefordert werden. Insbesondere mit dem Instrument der mehr oder weniger detailliert ausgearbeiteten Lösungsbeispiele (s. Kapitel 7.1) könnte man die Ansprüche, die eine Aufgabe stellt, relativ einfach und genau dosieren. In **Gruppenunterrichtsphasen** könnte man zusätzlich noch Elemente wechselseitigen Helfens (tutoring) und Lehrens (teach back) hinzunehmen.

Aufgaben haben natürlich schon immer auch im Rahmen von **Hausaufgaben** eine Rolle gespielt. Der Glaube, daß Hausaufgaben für den Lernfortschritt förderlich, wenn nicht sogar unabdingbar sind, ist bei Eltern, Schülern und Lehrkräften sehr weit verbreitet, und das, obwohl man seit über dreißig Jahren aus zahlreichen Untersuchungen weiß, daß Hausaufgaben in der Art, wie sie gestellt, bearbeitet und von der Lehrkraft (eher nicht) kontrolliert werden, einen verschwindend geringen Einfluß auf den Lernerfolg haben. Immerhin weiß man aus diesen Untersuchungen auch, wie man die Effektivität von Hausaufgaben verbessern könnte. Folgende Faktoren haben sich als erklärungsmächtig erwiesen:

Hausaufgaben sollen

- nicht ad hoc gestellt werden (etwa nach dem Klingeln), sondern sollen Teil der Unterrichtsplanung sein und eine sinnvolle Funktion im Lernprozeß haben
- an die individuellen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler angepaßt sein
- so gestellt werden, daß sie für die Lernenden eine sinnvolle und befriedigende Beschäftigung sind
- kontrolliert und mit einer individuellen Rückmeldung an die Lernenden zurückgegeben werden.

Die strikte Einhaltung solcher Empfehlungen mag im Schulalltag geradezu utopisch anmuten. Trotzdem wäre es eine Überlegung wert, ob man mit Hilfe von in den Schulnetzen kollektiv erstellten Aufgabenpools und Beispiellösungen die Hausaufgaben effektiver gestalten könnte.

Solche Aufgabenpools wären natürlich auch zur Durchführung von **Leistungsnachweisen** (Tests, Klassenarbeiten, Prüfungen) und zur Kontrolle der **Lernzielerreichung** geeignet.

Die bisher genannten Möglichkeiten, Aufgaben in den Unterricht zu integrieren, setzen an einer bestimmten Unterrichtsphase an. Eine **radikalere Möglichkeit** bestünde darin, die Dominanz des fragend-entwickelnden Unterrichts bei der Erarbeitung neuen Stoffes generell

abzubauen und anstatt dessen auch schon bei der Erarbeitung neuen Stoffes das Lösen von Aufgaben vorzusehen.

Das ließe sich zum Beispiel dadurch erreichen, daß innerhalb eines neu zu erarbeitenden Wissensbereichs nur die grundlegenden Begriffe und Gesetze, die beim Lösen von Aufgaben immer wieder benötigt werden, in fragend-entwickelnder Form eingeführt werden. Das Schwergewicht sollte dabei auf Veranschaulichung und Verwendung liegen, nicht auf Beweis oder Einordnung in die wissenschaftliche Systematik. Zusammenhänge erschließen sich besser beim Problemlösen und die wissenschaftliche Systematik steht höchstens am Schluß.

Neben dieses grundlegende Wissen tritt im allgemeinen innerhalb jeden größeren Wissensgebiets eine Vielzahl von Wissens-elementen mit beschränkterem Anwendungsbereich. Deren Einführung könnte mit dem Lösen von Aufgaben verbunden werden. Sie werden dann erarbeitet oder nachgeschlagen, wenn eine Aufgabe dies erfordert.

Man kann sich also eine Aufteilung des in einem bestimmten Gebiet der Physik zu vermittelnden Stoffes in Aufgabengruppen vorstellen. Ausgehend von einer zentralen Aufgabengruppe zur Übung der grundlegenden Begriffe und Gesetze wird das Gebiet mit Hilfe der anderen Aufgabengruppen nach und nach sternförmig erschlossen, wobei die grundlegenden Begriffe und Gesetze in jeder Aufgabengruppe weiter geübt werden. Eine solche Unterrichtsorganisation würde das systematische Wiederholen der Grundbegriffe sicherstellen und sollte sich positiv auf eine vielfältige Vernetzung dieses Wissens auswirken.

3.2 Geht die verstärkte Integration von Aufgaben in den Unterricht nicht zu Lasten wichtiger Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts?

Wenn das Lösen von Aufgaben einen breiteren Raum als bisher im Unterricht einnehmen soll, dann könnte das natürlich darauf hinauslaufen, daß bestimmte Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts vernachlässigt werden müßten. Geht man von der Frage aus, welche Ziele Schule ganz allgemein anstreben soll, dann findet man in der einschlägigen Literatur (z.B. Heymann, H.W. (1990). Überlegungen zu einem zeitgemäßen Allgemeinbildungskonzept. In: H.W. Heymann, W. van Lyck (Hg.): Allgemeinbildung und öffentliche Schule: Klärungsversuche. Bielefeld: Institut für Didaktik der Mathematik, Materialien und Studienbriefe, Bd. 37, 21-26.) etwa die folgenden Bereiche von Allgemeinbildung:

- Lebensvorbereitung
- Stiftung kultureller Kohärenz
- Weltorientierung
- Anleitung zum kritischen Vernunftgebrauch
- Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft
- Einführung in Verständigung und Kooperation
- Stärkung des Schüler-Ichs

Ausgehend von diesen Bereichen wurden unlängst in einem Aufsatz des Organs des Vereins zur Förderung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts folgende allgemeinen Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts formuliert (Schecker, D., Bethge, T., Breuer, E., v. Dwingelo-Lütten, R., Graf, H.-U., Gropengießer, I., Langensiepen, B. (1996). Naturwissenschaftlicher Unterricht im Kontext allgemeiner Bildung. MNU 49/8, 488-492):

- Persönlichkeitsentwicklung
- Sicherstellung gesellschaftlicher Kontinuität
- Sinnstiftung und Aspekte des Lebensbezugs
- Studierfähigkeit
- Wissenschaftspropädeutik
- Spezialisierung und ihre Transzendierung
- Umgang mit der natürlichen und technischen Umwelt
- Emanzipatorische Bedeutung der Naturwissenschaften
- Erkenntnismethode der Naturwissenschaften
- Naturwissenschaftliche Konzepte als Deutungsmuster
- Vermittlung und Kommunikation zwischen den Fachkulturen
- Herausbildung von Selbst- und Weltverständnis
- Kommunikation zwischen Experten und Laien

Solche Zielvorstellungen haben in den Lehrplänen der naturwissenschaftlichen Fächer ihren Niederschlag gefunden. Bei aller Verschiedenheit im Detail läßt sich eine bestimmte Grundmelodie ausmachen. Ohne Ausnahme kommt in den neuen Lehrplänen deutlicher als vor einem Jahrzehnt zum Ausdruck, daß es im Unterricht neben dem Erarbeiten fachbezogenen Wissens und von Methoden, auch darum geht, etwas *über* die Naturwissenschaften zu vermitteln. Es geht zum Beispiel um die Frage, welche Rolle sie in einer modernen Industriegesellschaft spielen oder darum, wie sich Technologien umweltverträglich und menschengerecht gestalten lassen. Es geht weiterhin um die Einübung sozialer Kompetenz.

Eine zweite Tendenz, die sich in den Lehrplänen der letzten Zeit deutlich widerspiegelt, ist die Forderung nach der Behandlung fachübergreifender Themen und nach fächerverbindendem Unterricht.

Auf diesem Hintergrund ist zu fragen, ob die bisher skizzierte "Weiterentwicklung der Aufgabekultur" mit diesen Zielen verträglich ist.

Wie steht es z.B. in Anlehnung an die oben zitierten Ziele um

- (1) den Aufbau eines systematisch geordneten Wissensbestands
- (2) die Einübung in naturwissenschaftliche Denkweisen und grundlegende Deutungsmuster
- (3) die Fähigkeit, erlangtes Wissen auf neue, auch fachübergreifende Situationen zu übertragen
- (4) das Erkennen der engen Verflechtung von Naturwissenschaft und Lebenswelt

- (5) die kritische Reflexion technologischer Innovationen
- (6) die Bereitschaft, gewonnene Erkenntnisse und Einsichten in verantwortungsbewußtes Handeln umzusetzen?

Und wie steht es mit überfachlichen Zielen wie

- (7) die Bereitschaft und Fähigkeit zur Verständigung und Kooperation
- (8) die Stärkung der Eigenverantwortung für das Lernen oder
- (9) die Förderung des Selbstvertrauens, etwas leisten zu können?

Bleibt für die Erreichung solcher Ziele nicht notwendigerweise weniger Zeit? Die Antwort hängt davon ab, wie gut es gelingt, eine Aufgabekultur zu entwickeln, in der diese Ziele überhaupt in den Blick geraten.

Am leichtesten ist dies bei den Zielen (1) bis (3) einzusehen. Eine Aufgabenzusammenstellung für jedes neue Gebiet, in der die wesentlichen Begriffe, Gesetze und Prinzipien abgedeckt sind, und Aufgaben, in denen diese in variierenden Kontexten geübt, in angemessenen Zeiträumen wiederholt und mit früher Gelerntem verknüpft werden, schaffen eine gute Basis für den Aufbau eines kohärenten, auf Anwendbarkeit und Transfer angelegten Wissensbestands.

Schon schwieriger, weil ungewohnter, dürfte es bei den Zielen (4) bis (6) werden. Dazu brauchte man Aufgaben einer ganz anderen Art. Hier ginge es mehr um das kreative Entwerfen von Szenarien, um das kenntnisreiche Erörtern des Für und Wider einer Technologie, um das Argumentieren in einer Dilemma-Situation, um das Durchschauen eines Arguments, das zur Ablenkung von den wichtigen Fragen vorgebracht wird, um das Aufweisen von Handlungsalternativen oder um das Abwägen unterschiedlicher Positionen oder Güter. Aufgaben dieser Art sind kaum auf dem Markt. Das ist natürlich kein Grund, sie auszublenden. Im Gegenteil: Wenn es nicht gelingt, auch hier intellektuell anspruchsvolle Problemstellungen zu formulieren, dann läuft der Unterricht, der diese Ziele verfolgt, Gefahr, unverbindlich zu bleiben.

Zwei Beispiele sollen diesen anderen Typ von Aufgaben erläutern:

Beispiel 1

Die Sonne ist eine unerschöpfliche Energiequelle. Sie strahlt jeden Tag so viel Energie auf die Erde, daß man damit im Prinzip ein Vielfaches des Energiebedarfs der Weltbevölkerung decken könnte.

Mache folgende Abschätzungen:

Wie groß ist die auf die Erde insgesamt gestrahlte Leistung?

Welcher Teil davon würde genügen, um den Welt-Energiebedarf zu decken?

Welche Fläche müßte in Deutschland mit Solarzellen bedeckt werden, um den Strombedarf in Deutschland zu decken?

Welcher Anteil an der Gesamtfläche Deutschlands wäre das?

Diskutiere folgende Fragen:

Was sind die Vor- und Nachteile der Sonnenenergie?

Was steht einer stärkeren Nutzung der Sonnenenergie (in Deutschland) hauptsächlich entgegen?

Wie könnte man die derzeitigen Schwierigkeiten überwinden?

Beispiel 2

Daß das Tragen von Fahrradhelmen Leben retten oder Unfallfolgen mildern kann, ist unbestritten. Angenommen, in eurer Schule würde eine Aktionswoche "Verkehrssicherheit" gestartet und eure Klasse würde ein Poster beisteuern, das für das Tragen von Fahrradhelmen wirbt.

- Welche technischen, physikalischen, ökonomischen, statistischen Informationen kämen dafür im Prinzip in Frage?
- Welche dieser Informationen würdest du für das Poster vorschlagen und wie willst du sie beschaffen?
- Wie würde das Poster konkret aussehen?

Die Ziele (7) bis (9) sind weniger durch einen bestimmten Aufgabentyp zu erreichen als vielmehr durch die Art, wie die Beschäftigung mit Aufgaben im Unterricht gehandhabt wird. Ein kooperatives Moment könnte zum Beispiel dadurch gefördert werden, daß sich Schülergruppen gegenseitig bei der Lösung von Aufgaben helfen. Das selbständige Durcharbeiten von Lösungsbeispielen (s. Kapitel 7.1) dürfte sich günstig darauf auswirken, daß der Lernerfolg als eigenverantwortlich und als ein das Selbstvertrauen stärkender Kompetenzzuwachs erlebt werden kann.

Wenn hier die Vielfalt von Zielen betont wird, die mit dem Lösen auf Aufgaben unterschiedlicher Art in unterschiedlichen Situationen angestrebt werden können, so sollte doch klar sein, daß in anderer Weise die Entscheidung für einen aufgabenbezogenen Unterricht auch eine Entscheidung über Ziele bedeutet. Mit Aufgaben will man Problemlösungskompetenz vermitteln, und sei es auch nur für Probleme mit geringen Transferanforderungen. Das heißt, daß man sich nicht mit einem bloß interpretativen Wissen, sei es in, sei es über Naturwissenschaften zufriedengeben will. Die Vermittlung von Problemlösungskompetenz erfordert aber (wie jede Vermittlung von Handlungswissen) Übung und ist zeitintensiv. Schon Grimsehl und Poske haben Anfang des Jahrhunderts deshalb eine Beschränkung des Unterrichtsstoffs gefordert, um eine "Problemphysik" betreiben zu können. Die Entscheidung für einen aufga-

benbezogenen Unterricht ist eine Entscheidung für Gründlichkeit. Und unter diesem Gesichtspunkt sollte man auch die Vielfalt der möglichen und erstrebenswerten Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts einer kritischen Durchsicht unterziehen. Es mag sein, daß unter gegebenen Randbedingungen der Versuch, sie alle gleichzeitig anzustreben, dazu führt, daß keines von ihnen tatsächlich erreicht wird.

Zusammenfassung von Kapitel 3

Im Lichte allgemeiner Ziele bedeutet die Weiterentwicklung der Aufgabenkultur:

- Die Weiterentwicklung von Aufgaben des klassischen, auf die Begriffe, Regeln und Gesetze der Disziplin bezogenen Typs in Richtung auf eine reflektiertere Praxis des Übens, Übertragens und Wiederholens (**Typ 1**)
- Die kreative Erweiterung auf Aufgaben, die etwas mit der Bedeutung der Naturwissenschaften in unserer Zeit und mit den Chancen und Risiken ihrer Nutzung zu tun haben (**Typ 2**) und
- Die Förderung von unterrichtsmethodischen Maßnahmen, die bei der Beschäftigung mit Aufgaben Kooperation, Eigenverantwortung und Selbstvertrauen fördern.

Im Prinzip können Aufgaben in jeder Unterrichtsphase mit jeweils unterschiedlicher Funktion in den Unterricht integriert werden:

Unterrichtsphase	Funktion der Aufgaben
Einstiegsphase	Motivierung, sich die Mittel zu erarbeiten, die zum Lösen erforderlich sind
Erarbeitungsphase	Unterstützung des Lernprozesses durch Umwandlung einzelner Wissensbausteine in anwendungsfähiges, lebendiges Wissen
Übungsphase	Festigen des Gelernten und Übertragen auf neue Anwendungen
Wiederholungsphase	Vernetzung des neu Gelernten mit früher gelerntem Stoff
Individualphase	Anpassung an individuellen Lernfortschritt
Gruppenunterricht	Möglichkeiten zu wechselseitigem Helfen und Lehren
Hausaufgaben	Anpassung an individuellen Lernfortschritt
Leistungsnachweis	Tests, Klassenarbeiten, Prüfungen
Reduzierung der fragend-entwickelnden Anteile	Zentrale und periphere Aufgabengruppen als Leitlinie der Unterrichtsorganisation

4. Wie können Aufgaben gestellt werden, die unterschiedliche Lösungswege ermöglichen ?

Man kann sich verschiedene Typen solcher Aufgaben vorstellen:

a) Aufgaben, zu deren Lösung unterschiedliche physikalische Prinzipien herangezogen werden können. So können zum Beispiel manche Mechanikaufgaben entweder durch Lösen der Bewegungsgleichung oder mit Hilfe von Erhaltungssätzen gelöst werden. In der Regel ist ein Weg der einfachere und elegantere, und zu entscheiden, welcher das ist, erfordert ein hohes Maß an Expertise. Der wenig erfahrene Problemlöser gewinnt durch solche Aufgaben keinen Freiheitsspielraum.

Beispiel 3

Ein Güterzugwagen rollt mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s auf eine ansteigende Rampe, die auf 1000 m Gleislänge 50 Meter Höhe gewinnt. Wie weit rollt der Wagen die Rampe hinauf?

Lösungsweg 1: Über die Bewegungsgleichung

Es wird zunächst die Kraft hergeleitet, die auf den Güterwagen wirkt, sobald er auf der ansteigenden Rampe ist. Aus der daraus resultierenden (gleichmäßigen) Beschleunigung kann die Geschwindigkeit und daraus die Zeit bis zum Umkehrpunkt berechnet werden. Aus der Zeit

wiederum folgt die Lage des Umkehrpunkts. Die Lösung ist umständlich und wegen der zu beachtenden Vorzeichen (die Kraft wirkt entgegen der Bewegungsrichtung) fehleranfällig.

Lösungsweg 2: Wie 1 jedoch mit reformulierten Anfangsbedingungen

Anstatt wie im Aufgabentext den Wagen nach oben bis zum Umkehrpunkt rollen zu lassen, berechnet man die Strecke, die er - mit der Geschwindigkeit 0 startend - herabrollt, bis er die Geschwindigkeit 10 m/s erreicht hat. Die Lösung ist im Vergleich zu 1 auch nicht viel eleganter, aber etwas kürzer und weniger fehleranfällig (Kraft- und Bewegungsrichtung identisch)

Lösungsweg 3: Über die Energieerhaltung

Die kinetische Energie des Wagens wird bis zum Umkehrpunkt vollständig in potentielle Energie umgewandelt, aus der die Höhe (und damit auch die Lage) des Umkehrpunktes leicht berechnet werden kann. Die Lösung ist elegant, kurz und wenig fehleranfällig. Außerdem funktioniert sie unabhängig von der speziellen Form der Rampe

b) Konstruktionsaufgaben, bei denen ein bestimmtes Produkt entworfen werden soll und dafür verschiedenartige Mittel zur Verfügung stehen. Derartige Aufgaben hielt Kerschensteiner für besonders geeignet zur Förderung des naturwissenschaftlichen Denkens, und er betonte zu recht, daß sie ein hohes Maß der Beherrschung des Stoffes bereits voraussetzen.

Beispiel 4

Mögliche Konstruktionsaufgaben wären etwa:

Bauen und Kalibrieren einer Waage zur Messung sehr kleiner Massen (Wieviel wiegt eine Fliege?)

Kraftübertragung beim Fahrrad (Die Goldene Regel und der Witz bei der Gangschaltung)

Planung, Bau und Erprobung eines Druckmeßgeräts (Tiefenmesser)

Wir können uns nicht vorstellen, daß man sich im Mittelstufenunterricht allein oder auch nur überwiegend auf solche anspruchsvollen Aufgaben stützen könnte, so schön und wertvoll sie auch sein mögen. Erfolgversprechender scheint uns der folgende Typ von Aufgaben zu sein.

c) Aufgaben, die neben einer algebraischen Lösung auch graphische, halbquantitative und andere, eher unorthodoxe oder pragmatische Lösungen zulassen. Im Unterricht wird häufig nur der algebraische Modus angesprochen. Die folgenden Beispiele zeigen aber, daß andere Lösungsmodi gerade für den ungeübten Aufgabenlöser leichter zugänglich sind und das Verständnis besser fördern können.

Beispiel 5

Ein Bergwanderer macht sich nachmittags um 14 Uhr auf den Weg zu einer 20 km entfernten Berghütte, die er, ohne Pausen einzulegen, in nicht zu anstrengendem, aber gleichmäßigem Tempo nach 5 Stunden erreicht. Dort übernachtet er, macht am nächsten Tag eine Rundwanderung und beginnt um 15 Uhr den Abstieg von der Hütte zum Ausgangspunkt seiner Wan-

derung. Diesen erreicht er, wiederum gleichmäßig schnell laufend und ohne eine Pause zu machen, um 19 Uhr.

a) Gibt es zwischen Ausgangspunkt und Berghütte einen Punkt, an der der Bergwanderer an beiden Tage zur gleichen Uhrzeit vorbeikommt? (Zeige, daß das der Fall ist).

b) An welcher Stelle und zu welcher Uhrzeit "begegnet" er sich selbst?"

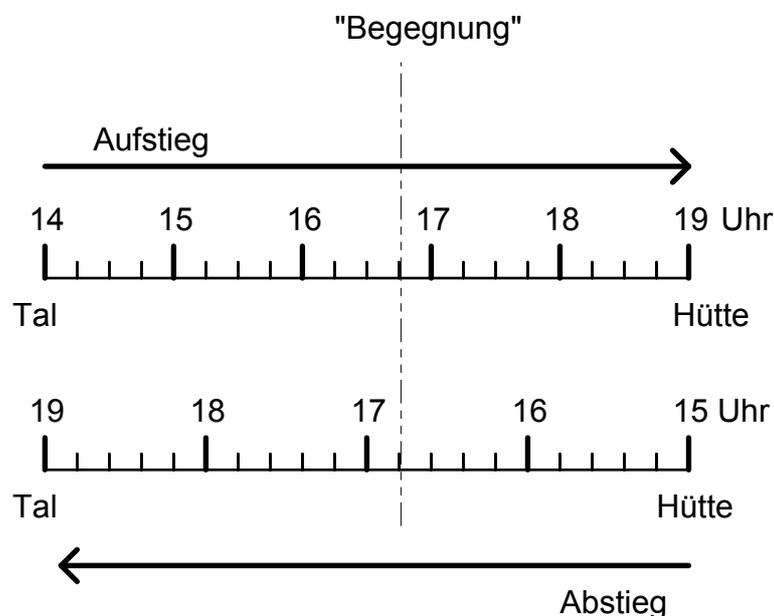
Lösungsweg 1: Eine **qualitative** Lösung

a) Die Aufgabe wird dadurch erschwert, daß die Begegnung fiktiv ist. Es ändert sich aber nichts an der Lösung, wenn man annimmt, daß ein zweiter Bergwanderer die Rücktour bereits am ersten Tag startet und sich die beiden tatsächlich begegnen können. Da der zweite seinen Abstieg startet, bevor der erste auf der Hütte angekommen ist, müssen sich beide zwangsläufig treffen.

b) Da der Aufstieg langsamer als der Abstieg ist, dafür aber früher am Tag beginnt, findet die Begegnung ungefähr auf halber Strecke statt (also etwa bei Kilometer 10) und etwa zwischen 16.30 und 17 Uhr.

Lösungsweg 2: Eine **einfache graphische** Lösung

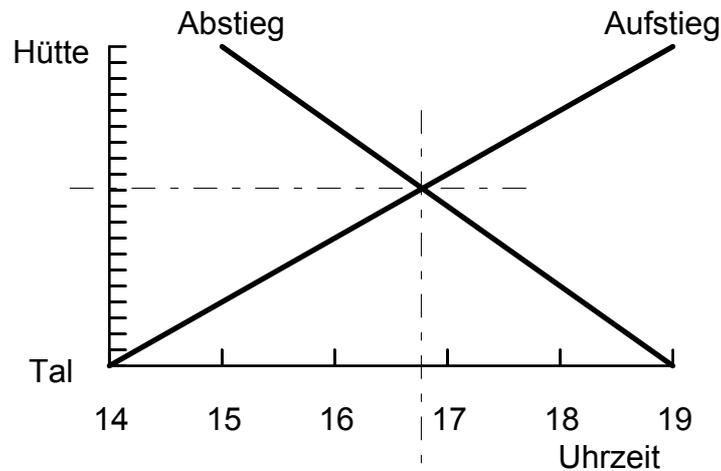
Der Weg zwischen dem Ausgangspunkt im Tal und der Berghütte wird in 20 Kilometermarkierungen eingeteilt und für Auf- und Abstieg die Uhrzeiten vermerkt, zu der der Wanderer die Markierungen passiert.



Uhrzeit und Ort der "Begegnung" können abgelesen werden (ca. 16.45, ca. 11 Kilometer vom Ausgangspunkt gerechnet)

Lösungsweg 3: Eine **verbesserte graphische** Lösung

Es wird eine Zeitachse eingeführt. Die "Begegnung" wird in der Begegnung der beiden Graphen sinnfällig.



Lösungsweg 4: Eine algebraische Lösung

Der Aufstieg werde mit dem Index 1, der Abstieg mit dem Index 2 gekennzeichnet, die Gesamtwegstrecke sei S . Dann gilt

$$\begin{aligned}s_1 &= v_1(t - t_1) \\ s_2 &= S - v_2(t - t_2)\end{aligned}$$

Am Ort der Begegnung gilt $s_1 = s_2$. Die zugehörige Zeit sei $t = t_B$. Also gilt

$$v_1(t_B - t_1) = S - v_2(t_B - t_2)$$

oder bei Auflösung nach t_B

$$t_B = \frac{S + v_1 t_1 + v_2 t_2}{v_1 + v_2}$$

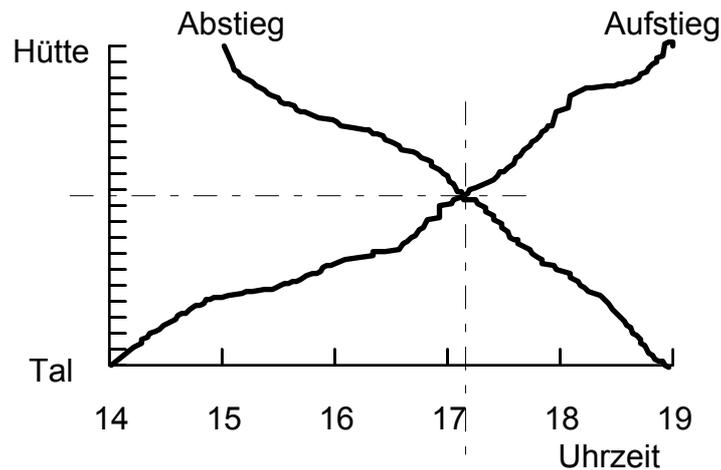
Einsetzen der Werte führt zu 16,777 Stunden (nach Mitternacht, also etwa 16 Uhr 45) und zu 11.11 Kilometer vom Ausgangspunkt gerechnet.

*

Es dürfte klar geworden sein, daß die algebraische Lösung zwar die präziseste ist, aber gleichzeitig auch diejenige, die sich einem tieferen Verständnis am leichtesten verschließt und zu einem falsch verstandenen Formelpuzzle verführt, das es so zusammensetzen gilt, daß von den beiden zunächst unbekanntem Größen (Ort und Zeit der Begegnung) eine eliminiert wird. Auch dürfte es den meisten Schülerinnen und Schülern schwerfallen, die gegenläufigen Bewegungen formelmäßig korrekt anzusetzen.

Andererseits zwingt die qualitative Lösung zum Nachdenken und zu einem guten Verständnis des Bewegungsablaufs. Die zweite graphische Lösung stellt, obwohl das s - t -Diagramm ganz abstrakt ist, einen verblüffend einfachen und sinnfälligen Weg dar.

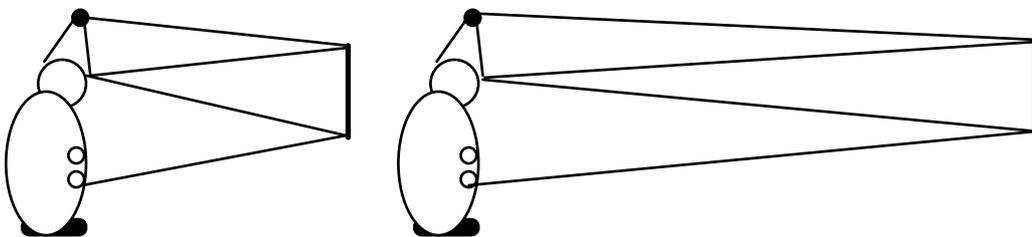
Schülerinnen und Schüler sollten ermuntert werden, in diesem Sinne unterschiedliche Lösungen zu versuchen. Das kann durch eine Aufgabenformulierung unterstützt werden, die nicht von vornherein bestimmte Modi ausschließt. In Beispiel 5 sollte es also nicht heißen: Berechne den Ort der Begegnung. Die zweite graphische Lösung könnte nahegelegt werden, wenn man Auf- und Abstieg nicht als gleichmäßige Bewegung idealisiert. Dann wäre eine algebraische Lösung gar nicht mehr möglich. Die graphische Lösung des Aufgabenteils a) würde vielleicht so aussehen:



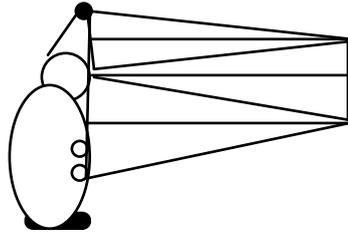
Beispiel 6

Ein Clown steht vor einem Spiegel und ärgert sich, daß er sich nicht ganz darin sehen kann. Er tritt näher heran. Wieder sieht er nur einen Teil. Er geht weiter weg. Das hilft auch nichts. Kannst du dir das erklären?

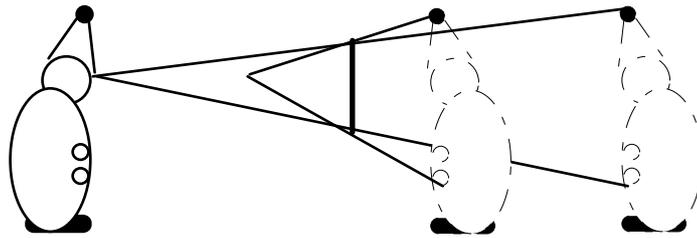
Eine **pragmatische** Lösung: Man konstruiert den gesehenen Ausschnitt für zwei unterschiedliche Abstände des Spiegels. Falls man genau genug gezeichnet hat, kommt beidesmal der gleiche gesehenen Ausschnitt heraus. Falls nicht, bleiben Zweifel, denn man erfährt nicht, warum der Ausschnitt vom Abstand unabhängig ist.



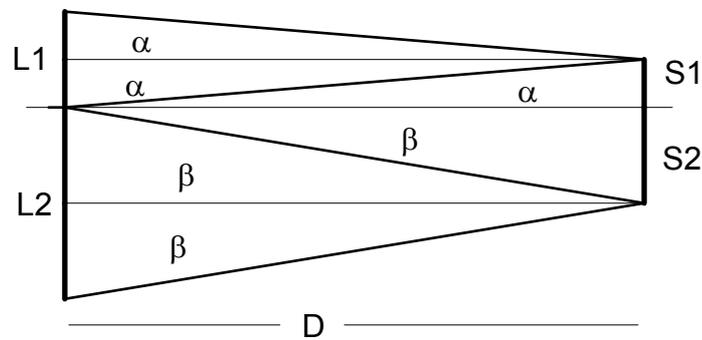
Eine **geometrische** Lösung: Die eingezeichneten Dreiecke lassen unmittelbar erkennen, daß der gesehenen Ausschnitt immer der doppelten Spiegelhöhe entspricht.



Eine Lösung über das **virtuelle** Bild: Da es beim Näherherangehen ebenfalls näher zum Spiegel rückt, sieht man immer den gleichen Ausschnitt.

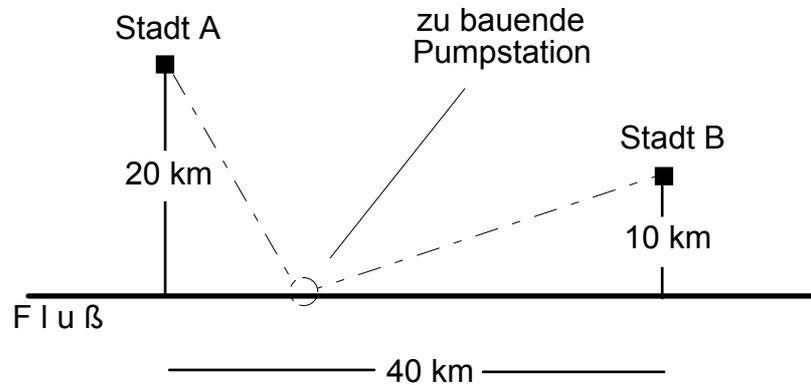


Eine **algebraische** Lösung: Aus $\operatorname{tg}\alpha = S1 / D$ und $\operatorname{tg}\beta = S2 / D$ sowie $\operatorname{tg}\alpha = L1 / 2D$ und $\operatorname{tg}\beta = L2 / 2D$ folgt, daß der gesehene Ausschnitt $L1+L2 = (S1+S2) / 2$, also unabhängig von D ist. (Eine unnötig umständliche Lösung)



Beispiel 7

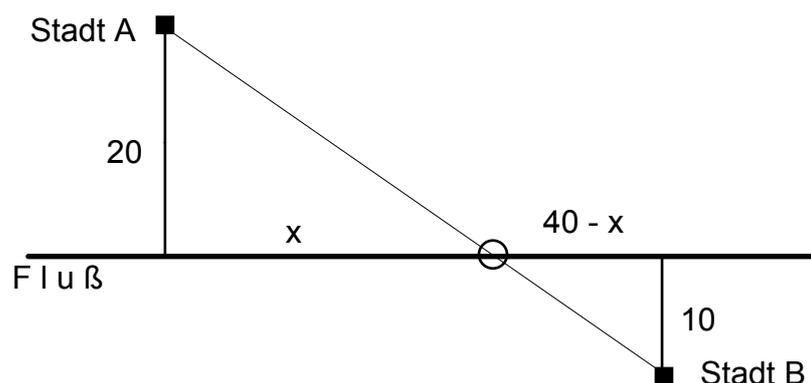
Auf der Zeichnung siehst du zwei Städte A und B eingezeichnet.



Es soll eine gemeinsame Pumpstation für die Wasserversorgung gebaut werden. Wo müßte diese Station gebaut werden, damit die Gesamtlänge der beiden Pumpleitungen möglichst klein wird?

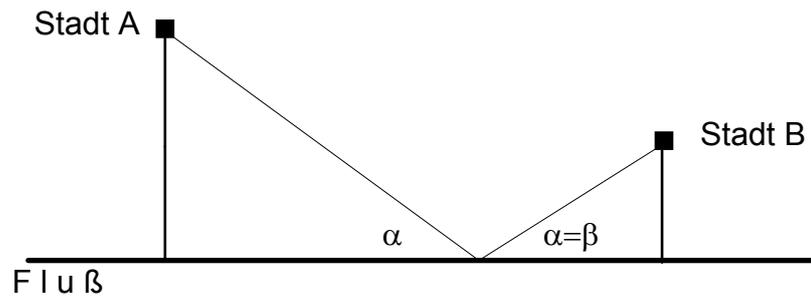
Eine **pragmatische** Lösung: Für verschiedene Positionen der Pumpstation werden die Längen der beiden Pumpleitungen berechnet oder in einer maßstabgenauen Zeichnung ausgemessen. Die optimale Lage wird durch Interpolation oder graphisch bestimmt.

Eine **graphische** Lösung: An der Länge der Pumpleitung zu Stadt B würde sich nichts ändern, wenn sie auf der anderen Seite des Flusses läge.



In diesem Falle wäre die kürzeste Verbindung eine gerade Linie. Die genaue Lage der Pumpstation ergibt sich unmittelbar aus der Ähnlichkeit der beiden Dreiecke bzw. aus der Proportion $x : 20 = (40 - x) : 10$ zu $x = 80/3$ km

Eine Lösung mit Hilfe des **Fermatschen Prinzips**: Wenn der Fluß ein Spiegel und die Pumpleitungen Lichtstrahlen wären, dann wäre nach dem Fermatschen Prinzip derjenige Lichtweg der kürzeste, bei dem das Reflexionsgesetz gilt.



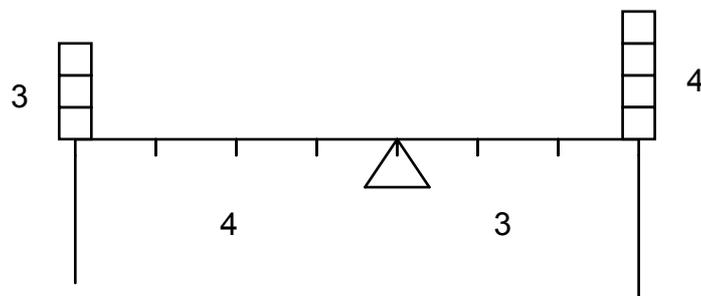
Eine **algebraische** Lösung scheidet für die Sekundarstufe I aus, weil sie die Beherrschung der Differentialrechnung voraussetzt.

Aufgabe 8

Ein Hebel werde an einem Ende mit drei, am anderen Ende mit vier gleichen Gewichtstücken belastet. An welchem Punkt muß der Hebel unterstützt werden, damit er im Gleichgewicht ist?

Eine **pragmatische** Lösung: Die Lösung wird durch Probieren (Lineal mit Groschen) oder Schätzen (Unterstützungspunkt näher an den vier Gewichtstücken) gefunden.

Eine **graphische** Lösung: Der Hebel wird in $(3 + 4) = 7$ Teillängen unterteilt. Dann muß der Hebel auf der Seite mit den drei Gewichtsstücken vier Teillängen lang sein, damit das Produkt aus Belastung und Hebelarm auf beiden Seiten dasselbe ist.



Eine **algebraische** Lösung:

$$\begin{array}{c}
 3 \quad \quad X \quad \quad \quad 1-x \quad 4 \\
 \hline
 \quad \quad \quad \diagdown \quad \diagup \\
 3x = 4(1-x) \\
 7x = 4 \\
 x = 4/7
 \end{array}$$

Zusammenfassung von Kapitel 4

Wir schlagen vor, die Entwicklung von Aufgaben, die unterschiedliche Lösungswege zulassen, hauptsächlich in Richtung unterschiedlicher Lösungsmodi zu betreiben. Qualitativen, halb-quantitativen, graphischen oder pragmatisch-unorthodoxen Lösungen sollte dabei besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Nichtalgebraische Repräsentationen eines Sachverhalts sollten auch im Unterricht einen breiteren Raum als üblich einnehmen. Sie können das Verständnis fördern und sind alles andere als minderwertig.

Die Aufgaben sind so zu formulieren, daß sie nicht von vorneherein auf eine algebraische Lösung zielen.

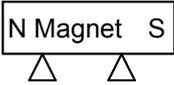
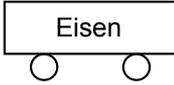
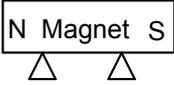
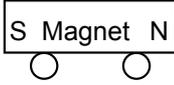
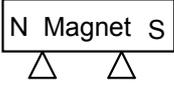
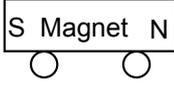
5. Wie können Aufgaben mit variierenden Kontexten entwickelt werden?

Bei den meisten Aufgaben läßt sich eine Tiefenstruktur von einer Oberflächenstruktur unterscheiden. Die Tiefenstruktur bezieht sich auf das zugrundeliegende Prinzip, durch dessen sinngemäße Anwendung eine Lösung herbeigeführt werden kann. Die Oberflächenstruktur umfaßt die konkreten in der Aufgabe beschriebenen Objekte. Wenn in diesem Zusammenhang von variierenden Kontexten gesprochen wird, dann versteht man darunter Aufgaben mit gleicher Tiefenstruktur, aber unterschiedlicher Oberflächenstruktur.

Ein Beispiel: Im Unterricht sei das dritte Newton'sche Axiom behandelt und es seien entsprechende Aufgaben gelöst worden (z.B. die wechselseitige Anziehung zwischen Erde und Mond oder die wechselseitige Anziehung zwischen zwei auf Skateboards stehenden Kindern, von denen das eine das andere mit einem Seil zu sich heranzieht und dabei selber zum anderen gezogen wird). In diesen Aufgaben wäre $\text{actio}=\text{reactio}$ die Tiefenstruktur und Mond und Erde bzw. Kinder, Skateboards und Seil Teile der Oberflächenstruktur. Der gleichen Tiefenstruktur ist in **Aufgabe 9** eine noch weiter verfremdete Oberflächenstruktur gegeben worden. Auch hier gilt natürlich $\text{actio}=\text{reactio}$ so daß auch das Eisen den beweglichen Magneten zu sich heranzieht (eine Tatsache, die für alle schwer nachvollziehbar ist, die das Reaktionsprinzip nicht oder nur unvollständig rezipiert haben).

Beispiel 9

Die Enden eines Magneten werden mit Nordpol (N) und Südpol (S) bezeichnet. Auf dem Bild siehst du verschiedene Gegenstände, die sich auf Rollen bewegen können, und andere, die sich nicht bewegen können. Kreuze an, welche Bewegung du erwartest!

		Bewegt sich		
		nach links	nach rechts	gar nicht
		()	()	()
		()	()	()
		()	()	()
		()	()	()

Anfängern im Aufgabenlösen fällt es schwer, die Tiefenstruktur zu erkennen und damit den Schlüssel zur Lösung zu finden. Nur die Konfrontation mit Aufgaben, in denen die Oberflächenstruktur variiert wird, vermag allmählich die Fähigkeit zu entwickeln, von den konkreten Oberflächenmerkmalen abzusehen und den allen Aufgaben gemeinsamen physikalischen Kern zu entdecken.

Variierende Kontexte können aber auch als ein Mittel eingesetzt werden, die Motivation zu steigern, sich auf eine Aufgabe gerne einzulassen. Die Interessenforschung hat hier eine Reihe von Kontexten identifiziert, die als "Einkleidung" von Aufgaben dienen können, so daß die Aufgabenlöser ein wenig auf die Lösung gespannt sein dürfen (Näheres über interessestimulierende Kontexte s. Kapitel 7.4).

So kann etwa eine Aufgabe von der Art

Ein Körper der Masse $m = 50 \text{ kg}$ bewege sich auf einer ebenen Unterlage mit einer Geschwindigkeit von 15 m/s . Wie groß muß die Kraft sein, um ihn auf einer Strecke von 2 cm gleichmäßig bis zum Stillstand abzubrem-
sen?

... durch Einbettung in den Kontext Verkehrssicherheit (Beispiel 10) oder Bestimmung der Geschwindigkeit aus der Bremsspur (Beispiel 11) interessanter gemacht werden.

Beispiel 10

Eine Radfahlerin wird in einen Unfall verwickelt und prallt dabei mit ihrem Kopf bei einer Geschwindigkeit von 5 m/s frontal auf eine Mauer. Zum Glück trägt sie einen Fahrradhelm. Wie weit muß sich die weiche Innenseite des Helms einknautschen, damit die Verzögerung ihres Kopfes unterhalb des kritischen Bereichs von 100 g liegt? ($g = 10 \text{ m/s}^2$)? (Wird dieser Wert überschritten, kann es zu folgenschweren Schäden ihres Gehirns kommen).

Beispiel 11

Der Fahrer eines Pkw ist zu einer Vollbremsung gezwungen und kommt nach 20 m zum Stehen. Welche Geschwindigkeit vor dem Abbremsen ermittelt die Polizei aus der Bremsspur unter der Annahme, daß bei normalem Reifen- und Straßenzustand der Wagen mit einer Verzögerung von 7 m/s^2 abgebremst wurde?

Abgesehen von der Auswahl eines interessanten Kontextes, hängt die Bereitschaft, sich auf eine Aufgabe einzulassen, natürlich auch von der Art der Formulierung ab. Eine direkte Ansprache, ein Text, der zum Nachdenken oder Diskutieren Anlaß gibt und der den Spielraum für die Art und Weise, wie die Aufgabenlösung angepackt werden soll, nicht einengt, sollte bevorzugt werden.

Zusammenfassung von Kapitel 5

Die Variation des Kontextes besteht darin, daß man ein bestimmtes der Aufgabenlösung zugrundeliegendes Prinzip (die Tiefenstruktur) mit verschiedenen Gegenständen und Situationen in Verbindung bringt (die Oberflächenstruktur). Die dadurch bedingte mehr oder weniger starke Verhüllung der Tiefenstruktur dient dazu, den Aufgabenlöser allmählich zu befähigen, von den konkreten Oberflächenmerkmalen abzusehen und das verschiedenen Aufgaben gemeinsame Lösungsprinzip zu erkennen.

Darüber hinaus kann der Kontext so gewählt werden, daß er neben der Verfremdung auch das Interesse an der Lösung steigert.

6. Wie können Aufgaben entwickelt werden, in denen länger zurückliegender Unterrichtsstoff wiederholt wird?

In der Expertise wird in diesem Zusammenhang von der "relativ geringen vertikalen Vernetztheit der Themen und Stoffe des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" gesprochen. Eine gute begriffliche und inhaltliche Vernetzung der Themen untereinander wäre aber die Voraussetzung für die Konstruktion von Aufgaben, in denen früher gelerntes Wissen aktualisiert und mit den neu gelernten Inhalten verknüpft werden muß. Die folgende Zusam-

menstellung soll einen Überblick darüber verschaffen, wie in den Physiklehrplänen der Sekundarstufe I die in einem bestimmten inhaltlichen Bereich eingeführten Grundbegriffe und Grundphänomene bei anderen Themen wieder aufgegriffen oder erweitert werden. Die Übersicht kann und muß schon deshalb nicht erschöpfend sein, weil es erhebliche Unterschiede in den vier bis fünf Dutzend Physiklehrplänen der verschiedenen Schularten der einzelnen Bundesländer gibt. Wir durchleuchten jeweils ein Bündel von zusammengehörigen Begriffen, indem wir fragen, ob und wie sie in den einzelnen Teilgebieten, die üblicherweise in der Sekundarstufe I unterrichtet werden, vorkommen. Zu diesen Teilgebieten der Physik rechnen wir die Mechanik (M), die Wärmelehre (W), die Elektrizitätslehre (E), die Optik (O), die Akustik (A) und die Atom- und Kernphysik (K). Ein Aufgreifen eines Begriffs in den Sekundarstufen-II-Lehrplänen wird mit (II) gekennzeichnet.

Grundbegriffe

Kinematische und dynamische Grundbegriffe:

Lage- und Zeitkoordinaten, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse und Impuls eines Körpers sowie Kräfte als Ursache für Verformungen und Bewegungsänderungen

- M: Beschreibung einfacher Bewegungen (gleichförmige, beschleunigte, kreisförmige, oszillierende) mit Hilfe der Newtonschen Axiome; Beschreibung der elastischen Verformung mit Hilfe des Hooke'schen Gesetzes
- W: Kinetische Deutung des Drucks von Gasen, Beschreibung der Ausdehnung bei Erwärmung
- E: Kräfte zwischen Ladungen; Kräfte zwischen stromführenden Leitern; Ablenkung freier Elektronen unter der Wirkung elektrischer oder magnetischer Felder; Geschwindigkeit von Ladungen in Leitern
- O: Lichtgeschwindigkeit
- A: Schallgeschwindigkeit
- K: Bohrsches Atommodell (II), Comptoneffekt (II)

Energetische Grundbegriffe:

Energie, Potentielle Energie, Arbeit, Leistung

- M: Kinetische und potentielle Energie; Energiesatz der Mechanik; Goldene Regel der Mechanik; mechanische Leistung
- W: 1. Hauptsatz; kinetische Deutung der Temperatur eines Gases als mittlere kinetische Energie der Moleküle, innere Energie
- E: Elektrische Energie, Leistung von Elektrogeräten, Lenzsche Regel als Folge des Energieerhaltungssatzes
- O: Sonnenenergie; Energie eines Lichtquants (II)
- A: Leistung von Lautsprechern, Hörgrenze
- K: Kernenergie, Atomspektren (II),

Elektrische Grundbegriffe:

Stromstärke, Spannung, Widerstand, Ladung, elektrisches und magnetisches Feld

- M: Mechanische Analoga (z.B. Fließen eines Baches, Hochheben einer Masse, Strömung an einer Verengung, Dehnung einer elastischen Membran); Gravitationsfeld

W: -

E: Beschreibung von Stromkreisen mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes und der Kirchhoffschen Regeln. Beschreibung elektrischer Phänomene mit Hilfe von elektrischen und magnetischen Feldern (z.B. elektromagnetische Induktion)

O: -

A: -

K: Bohrsches Atommodell (II), Chemische Bindung (II), Festkörpertheorien (II)

Thermodynamische Grundbegriffe:

Druck, Temperatur, (Entropie II)

M: Kinetische Deutung des Drucks von Gasen durch die Impulsübertragung der Gasmoleküle an die Wandung; kinetische Deutung der Temperatur durch die mittlere kinetische Energie der Gasmoleküle, statistische Deutung der Entropie (II), kinetische Deutung der Wärmeleitung

W: Phänomenologische Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Druck, Volumen und Temperatur eines Gases, Temperaturskalen

E: -

O: -

A: -

K: -

Es zeigt sich also, daß die aus der Mechanik stammenden Grundbegriffe (Lage- und Zeitkoordinaten, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, (Impuls), Kraft, kinetische Energie, potentielle Energie, Arbeit und Leistung) gut mit anderen Teilgebieten der Physik vernetzt sind, insbesondere natürlich mit den "mechanistischen" Gebieten Akustik und Wärmelehre. Hier ist es relativ einfach, gebietsübergreifende Aufgaben zu formulieren (s. Beispiele 12 und 13). Der begriffliche Zusammenhang der Teilgebiete Elektrik, Optik und Atom/Kernphysik untereinander ist weit geringer und erschließt sich, wenn überhaupt, erst auf der Sekundarstufe II.

Beispiel 12

In einem afrikanischen Dorf soll ein Feld mit dem Wasser eines nahegelegenen Flusses bewässert werden. Dazu sollen pro Minute etwa 900 Liter Flußwasser mit einer elektrischen Pumpe auf das 20 Meter höher gelegene Feld gepumpt werden. Als Antrieb für die Pumpe steht ein dieselbetriebener Generator zur Verfügung, der bei 100 Volt eine maximale Stromstärke von 20 Ampère liefert.

Reicht diese Leistung aus, um die gewünschte Menge Wasser auf das Feld zu pumpen?

Aufgabe 13

Ein in dichtem Stadtverkehr fahrender Bus, der keine Abgase ausstößt, wäre eine gute Sache. In der Schweiz gibt es einen Versuchsbus, der anstelle eines Verbrennungsmotors ein großes, sich sehr schnell drehendes Schwungrad besitzt. Die darin steckende Bewegungsenergie wird beim Fahren auf die Räder übertragen. Wenn der Schwung des Rades erlahmt ist, muß der

Bus zu einer besonderen "Tankstelle". In der wird das Schwungrad mit Hilfe eines Elektromotors wieder auf Touren gebracht.

- a) Wieviel Bewegungsenergie ist in einem Schwungrad mit einer Masse von 800 Kilogramm gespeichert, wenn es sich mit 100 Umdrehungen pro Sekunde dreht und einen Umfang von 6 Metern hat? (Nimm an, daß die gesamte Masse des Rades im äußersten Rand konzentriert ist.)
- b) Wie groß muß die Leistung des Elektromotors beim "Tanken" sein, wenn eine "Radfüllung" nicht länger als eine Stunde dauern soll?
- c) Welcher Strom fließt dabei durch die Motorwicklungen, wenn er bei 400 Volt betrieben wird?
- d) Welche Strecke kann der Bus mit einer "Schwungradfüllung" fahren, wenn er auf ebener Strecke im Mittel eine Reibungskraft von 2000 N überwinden muß? (Die Beschleunigungsarbeit beim Anfahren soll vernachlässigt werden.)

Eine vertikale Vernetzung kann auch mit Hilfe der folgenden gebietsübergreifenden Konzepte hergestellt werden:

Schwingungen und Wellen

- M: Mechanische Schwingungen (Pendel, Schwingungen einer Feder, Schwingende Saiten); Wasserwellen; Zusammenhang zwischen Ausbreitung, Frequenz und Wellenlänge; Resonanzphänomene bei erzwungenen Schwingungen, Reflexion von Wasserwellen
- W: Modell der Wärmebewegung von Festkörpern als Schwingungen der Gitterbausteine (qualitativ); Wärmestrahlung, Absorption durch Kohlendioxid (Treibhauseffekt)
- E: Wechselstrom; Schwingkreis; Elektromagnetische Wellen (überwiegend II)
- O: Licht als Welle (überwiegend II)
- A: Schallwellen, Resonanz, Schwebung, Absorption, Hörgrenzen
- K: Röntgen- und Gammastrahlung (II), Teilchen als Welle (II)

Energieumwandlungen

- M: Umwandlung von kinetischer Energie in potentielle Energie; Umwandlung kinetischer Energie in elektrische Energie (Generator) oder Wärme (Bremsbelag)
- W: Umwandlung von innerer Energie in Bewegungsenergie (Wärmekraftmaschine), Wirkungsgrad, Energieentwertung (2. Hauptsatz)
- E: Umwandlung elektrischer Energie in Bewegungsenergie (Elektromotor), Wärme (Elektroheizung, Fön), Licht, chemische Energie (Elektrolyse)
- O: Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie (Solarzellen) oder Wärme (Solar Kollektoren)
- K: Umwandlung von Kernenergie in Wärme (Kernkraftwerke)

Körnigkeit der Materie (Teilchenstruktur)

M: - (in der klassischen Kontinuumsmechanik)

W: Deutung der Aggregatzustände im Teilchenmodell, Brownsche Molekularbewegung

E: Elementarladungen, Widerstandsrauschen, Schrotrauschen (II)

O: Photonen (II)

A: Deutung der Schallausbreitung in Gasen als periodische Verdichtung der Gasmoleküle

K: Aufbau der Materie aus Elementarteilchen

Auch solche in mehreren Teilgebieten der Physik (und darüber hinaus) auftauchende Grundphänomene lassen sich für die gebietsübergreifende Formulierung von Aufgaben nutzen (Beispiel 14).

Beispiel 14

Heute sind die Naturwissenschaftler davon überzeugt, daß alle Stoffe aus kleinsten Teilchen bestehen - Eisen aus Eisenteilchen, Wasser aus Wasserteilchen und Luft aus einem Gemisch aus Sauerstoff- und Stickstoffteilchen. Das war nicht immer so, denn diese Teilchen sind so winzig klein, daß man sie auch mit dem stärksten Mikroskop nicht sehen kann. Daß unsere Welt aus kleinsten Teilchen besteht, ist also nur eine Annahme, eine Hypothese.

Stelle dir vor, du müßtest einen Gegner der Teilchenhypothese davon überzeugen, daß sie viele Erscheinungen erklären kann. Wie würdest du argumentieren?

Du kannst dabei auf folgende Beobachtungen verweisen:

Rauchstäubchen in Luft oder feine Pflanzensporen in Wasser bewegen sich auf einem unregelmäßigen Zick-Zack-Kurs, wenn man sie unter einem Mikroskop betrachtet.

Bei der Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff entstehen immer genau zwei Teile Wasserstoff und ein Teil Sauerstoff.

Radioaktive Stoffe erzeugen in einem Geigerzähler einzelne unregelmäßige Klicks.

Wenn man eine Parfumflasche öffnet, kann man das Parfum bald im ganzen Zimmer riechen.

Beispiel 15

Ein Stein mit der Masse M befindet sich in der Höhe H über dem Erdboden. Losgelassen fällt er gleichmäßig beschleunigt zu Boden.

Ein Elektron mit der Ladung e und der Masse m befindet sich in der Mitte zweier mit der Spannung $U = 10 \text{ V}$ aufgeladener Metallplatten, die den Abstand d voneinander haben. Losgelassen fällt es gleichmäßig beschleunigt auf die positiv aufgeladene Platte.

- Beschreibe in Worten die Bewegung in beiden Fällen
- Wie groß ist die Beschleunigung des Steins, wenn die Kraft auf den Stein Mg ist?
- Wie groß ist die Beschleunigung des Elektrons, wenn die Kraft auf das Elektron eU/d ist?
- Diskutiere warum die Beschleunigung beim Stein von seiner Masse unabhängig ist, beim Elektron aber nicht!
- Wie groß ist die Geschwindigkeit des Steins beim Aufprall auf den Boden? ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
- Wie groß ist die Geschwindigkeit des Elektrons beim Aufprall auf der Metallplatte? ($e/m = 2 \cdot 10^{11} \text{ C/kg}$; U sei 100 V)
- Warum kann man bei der Bewegung des Elektrons die Erdanziehungskraft vernachlässigen?

Anmerkung: Das Fernsehbild wird von Elektronen erzeugt, die mit großer Geschwindigkeit auf die Rückseite der Bildröhre fliegen. Dazu werden sie auf eine ähnliche Weise wie oben beschrieben beschleunigt. Damit sie an der positiv geladenen Platte nicht aufprallen, hat diese dort ein kleines Loch. Die Beschleunigungsspannung ist etwa $15\,000 \text{ Volt}$. Dann sind sie noch schneller!

Daran könnte sich eine Aufgabe anschließen, in der die Parallelität der Verhältnisse beim waagerechten Wurf eines Steins im Erdfeld und eines Elektrons zwischen den Ablenkplatten eines Fernsehapparates thematisiert wird.

Eine dritte Möglichkeit, zurückliegenden Stoff mit neuem Stoff zu vernetzen besteht darin, den Unterrichtsstoff in gebietsübergreifenden Themen zu organisieren. Zwei Organisationsmodelle bieten sich an:

- a) Einer Reihe von Unterrichtseinheiten, in denen Begriffe und Zusammenhänge überwiegend innerhalb eines bestimmten Gebietes unterrichtet worden sind, folgt ein Thema, bei dessen Bearbeitung das zuvor erlernte zusammengeführt wird.
- b) Die gebietsspezifischen Klärungen werden in das gebietsübergreifende Thema integriert. In beiden Fällen müßte in der Regel vom Lehrplan abgewichen werden. Beispiel 16 weist auf einige Themen hin, die sich für eine solche Vernetzung eignen würden.

Beispiel 16

- Energieversorgung (Elektrizität, Mechanik, Wärme, Kernphysik, Umweltproblematik)
- Physik des Fahrrads (Mechanik, Elektrik)
- Rund ums Auto (Mechanik, Elektrik, Wärmelehre, Akustik, Umweltproblematik)
- Verkehrssicherheit (Mechanik, Optik)
- Der Treibhauseffekt (Wärmelehre, Elektrik, Optik, Klima)

Zusammenfassung von Kapitel 6

Eine vertikale Vernetzung der einzelnen physikalischen Gebiete, die üblicherweise in der Sekundarstufe I unterrichtet werden, ist vor allem über drei Wege zu erreichen:

- a) Über Grundbegriffe wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Kraft, kinetische Energie, potentielle Energie, Arbeit und Leistung, die in der Mechanik eingeführt und in den anderen Gebieten angewandt oder ausdifferenziert werden.
- b) Über gebietsübergreifende Konzepte wie "Schwingungen und Wellen", "Energieumwandlungen" und "Teilchenstruktur der Materie"
- c) Über gebietsübergreifende Themen (s. Beispiel 16)

7. In welchen Bereichen der Unterrichtsforschung hat es in letzter Zeit interessante Entwicklungen gegeben?

7.1 Wissenserwerb als Lernen aus Beispielen

Die Expertiseforschung, die sich u.a. damit beschäftigt, was Experten befähigt, Probleme besser als Anfänger (Novizen) zu lösen, hat vor einigen Jahren eine Methode aufgegriffen, wie man Novizen das Lösen von Aufgaben in einem bestimmten Gebiet erleichtern kann. Sie besteht darin, daß ihnen für dieses Gebiet Aufgaben mit Beispiellösungen zum selbständigen Durcharbeiten vorgelegt werden. Dabei stellte sich heraus, daß sie diese Art des Lernens gegenüber herkömmlichem Unterricht oder dem Lesen eines Lehrbuchttextes bevorzugten (und zwar unabhängig von der Qualität der Beispiele!) und daß ihnen oft erst im Nachvollzug dieser Beispiele die Bedeutung und Anwendung eines zugrundeliegenden Konzepts klar wurde.

Auch wenn Schüler und Schülerinnen ein Gesetz oder eine Regel korrekt wiedergeben können, sind sie oft nicht in der Lage, diese in einer Aufgabe zur Anwendung zu bringen. Solche Beispielaufgaben könnten somit eine wichtige Brückenfunktion haben. Anscheinend ist es auch günstiger, Lösungstechniken nicht explizit vermitteln zu wollen, sondern implizit durch den Umgang mit solchen Beispielen.

Beispiel 17

Ein Ball wird mit einer Geschwindigkeit von 20 m/s senkrecht in die Höhe geworfen.

- a) Wie lange dauert es, bis er seine größte Höhe erreicht?
- b) Wie hoch fliegt der Ball?

Lösung zu a)

Die Geschwindigkeit im höchsten Punkt ist $v = 0$

Die Geschwindigkeit am Anfang der Bewegung ist $v_0 = 20$ m/s

Die Geschwindigkeit zu einem beliebigen Zeitpunkt ist $v = v_0 - g t$

Daraus ergibt sich $t = (v_0 - v) / g$

$$t = [(20 - 0) / 10] \text{ s} = 2 \text{ s.}$$

Lösung zu b)

Variante 1:

h sei die zu einem beliebigen Zeitpunkt erreichte Steighöhe.

$$h = -g t^2 / 2 + v_0 t$$

Daraus ergibt sich die nach 2 s erreichte maximale Steighöhe zu

$$h_m = (-10 \cdot 4 / 2 + 20 \cdot 2) \text{ m} = 20 \text{ m.}$$

Variante 2:

Aus dem Energiesatz ergibt sich

$$m v_0^2 / 2 = m g h_m$$

$$h_m = v_0^2 / 2 g$$

$$h_m = (400 / 20 \text{ m}) = 20 \text{ m}$$

Abgesehen davon, daß dies auch ein Beispiel dafür ist, wie eine Lösung auf zwei unterschiedlichen Wegen herbeigeführt werden kann, dürfte klar geworden sein, daß die Ausführlichkeit und die Art der Erläuterungen zur Lösung der Aufgabe an die individuellen Bedürfnisse angepaßt werden müssen. Die im Beispiel gegebenen dürften für einen Anfänger zu knapp gehalten sein. Allerdings lehrt die Erfahrung, daß relativ schlechte Problemlöser zwar mehr Erläuterungen brauchen, von allzuviel (gutgemeinten) Hinweisen aber auch leicht irritiert sind und über sie hinweglesen. Bei guten Problemlösern wurde beobachtet, daß sie auch mit spärlichen Angaben zum Lösungsweg auskommen und sich dadurch auszeichnen, daß sie in der Lage sind, die fehlenden Verbindungen zu den zugrundeliegenden Begriffen und Regeln selbst zu generieren. Hier gälte es also, die für eine bestimmte Schülerschaft optimal angepaßte Form

der Beispiellösungen zu finden. Je größer das Vorwissen ist, desto weniger Information muß explizit in der Lösung gegeben werden, desto knapper kann also der Lösungsweg sein. Anzustreben ist ein Anspruchsniveau, das weder überfordert noch langweilt. (Ein Beispiel mit unterschiedlich ausführlichen Lösungsanleitungen geben wir im Anhang.).

Noch in einer anderen Richtung sollte eine optimale Passung zwischen der Art der Aufgaben und den Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler hergestellt werden. Sind die Aufgaben einander sehr ähnlich, wird Routine gefördert und der Transfer bleibt gering; sind sie sehr unterschiedlich, fällt es schwer, das gemeinsame Prinzip zu erkennen. Um den unterschiedlichen Bedürfnissen der Schülerinnen und Schüler entgegenzukommen, könnte man an eine innere Differenzierung denken. Den langsameren Lernern, könnte man durch geeignet viele, ähnliche Aufgaben wenigstens zu einem Basiswissen verhelfen, während die schnelleren durch unterschiedlichere Aufgaben den Transfer üben.

Das Durcharbeiten solcher Aufgabensequenzen mit vorgegebenen Lösungen oder Lösungshinweisen sollte einen ökonomischeren und motivierenderen (s. 7.4) Weg zur Entwicklung von Problemlösekompetenz darstellen als wenn man von vorneherein auf möglichst weitgehende Selbsttätigkeit beim Problemlösen setzt. Bisher wird dieser Weg anscheinend nicht häufig genutzt. In Schulbüchern findet man oft noch ein Nebeneinander von systematischer Darbietung mit wenig Bezug auf Beispiele und Übungsaufgaben, die keine Hinweise enthalten, wie sie mit Lösungsprinzipien zusammenhängen. In manchen Universitätslehrbüchern der Physik spielen in den Lehrgang integrierte Beispielaufgaben eine wesentlich größere Rolle.

Allerdings hat das Lernen mit Beispielen auch seine Gefahren. Da man eine Beispiellösung direkt auf ein eng benachbartes Problem übertragen kann, läßt sich durch Ausführen analoger Schritte ein einfaches Problem lösen, ohne es wirklich verstanden zu haben. Anscheinend gehen Anfänger oft so vor. Das führt dazu, daß sie wenig Flexibilität bei der Anpassung einer Beispiellösung an die aktuellen Anforderungen zeigen. Sie haften am Konkreten und können nicht von den Besonderheiten des Beispiels abstrahieren; kurzum: Beispielwissen allein ist "träge". Es muß mit dem zugrunde liegenden Gesetzeswissen verbunden werden. Dies sollte bei der Formulierung von Beispiellösungen für Anfänger beachtet werden. In 7.2 wird eine Methode beschrieben, die Schülerinnen und Schülern beim Lernen helfen soll, das hinter dem Beispiel stehende Prinzip zu erkennen.

Die Erstellung von Aufgabensequenzen mit ausgearbeiteten Lösungen abnehmender Ausführlichkeit und zunehmender Anforderungen an das Mitdenken könnte eine interessante Entwicklungsaufgabe für die Lehrergruppen der Netzwerke bilden. Erst nach der Durcharbeitung einer solchen Sequenz sollte zum eigenständigen Lösen von Aufgaben übergegangen werden, wiederum beginnend mit Aufgaben, die nur geringe Transferanforderungen stellen und sich eng an den zuvor durchgearbeiteten Beispiellösungen orientieren. Mit wachsender Kompetenz kämen dann schwierigere Aufgaben hinzu.

7.2 Das Selbsterklären

Der Kern des Selbsterklärens besteht, wie schon der Name sagt, darin, daß der Lernende versucht, sich jeden einzelnen Schritt in der Argumentation einer vorgegebenen Beispiellösung zu erklären. Er betrachtet den Lösungstext gewissermaßen als eine Aufgabe, die er teilweise selbständig zu lösen versucht. Die vorgegebene Beispiellösung dient dann der Rückmeldung. Das Selbsterklären ist Ausdruck einer problemorientierten Lernhaltung und insofern an das Lernen mit Beispielaufgaben optimal angepaßt (wenn auch nicht darauf beschränkt). Die Wirksamkeit dieser Methode beim Lernen mit naturwissenschaftlichen Beispielaufgaben ist mehrfach belegt. Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Intensität und der Qualität des Selbsterklärens einerseits und der anschließenden Anwendung des erworbenen Beispielwissens beim Problemlösen andererseits. Diese Wirksamkeit beruht darauf, daß es die Integration des neuen Wissens in das bestehende Wissen fördert. Dabei wird nicht nur Neues gelernt; das bestehende Wissen wird auch durch die Anwendung in neuem Kontext aktualisiert und flexibilisiert.

Gute Lerner scheinen das Selbsterklären spontan zu verwenden, ohne darin eingeführt worden zu sein. Bei Anfängern ist hingegen die Intensität des Selbsterklärens sehr unterschiedlich. Eine Rolle spielt vermutlich die Lernhaltung. Wer sich nicht das Ziel gesetzt hat, sich mit dem Beispiel intensiv zu beschäftigen, wird den Text einfach lesen und nicht versuchen, ihn zu elaborieren. Wichtig scheint auch das Vorwissen zu sein. Wenn man schon Kenntnisse auf einem Gebiet hat, fällt das Selbsterklären leichter. Allerdings kann man das Selbsterklären auch einüben. Es konnte gezeigt werden, daß schon sehr einfache Trainingsprogramme die Selbsterklärungsintensität deutlich erhöhten, etwa eine kurze verbale Einführung und die anschließende Übung an einigen Beispielen mit Anleitung. Dabei könnte man etwa auf folgendes achten:

- Der Schüler soll versuchen, jeden Schritt in der Argumentation zu verstehen: Welche Wissensenselemente werden verwendet? Wie werden sie miteinander verknüpft?
- Er soll versuchen, Lücken in der Argumentation zu entdecken und zu schließen (wobei es von seinem Vorwissen abhängt, was ihm als Lücke erscheint): Welches Wissen wird implizit verwendet? Wo fehlt mir Wissen zum Verständnis und wie könnte ich mir das trotzdem zusammenreimen? Wo hätte ich etwas anderes erwartet? Macht das überhaupt Sinn?
- Er soll versuchen, den Text zu gliedern und die Zielstruktur des Textes zu erkennen: Wozu ist dieser Lösungsschritt da? Was müßte dann als nächstes kommen? Welche Textstellen sind besonders wichtig? Was sind unwichtige Details?
- Er soll versuchen, Analogien zwischen dem Text und seinem Vorwissen herzustellen: Ist die Aufgabe einer anderen ähnlich? Haben wir das früher nicht anders gemacht? Finde ich dazu noch ein anderes Beispiel?

- Er soll versuchen, mathematische Argumentationen in die Sprache der Physik zu "übersetzen": Welche physikalische Größe bezeichnet der Buchstabe in der Formel? Was besagt die Formel qualitativ?

Das Selbsterklären ist als eine Methode für das eigenständige Lernen entwickelt worden. Man kann sich jedoch durchaus auch Varianten vorstellen, die für den Gruppenunterricht geeignet erscheinen. In einer Zweiergruppe könnte der eine die Rolle des Erklärers übernehmen, der andere könnte die Aufgabe haben, durch gezielte Fragen möglichst vollständige Erklärungen zu erreichen. Irgendwann sollten die Rollen wechseln (da der Erklärer vermutlich mehr lernt). In größeren Gruppen kann man weitere Rollen definieren, z. B. einer, der versucht, dem Erklärer Fehler nachzuweisen oder einer, der benötigte, aber nicht parate Informationen im Buch nachschlägt.

7.3 Aus Fehlern lernen

Eine bisher wenig beachtete Dimension schulischen Lernens ist die Art und die Chance, Fehler zu machen und von ihnen zu lernen. Gerade im Zusammenhang mit dem Lösen von Aufgaben, ist derjenige erfolgreicher, der weiß, wo Fehler auftreten können. Denn das Fehlermachen und das Fehlerwissen stützt und stärkt das positive Wissen. Nur wer weiß, was er nicht tun darf, weiß wirklich, was er tun soll, damit etwas gelingt. Ohne dieses "negative" Wissen, das darauf verweist, welche Fehler vermieden werden müssen, wäre positives Wissen zu- und anfällig.

Es leuchtet deshalb ein, daß für einen erfolgreichen Unterricht, die "Kultur des Fehlermachens und der Fehlerauswertung" von größter Bedeutung ist. Wieviel darf ein Schüler, auf die Gefahr hin, Fehler zu machen, ausprobieren, ohne beschämt, verspottet oder benotet zu werden? Wieviel Fehlermachen ist sinnvoll, ohne daß Lernen zerbricht oder daß Schüler aus dem Lernprozeß aussteigen und verloren gehen? Wo und auf welche Weise machen Lehrende die Lernenden auf Stellen aufmerksam, wo diese im allgemeinen leicht Fehler machen?

Dieser Aspekt der Effizienzsteigerung wird in Modul 3 ausführlich behandelt. Da aber gerade das Lösen von Aufgaben in besonderer Weise fehleranfällig ist, und außerdem die Fehler leicht zu orten und in vielen Fällen auch leicht zu korrigieren sind, scheint uns auch eine Beachtung in Modul 1 angezeigt. Das könnte etwa darin bestehen, daß man in den Beispiellösungen Hinweise gibt, an welchen Stellen des Lösungsprozesses etwas schief gehen kann. Auch bei der Rückmeldung auf selbständige Aufgabenlösungen sollte man die Gelegenheit nutzen, "negatives Wissen" zu vermitteln.

Fehler beim Lösen von Aufgaben, die eine quantitative Lösung verlangen:

Übersetzungsfehler

Bei der Übersetzung der meist umgangssprachlich formulierten Aufgabenstellung in ein Problem, das mit Hilfe bestimmter physikalischer Konzepte gelöst werden kann, werden mehr oder

weniger versteckte Hinweise nicht erkannt. Beispiele: Die Tatsache, daß ein Gegenstand aufgehängt ist (und sich offensichtlich in Ruhe befindet) wird nicht genutzt, um daraus zu schließen, daß die an ihm angreifenden Kräfte in ihrer Summe Null ergeben. Oder: Die mit einer Lageänderung eines Körpers verbundene Geschwindigkeitsänderung wird nicht als Hinweis erkannt, daß der Energiesatz beides miteinander in Beziehung bringt.

Planlosigkeit

Anstatt erst einmal den physikalischen Gehalt einer Aufgabe zu verstehen, und sich Klarheit darüber zu verschaffen, welche physikalischen Prinzipien für die Lösung zur Anwendung gebracht werden könnten, stürzt man sich in den verzweifelten Versuch, die Lösung durch Kombination von Formeln zu erzwingen, die man mit bestimmten Schlüsselbegriffen assoziiert. Beispiele: Taucht im Aufgabentext der Begriff Geschwindigkeit auf, schreibt man erst einmal Formeln wie $v=s/t$ oder $E=mv^2/2$ hin und probiert aus, mit welcher das zu durchbohrende Brett dünner ist. Oder: Der Begriff Arbeit provoziert die Gleichung $W = m g h$, unabhängig davon, ob es sich wirklich um eine Hubarbeit handelt.

Mangelnde Kontrolle

Selbst bei einem richtigen Ansatz fehlt es häufig an der Kontrolle, ob ein bestimmter Zwischenstand auf dem Lösungsweg überhaupt noch sinnvoll ist. Beispiele: Nach dem Umformen von Gleichungen erscheinen zwei physikalische Größen trotz unterschiedlicher Dimensionen in einer additiven Verknüpfung. Das müßte sofort die Alarmglocke läuten lassen. Oder: Eine als Zwischen- oder Endergebnis erhaltene Gleichung führt in Grenzfällen, in denen die Lösung bekannt ist oder geraten werden kann, zu offensichtlich unsinnigen Resultaten.

Vorschnelles Einsetzen von Zahlenwerten

Mangelnde Souveränität im Umgang mit Symbolen, findet häufig ihren Niederschlag darin, daß die in der Aufgabenstellung angegebenen Zahlenwerte sofort in eine Gleichung eingesetzt werden. Das führt im günstigsten Fall zu einer erhöhten Fehleranfälligkeit, versperrt aber oft prinzipiell das Finden einer Lösung.

Ungeschicktes oder falsches Manipulieren von Gleichungen

Dazu gehören z.B. ungeschicktes Eliminieren von Unbekannten, insbesondere, wenn die Gleichungen nichtlinear sind, oder unerlaubte Rechenoperationen, etwa wenn die Wurzel aus einem Summenausdruck als Summe der Wurzeln angesetzt wird.

Rechenfehler

Rechenfehler treten gehäuft auf, wenn es sich um sehr kleine oder sehr große Zahlen oder beides handelt. Oft scheitert die korrekte Lösung schon an der mangelnden Übersichtlichkeit, in der die Zahlenwerte niedergeschrieben werden. Auch die Verwendung eines Taschenrechners führt häufig zu unsinnigen Ergebnissen, die aber als solche nicht erkannt werden, weil man es versäumt, eine Überschlagsrechnung zu machen. Schwer auszumerzen ist dabei auch die Unsitte, Ergebnisse auf 10 Stellen auszurechnen, obwohl die Anfangsdaten eine solche Genauigkeit gar nicht sinnvoll erscheinen lassen.

Vorzeichenfehler

Sie sind besonders verhängnisvoll, wenn sie bereits im Ansatz gemacht werden. Beispiel: Eine Kraft, die entgegen der Bewegungsrichtung wirkt, ist negativ einzusetzen. Wird das nicht beachtet, führt das sofort zu ganz unsinnigen Ergebnissen.

Dimensionsfehler

Häufig wird nicht beachtet, daß bei einer Gleichung die beiden Seiten nicht nur zahlenmäßig sondern auch in ihren Dimensionen übereinstimmen müssen. Wo soll ein Zwischenergebnis hinführen, wenn links eine Spannung steht und rechts eine Leistung?

Einheitenfehler

Sie sind ebenso trivial wie scheinbar unausrottbar. Häufig entstehen sie erst auf der Zielgerade. Wenn die Lösung schon zum Greifen nahe ist, wird eine Länge in Millimeter eingesetzt (weil sie im Aufgabentext so angegeben wurde) und die errechnete Geschwindigkeit in m/s erwartet.

7.4 Interessenorientierung und Motivation

Ergebnisse aus der Interessenforschung zeigen, daß das Interesse, sich mit einem naturwissenschaftlichen Thema zu befassen, in hohem Maße vom Kontext abhängig ist, in dem die Begriffe, Gesetze und Regeln veranschaulicht werden. So wird z.B. die Mechanik als interessanter empfunden, wenn sie auf Probleme und Lösungen zur Verkehrssicherheit bezogen wird. Die Chemie stößt auf größeres Interesse, wenn ein Alltagsbezug hergestellt werden kann. In der Biologie werden insbesondere gegen Ende der Sekundarstufe I eine Betonung der Umweltproblematik und die Humanbiologie als interessant eingestuft. Daß insbesondere Mädchen von einem an interessanten Kontexten orientierten Unterricht profitieren (ohne daß sich für die Jungen ein Nachteil ergeben hätte), konnte in einem BLK-Modellversuch ("Chancen-

gleichheit") nachgewiesen werden (Näheres siehe in den Erläuterungen zu Modul 7). Im Gegensatz zu einer Kontrollgruppe empfanden die Mädchen solchen Unterricht ebenso motivierend wie die Jungen und ihr Selbstvertrauen, etwas in den Naturwissenschaften leisten zu können, war deutlich gegenüber der Kontrollgruppe angehoben. Auch die am Ende des Schuljahrs erhobenen Behaltensleistungen waren für beide Geschlechter erfreulich hoch und signifikant besser als im zum Vergleich herangezogenen herkömmlichen Unterricht. Hier eine Übersicht über interessefördernde Kontexte im Physikunterricht:

- Die Einbettung in **alltägliche Erfahrungen** und Beispiele aus der **Umwelt** der Schülerinnen und Schüler ist generell interessenfördernd, für Mädchen jedoch nur, wenn sie dabei auf Erfahrungen zurückgreifen können, die sie tatsächlich gemacht haben können. (Negativbeispiel: Erfahrungen mit Werkzeugen oder Maschinen).
- Inhalte mit einer **emotional positiv** getönten Komponente, also etwa **Phänomene** über die man **staunen** kann, werden generell als interessant empfunden. Mädchen sind dabei eher über ein die Sinne unmittelbar ansprechendes Erleben (z.B. Naturphänomene) erreichbar und weniger über erstaunliche technische Errungenschaften (Negativbeispiel: Leistung von Motoren).
- Das Interesse an einer Behandlung der **gesellschaftlichen** Bedeutung der Naturwissenschaften ist generell relativ hoch: bei Mädchen um so höher, je älter sie sind und je deutlicher eine unmittelbare Betroffenheit angesprochen wird.
- Das Interesse an einem Bezug zum **menschlichen Körper** ist generell groß. Dazu gehören vor allem Anwendungen in der medizinischen Diagnostik und Therapie, Gefährdungen der Gesundheit und Erklärungen der Funktionsweise von Sinnesorganen.
- Weitgehend **kontextfrei** formulierte Aufgaben vom Typ "Ein Körper der Masse M hängt an einem als masselos anzunehmenden Faden und führt unter der Wirkung von ... " werden als weniger interessant empfunden, insbesondere wenn eine quantitative Lösung erwartet wird. Das Interesse steigt, wenn ein **Anwendungsbezug** hergestellt wird, und dabei der Nutzen oder die Notwendigkeit einer Quantifizierung nachvollziehbar ist.

Es sei allerdings nicht verschwiegen, daß die Interessenorientierung auch zusätzliche Schwierigkeiten mit sich bringen kann. Ein in physikalischer Fachsprache geschriebener Aufgabentext läßt leichter einen Lösungsansatz finden als ein umgangssprachlich geschriebener, den interessanten Kontext widerspiegelnder.

„Eingekleidete“ Aufgaben erfordern einen zusätzlichen Transfer, der für Anfänger eine große Hürde darstellt. Man wird deshalb Transferhilfen geben müssen, und man sollte vielleicht zunächst bei *einem* Kontext bleiben und multiple Kontexte erst einführen, wenn eine gewisse Sicherheit der Wissensanwendung in diesem gegeben ist.

Interessenerhebungen haben aber auch gezeigt, daß Tätigkeiten wie Texte lesen, Rechnen, Aufgabenlösen oder (chemische) Gleichungen aufstellen auf ein deutlich geringeres Interesse stoßen als Tätigkeiten wie Versuche beobachten oder etwas bauen. Wenn der Unterricht also

im Sinne von Modul 1 eine Schwerpunktverlagerung in Richtung auf Aufgabenlösen vornimmt, dann bedeutet das einen Verzicht auf traditionelle Motivationsmittel. Experimente mit ihren unterhaltenden Qualitäten und die auf Erlangung von Verstärkung angelegte Beteiligung am Unterrichtsgespräch erhalten zwangsläufig geringeren Raum als Tätigkeiten, die mit Anstrengung und intellektueller Eigentätigkeit verbunden sind. An die Stelle dieses gängigen Motivationsmittels wird in erster Linie die Kompetenzmotivation treten müssen. Das Erfahrbarmachen von Kompetenzzuwachs (Modul 5) findet aber in einem an Modul 1 orientierten Unterricht relativ günstige Bedingungen:

- Aufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad ermöglichen eine Anpassung an unterschiedliches Leistungsvermögen
- Unterschiedliche Aufgabentypen ermöglichen eine Anpassung an unterschiedliche Präferenzen und Kompetenzen
- Die Einbettung in geeignet gewählte Kontexte ermöglicht eine Anpassung an die Interessen und Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler
- Die Vorgabe von Aufgaben mit Beispiellösungen ermöglicht den schrittweisen Aufbau von Kompetenz, verringert die Angst vor Mißerfolg und überbrückt die Kluft zwischen totem Wissen und erfolgreicher Anwendung
- Die Einbeziehung länger zurückliegenden Unterrichtsstoffs zwingt zu einer Reaktivierung des früher Gelernten und macht die Kompetenz, einen immer größer werdenden Ausschnitt eines Faches zu beherrschen, erfahrbar.

7.5 Portfolios

Ein in letzter Zeit im Zusammenhang mit der Forderung nach "authentischer Bewertung" von Schülerleistungen häufig genanntes Verfahren ist die Portfolio-Methode. In Anlehnung an die Verwendung des Wortes bei Künstlern, die ihre Arbeiten in einem Portfolio, einer verschnürbaren Mappe, aufbewahren, versteht man hier unter Portfolio eine Sammlung von Dokumenten, die von den Schülerinnen und Schülern im Laufe der Zeit angefertigt und in einer Mappe (Schnellhefter, Ordner) gesammelt werden. Und so wie junge Künstler auch heute noch ihre "Mappe" mit ihren überzeugendsten Arbeiten zusammenstellen und damit z.B. gegenüber dem Aufnahmegremium einer Kunstakademie ihre künstlerische Potenz dokumentieren, so sollen die Lernenden überzeugende Evidenzen beibringen, daß sie das zu Lernende beherrschen. Was sie zusammentragen, ist ihnen weitgehend freigestellt und hängt von ihren individuellen Neigungen, ihrer Kreativität und ihrem Vermögen ab, das Gelernte in einer Form zu präsentieren, die originell, authentisch und überzeugend ist.

In der Literatur werden folgende Vorzüge besonders hervorgehoben:

Die Bewertung nach der Portfolio-Methode

- fußt auf Beiträgen, die über einen längeren Zeitraum entstanden sind, so daß Entwicklungen sichtbar werden können

- ist weniger punktuell als andere Verfahren, indem sie sich auf eine über viele Einzeldokumente gestreute Evidenz gründet
- läßt den Bewerteten viel Freiraum zur individuellen Gestaltung und gibt ihnen eine faire Chance, ihre Stärken zu zeigen
- minimiert Prüfungsangst.

Erfahrungen mit der Portfolio-Methode liegen vor allem aus USA vor, wo sie viele Anhänger in allen Schulstufen gefunden hat. Forschungsergebnisse deuten darauf hin, daß Schülerinnen und Schüler diese Methode mögen und mehr Zeit als üblich außerhalb der Schule verbringen, sich mit naturwissenschaftlichen Themen zu beschäftigen. Viele erfaßt ein ausgesprochener "Sammler- und Jägertrieb" und sie lassen nicht locker, bis sie eine noch bessere Evidenz aufgespürt haben. Ihre Beiträge zeigen eine erfreuliche Tendenz, persönliche Erfahrungen mit naturwissenschaftlichen Phänomenen aus ihrem Alltagsleben zu integrieren. Die Methode ist auch geeignet, die Eigenverantwortung für den Lernprozeß zu stärken. Befürchtungen, daß man darüber den "harten Kern" der Naturwissenschaften weniger ernst nehmen könnte, sind offenbar unbegründet. Ein Leistungsvergleich mit anderen Lerngruppen, die mit traditionellen Testaufgaben bewertet wurden, ergab keine signifikanten Unterschiede in einem abschließenden "harten" Test mit klassisch formulierten Aufgaben.

Im Zusammenhang mit im Rahmen von Modul 1 zu erprobenden Maßnahmen könnte die Portfoliomethode in folgender Weise eingesetzt werden: Nachdem Schülerinnen und Schüler Aufgaben in einem bestimmten Gebiet durchgearbeitet haben, werden sie aufgefordert, in ihrer häuslichen, natürlichen oder technischen Umgebung nach weiteren Evidenzen für die diesem Gebiet eigenen Prinzipien, Regeln oder Gesetzen zu fahnden. Ihre Fundstücke könnten sie dann in Form von weiteren Aufgaben mit der Angabe der Lösung formulieren. Von der Lehrkraft korrigiert und mit Änderungsvorschlägen versehen, könnten die revidierten Aufgaben dann anderen Schülern vorgelegt werden, die sich bei ihren Lösungsversuchen von den "Autoren" anleiten lassen können. Das würde - außer den offenbar günstigen Wirkungen der Portfoliomethode selbst - eine Stärkung der Kooperation untereinander (jeder ist sowohl Lerner wie Tutor) und der Eigenverantwortung für den Lernprozeß bedeuten.

Außerdem kann die Portfoliomethode der Vernetzung des Wissens dienen. Durch das Sammeln der unterschiedlichsten Anwendungsfälle zu einem Gesetz oder Lösungsprinzip wird nicht nur der Anwendungsbereich abgesteckt; das Wissen wird auch mit bislang davon getrenntem Wissen aus anderen Kontexten in Zusammenhang gebracht. Ein vielfach vernetztes Wissen ist jedoch wichtig für den Erwerb von Problemlösekompetenz. Im Unterricht wird darauf oft zu wenig geachtet. Die lineare Ordnung des Stoffes im Lehrbuch, in dem sich der nächste Schritt aus dem vorherigen ergibt, aber Rückbezüge selten und Vorgriffe verpönt sind, ist für den Erwerb von Problemlösekompetenz wenig günstig. Sie ist an der Logik des Beweises orientiert und nicht an der Logik des Anwendens. Hier können Methoden wie das Portfo-

lio, in denen nicht die Systematik des Lehrgangs im Mittelpunkt steht, sondern der Aspektreichtum, Defizite ausgleichen.

Hier ein Beispiel für die Anlage eines solchen Portfolios

Angenommen im Unterricht wurde das Trägheitsprinzip und der Zusammenhang zwischen Bewegungsänderungen und wirksamen Kräften behandelt (1. und 2. Newtonsches Axiom) und entsprechende Aufgaben dazu durchgearbeitet.

Die Schülerinnen und Schüler könnten dann angeregt werden, ein Portfolio mit Aufgaben zu diesem Thema zusammenzutragen, in denen es um folgendes geht:

- (1) Verminderung der bei einem Unfall auf den Körper wirkenden Kräfte (Schutzhelm, Knautschzonen, Airbag)
- (2) Maßnahmen zum Festhalten der Fahrgäste auf ihren Sitzen (Sitzgurte, Kopfstützen)
- (3) Verhaltensregeln zur Verminderung des Unfallrisikos (Bremsweg richtig einschätzen, Fahren bei Nässe)

Die Lehrkraft könnte zur Gestaltung des Portfolios anregen, Aufgaben zu formulieren, die sich darauf beziehen

- ... wie ein "Crashtest" (z.B. mit hartgekochten Eiern, die auf eine mehr oder weniger harte Unterlage fallen) unter Variation bestimmter Variablen (Höhe (bzw. Geschwindigkeit), Dicke und Material der Unterlage) durchgeführt werden kann.
- ... wieviel Zeit bei einer bestimmten Geschwindigkeit zwischen Aufprall und Airbagentfaltung höchstens vergehen darf
- ... die Wirkung von Sitzgurten und Kopfstützen zu demonstrieren
- ... wie Bremsversuche mit dem Fahrrad (mit und ohne "Schrecksekunde") durchgeführt werden können
- ... was alles nicht mehr funktionieren würde, wenn es keine Reibung gäbe.

Die Schülerinnen und Schüler sollten jedoch ermuntert werden, auch andere, selbstgefundene Evidenzen für die Wirksamkeit der Newtonschen Axiome zu finden. Ausschlaggebend ist die Qualität der Beiträge, nicht die Menge.

Zusammenfassung von Kapitel 7	
Für die konkrete Arbeit an Modul 1 interessante Anregungen	
Lernen aus Beispielen und Selbsterklärungen	Schrittweise Hinführung zur selbständigen Aufgabenlösung und Anpassung an individuelle Fähigkeiten
Aus Fehlern lernen	Vermittlung von "negativem" Wissen zur Stabilisierung des "positiven" Wissens
Interessenorientierung und Motivation	Induzierung von Lernmotivation und Hilfe bei der Auswahl von interessanten Anwendungskontexten
Portfolios	Anregungen, wie Schüler in die Aufgabenfindung und -lösung einbezogen werden können

8. Womit könnten die Arbeitsgruppen in den Schulen beginnen?

Die BLK-Programmförderung "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" ist als Schulentwicklungsprogramm eine Initiative, die auf die Kompetenzen der Lehrkräfte setzt, den eigenen Unterricht weiterzuentwickeln. Der Erfolg hängt entscheidend vom Engagement der an den Pilot- und Netzwerkschulen installierten Arbeitsgruppen ab. Wichtig wäre in diesem Zusammenhang, daß sich pro Fach mehrere Lehrkräfte zusammentun und daß sich die so gebildeten Fachgruppen in allgemeinen Fragen des Vorgehens und in Fragen der fachlichen Koordination regelmäßig verständigen. Dabei könnte z.B. erörtert werden, welche Spielregeln man sich geben will, damit man als Team fruchtbare Arbeit leisten kann. Wichtig wäre es auch, sich Klarheit darüber zu verschaffen, wie man am besten die eigenen Vorstellungen und Ideen verwirklichen und trotzdem vom know-how anderer profitieren kann. Dies gilt unabhängig davon, welches der 11 Module oder welche Modulkombination für die Schulentwicklung ausgewählt wurde.

Auf Modul 1 "Weiterentwicklung der Aufgabenkultur" bezogen, könnten die Arbeitsgruppen folgenden Fragen nachgehen:

Fragen, die sich auf den bisherigen Umgang mit Aufgaben beziehen

- Welche Aufgaben haben wir bisher in einer bestimmten Unterrichtseinheit benutzt?
- Welche Ziele wurden damit verfolgt?
- Von welchem Typus (eher innerfachlich oder die Bedeutung, Chancen und Risiken der Naturwissenschaften betreffend) waren diese Aufgaben hauptsächlich?

- In welchem unterrichtlichen Zusammenhang (Einstieg, Erarbeitung, Übung, Wiederholung, Stillarbeit, Gruppenarbeit, Hausaufgaben, Leistungsnachweis) standen diese Aufgaben in erster Linie?
- Welchen Teil der Unterrichtszeit nehmen Aufgaben ein?
- Welche Aufgaben haben sich generell als leicht, welche als besonders schwierig erwiesen?
- Welche Fehler wurden hauptsächlich gemacht?
- Welche Maßnahmen haben wir ergriffen, um das Lösen von Aufgaben zu erleichtern?

Fragen, die sich auf den zukünftigen Umgang mit Aufgaben beziehen

- Mit welcher Unterrichtseinheit könnten wir anfangen, Maßnahmen im Sinne von Modul 1 zu erproben?
- Wie wären unsere bisherigen Aufgaben zu dieser Einheit im Hinblick auf die Verwirklichung allgemeiner Ziele (s. Kapitel 3.2) zu ergänzen oder zu modifizieren?
- Wie könnten wir den Stellenwert der Aufgaben vergrößern?
- Wie könnten wir diese Aufgaben im Hinblick auf
 - (1) unterschiedliche Lösungswege,
 - (2) unterschiedliche Anwendungskontexte und
 - (3) die Verknüpfung von altem und neuem Unterrichtsstoff
 ergänzen oder modifizieren?
- Wie könnten wir diese Aufgaben im Hinblick auf unterschiedliche Unterrichtsphasen ergänzen oder modifizieren?
- Welche dieser Aufgaben wären geeignet, anhand von mehr oder weniger ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, den Schülerinnen und Schülern das Lösen von Aufgaben zu erleichtern?

Fragen, die sich auf die Entwicklung von Aufgabensequenzen beziehen

- Wie können wir die Vermittlung neuen Stoffs mit der Bearbeitung von Aufgaben verbinden? (z.B. Entwicklung eines Lehrgangs für ein Teilgebiet der Physik, in den gelöste Beispielaufgaben integriert sind)
- Welches Teilgebiet eignet sich besonders für die schrittweise Hinführung zur Quantifizierung beim Aufgabenlösen? (Entwicklung von Aufgaben mit halbquantitativen Lösungen und von Aufgaben, die sich graphisch lösen lassen; quantitative Betrachtungen ohne Formeln)
- Wie schnell können wir in einer bestimmten Klasse von ausgearbeiteten Beispielen zum selbständigen Problemlösen übergehen? (Entwicklung von Aufgabensequenzen mit ausgearbeiteten Lösungen abnehmender Ausführlichkeit und zunehmender Anforderungen an das Mitdenken)
- Welche Möglichkeiten der inneren Differenzierung ergeben sich in einem bestimmten Gebiet? (Entwicklung von Aufgaben zur Einübung des Basiswissens für langsame Lerner)

und von Aufgaben zur Erschließung von über das Curriculum hinausgehendem Stoff für schnelle Lerner)

Fragen, die sich auf kleinere von Lehrkräften durchgeführte Projekte beziehen

- Wie könnten wir Informationen über die Schwierigkeiten erhalten, mit denen unsere Schülerinnen und Schüler beim Lösen einer Aufgaben konfrontiert sind (z.B. durch Aufforderung zum lauten Denken, durch Interviews, durch Aufgabensequenzen mit schrittweise erhöhter Schwierigkeit)?
- Wieviel erklärender Text in den Lösungsbeispielen ist für welche Schülergruppe optimal?
- Wie könnte ein Förderprogramm für das Selbsterklären aussehen?
- Wie ließen sich Teilaspekte thematisch verwandter Module (z.B. "Aus Fehlern lernen", "Zuwachs von Kompetenz erfahrbar machen: kumulatives Lernen", "Entwicklung von Aufgaben für die Kooperation von Schülern", "Verantwortung für das eigene Lernen stärken" und "Prüfen: Erfassen und Rückmelden von Kompetenzzuwachs") bei der Bearbeitung von Modul 1 berücksichtigen.

Fragen, die sich auf die Sicherung von Ressourcen beziehen

- Woher bekommen wir für die Ergänzung oder Modifizierung der Aufgaben Anregungen von außen?
- Können wir Schülerwettbewerbe einbeziehen?
- Welchen Referenten in einem Landesinstitut oder welchen Hochschullehrer könnten wir um eine Zusammenarbeit bitten?
- Welche Möglichkeiten bestehen, mit anderen Schulen, die an der gleichen Problematik arbeiten, z.B. über das Internet zu kommunizieren und Arbeitsergebnisse auszutauschen?
- Wie bereiten wir unsere eigenen Arbeitsergebnisse auf, damit sie von anderen genutzt werden können?
- Welche Fachliteratur wäre geeignet, uns in speziellen Fragen weiterzuhelfen?
- Wie könnten wir die Expertise der Koordinierungsstelle (IPN) nutzen?

Anhang 1

Beispiellösungen in unterschiedlicher Ausführlichkeit

Angenommen, im (Oberstufen-) Unterricht ist der Energiesatz der Mechanik, die Kraftzerlegung und die Zentripetalkraft bei der Kreisbewegung behandelt worden. Dann könnte folgende Aufgabe gestellt werden:

Beispiel 18

Ein kleines (aber mutiges) Mädchen rutscht vom höchsten Punkt einer halbkugelförmigen, äußerst glattpolierten Kuppel auf dieser herunter. Auf welcher Höhe über dem Erdboden hebt sie von der Kuppel ab?

Es handelt sich um eine Standardaufgabe, die man in unterschiedlichen Variationen in verschiedenen Aufgabensammlungen findet. Die ausgearbeitete Lösung liegt dort meist zwischen den in folgenden angegebenen Versionen 2 und 3, wobei manchmal die physikalische Argumentation gegenüber der mathematischen Durchführung etwas kurz wekommt.

Version 1 : Luxusanleitung mit großer Ausführlichkeit

Auf was mußt du bei diesem Aufgabentext achten?

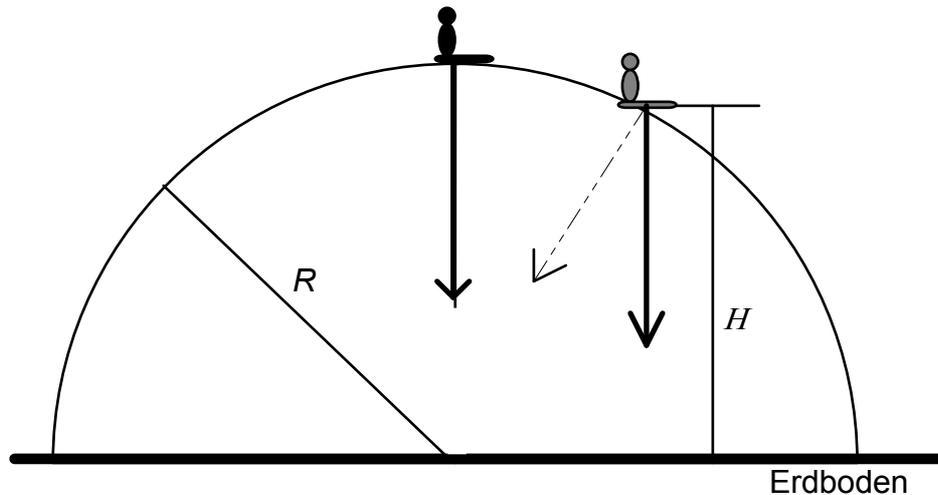
Zunächst mußt du einmal unterscheiden zwischen Wichtigem und Unwichtigem. Für die Lösung der Aufgabe unwichtig ist es, daß das Mädchen klein und mutig ist (auch wenn dich das erstaunt oder du es sympathisch findest). Es ist sogar unwichtig, daß es überhaupt ein lebendiges Wesen ist. Die Physik, die du brauchst, um die Lösung zu finden, wäre die gleiche, wenn es einfach hieße: Ein Gegenstand rutscht vom höchsten Punkt"

Was ist nun aber wichtig? Verräterisch ist zum Beispiel der Hinweis, daß es eine "äußerst glattpolierte" Kugel ist. Da will dir der Aufgabensteller sagen, daß du ja nicht auf die Idee kommen sollst, zwischen dem Hosenboden und der Kugeloberfläche gäbe es so etwas wie Reibung. Das macht die Lösung schon einmal wesentlich einfacher. Wichtig könnte natürlich auch die Form der Kuppel sein, denn das Herunterrutschen von einer gewölbten Fläche verläuft sicher anders als von einem normalen Dach.

Ganz wichtig ist aber auch, daß du verstehst, was es mit dem Abheben auf sich hat. Davon später mehr.

Wie kannst du dir vorstellen, was beim Herrunterrutschen abläuft?

Am besten machst du dir erst einmal eine Zeichnung. Etwa so



... Zu Beginn der Rutschpartie sitzt das Mädchen am höchsten Punkt der Kuppel. Die habe den Radius R . Das Mädchen wird mit seinem ganzen Gewicht senkrecht nach unten auf die Kuppel gedrückt (dicker schwarzer Pfeil). Wenn es so weit gerutscht ist, daß es sich nur noch die Strecke H über dem Erdboden befindet, wird es mit einer kleineren Kraft auf der Kuppel gehalten (gestrichelter Pfeil), nämlich mit der Komponente der Gewichtskraft, die senkrecht auf der Kuppeloberfläche steht. Damit es weiterhin auf der Kuppeloberfläche haften bleibt, muß es mit einer bestimmten Mindestkraft auf diese gedrückt werden, nämlich mit der Zentripetalkraft, die zum Durchlaufen der Kreisbahn nötig ist. Sobald diese Mindestkraft bei weiterem Abwärtsrutschen unterschritten wird, verliert das Mädchen den Kontakt zur Kuppel und "hebt ab".

Wie kannst du dir einen Lösungsplan machen?

Du brauchst also einerseits die Gewichtskraftkomponente senkrecht zur Kuppeloberfläche (die Länge des gestrichelten Pfeils) mit der das Mädchen auf die Kuppel gedrückt wird, andererseits die Zentripetalkraft. Da letztere von der Geschwindigkeit abhängt, brauchst du für die Lösung also auch die Geschwindigkeit des Mädchens im Moment des Abhebens. Das ist aber kein Problem: Beim Herabrutschen verliert sie allmählich an Höhe und der Verlust an Lageenergie muß sich nach dem Energieerhaltungssatz in ihrer Bewegungsenergie wiederfinden. Aus dem Höhenunterschied läßt sich also auf die gewonnene Geschwindigkeit schließen.

Besonders gewissenhafte Problemlöser würden sich jetzt vielleicht noch Gedanken darüber machen, woher sie das Gewicht des Mädchens nehmen sollen. Aber im allgemeinen kann man sich darauf verlassen, daß Daten, die in der Aufgabenstellung nicht mitgeteilt werden, auch nicht für die Lösung gebraucht werden.

Wie läßt sich dieser Plan durchführen?

Jetzt bist du so weit, daß du die Einzelheiten der Lösung ausarbeiten kannst, d.h. du mußt folgende Größen berechnen:

- (a) Die (geschwindigkeitsabhängige) Kraft, die bei einer Bewegung auf der Kuppeloberfläche (also auf einer Kreisbahn) herrschen muß:

Von der Kreisbewegung weißt du, daß diese Kraft zum Kreismittelpunkt hin gerichtet ist und die Größe $m v^2 / R$ hat.

- (b) Die Geschwindigkeit v aus dem Energiesatz:

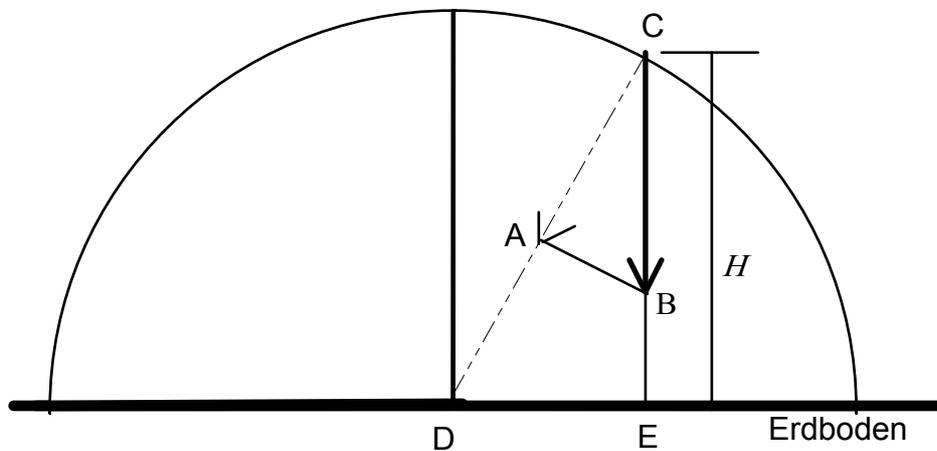
Beim Herrunterrutschen vom höchsten Punkt bis auf die Höhe H nimmt die Höhe des Mädchens um den Betrag $R - H$ ab. Die Abnahme der Lageenergie ist also $m g (R - H)$ und ist gleich der Zunahme der Bewegungsenergie, also einfach $m v^2 / 2$, weil die Bewegungsenergie am Anfang 0 war. Somit gilt

$$m g (R - H) = m v^2 / 2$$

oder durch m geteilt:

$$g (R - H) = v^2 / 2$$

- (c) Die Gewichtskraftkomponente AC senkrecht zur Kuppeloberfläche (gestrichelter Pfeil). Dazu brauchst du ein wenig Geometrie.



Betrachte die beiden Dreiecke ABC und DEC . Sie stimmen in allen drei Winkeln überein. Einander entsprechende Seiten unterscheiden sich deshalb in ihrer Länge um einen konstanten Faktor. Somit gilt

$$CE : CD = CA : CB$$

oder auch mit $CE = H$, $CD = R$, $CA = F_{\text{senkrecht}}$ und $CB = m g$

$$H : R = F_{\text{senkrecht}} : m g \quad \text{oder}$$

$$F_{\text{senkrecht}} = H m g / R$$

Damit ergibt sich für die Abhebe-Bedingung :

$$m v^2 / R = H m g / R$$

oder durch m geteilt und mit R malgenommen

$$v^2 = H g$$

Wie erhält man die Lösung?

Wenn man so weit alles durchdacht hat, ist die Lösung einfach. Es stehen zwei Gleichungen zur Verfügung:

$$(1) v^2 = H g$$

$$(2) v^2 / 2 = g (R-H)$$

Einsetzen der ersten in die zweite ergibt:

$$H g / 2 = g R - H g$$

$$H / 2 = R - H$$

$$\underline{H = 2/3 R}$$

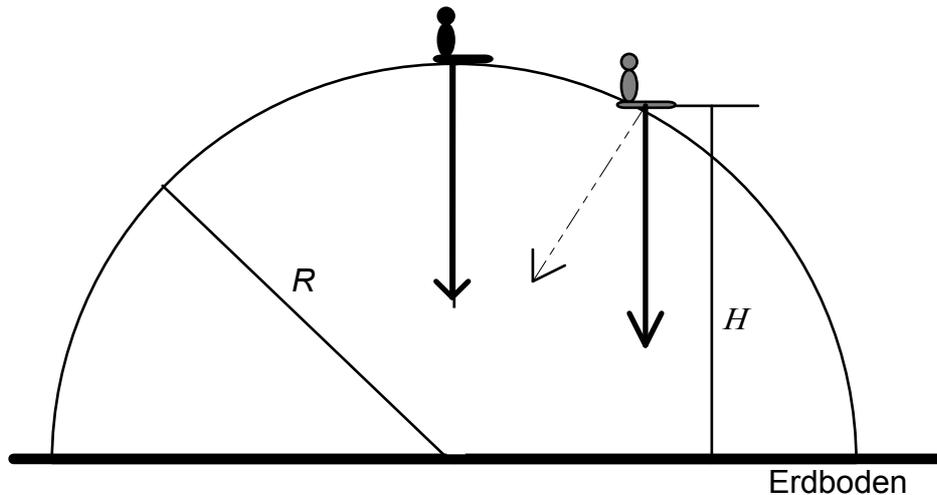
In Worten: Das Mädchen hebt in einer Höhe H von der Kuppeloberfläche ab, wenn H zwei Drittel des Kuppelradius beträgt.

Ist diese Lösung vernünftig?

Es lohnt sich immer, zu überprüfen, ob ein Ergebnis im Rahmen dessen bleibt, was man erwarten kann. Wäre z.B. durch einen Rechenfehler in den letzten Zeilen das Ergebnis $H = 3/2 R$ herausgekommen, dann könnte das nicht richtig sein, denn H darf ja nicht größer als die Anfangshöhe R sein. Auch der Umstand, daß rechts und links vom Gleichheitszeichen eine Länge steht, spricht für die Richtigkeit der Lösung. Schließlich ist es plausibel, daß für eine Minikuppel auch eine Minihöhe herauskommt. Man kann also einiges Vertrauen in die Richtigkeit der Lösung haben.

*

Bemerkung zu dieser Lösungsanleitung: Möglicherweise ist hier schon etwas zu viel des Guten getan worden, so daß die Selbsterklärungskräfte nicht genügend stimuliert werden. Aber wie gesagt, es hängt vom Wissensstand der Aufgabenlöser ab, und man müßte es im konkret gegebenen Fall ausprobieren. Eines sollte aber deutlich geworden sein: Die Übersetzung des umgangssprachlichen Aufgabentextes in eine physikalische Repräsentation des Problems ist relativ aufwendig. Daß diese Übersetzungsleistung der eigentlich schwierige Teil der Aufgabe ist, wird oft unterschätzt. Deutlich wird auch, daß die Überlegungen, die zu der Abhebebedingung führen, qualitativer Natur sind. Die Übersetzung in eine mathematische Repräsentation ist dann eine vergleichsweise einfache Übung, die Eliminierung einer unbekanntes und die Berechnung der gesuchten Größe eine Routineangelegenheit.

Version 2: Lösungsanleitung mit eingeschränkten Hilfen


Zu Beginn sitzt das Mädchen am höchsten Punkt der Kuppel. Es wird mit seinem ganzen Gewicht senkrecht nach unten auf die Kuppel gedrückt (dicker schwarzer Pfeil). Wenn es so weit gerutscht ist, daß es sich nur noch die Strecke H über dem Erdboden befindet, wird es mit einer kleineren Kraft auf der Kuppel gehalten (gestrichelter Pfeil), nämlich mit der Komponente der Gewichtskraft, die senkrecht auf der Kuppeloberfläche steht. Damit es weiterhin auf der Kuppeloberfläche haften bleibt, muß es mit einer bestimmten Mindestkraft auf diese gedrückt werden, nämlich mit der Zentripetalkraft, die zum Durchlaufen der Kreisbahn nötig ist. Sobald diese Mindestkraft bei weiterem Abwärtsrutschen unterschritten wird, hebt das Mädchen ab.

Du mußt also folgende Größen berechnen:

(a) Die Kraft, die bei einer Bewegung auf der Kuppeloberfläche (also auf einer Kreisbahn) herrschen muß:

Von der Kreisbewegung weißt du, daß diese Kraft zum Kreismittelpunkt hin gerichtet ist und die Größe $m v^2 / R$ hat.

(b) Die Geschwindigkeit v :

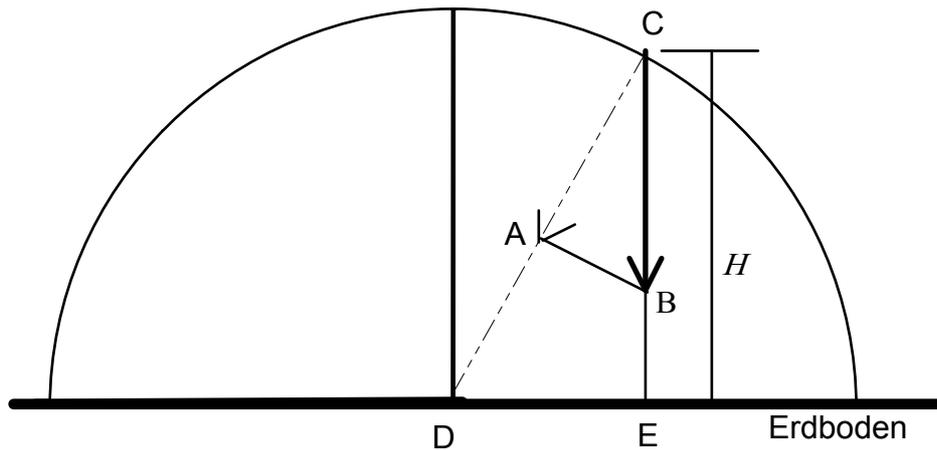
Beim Herrunterrutschen vom höchsten Punkt bis auf die Höhe H nimmt die Höhe des Mädchens um den Betrag $R - H$ ab. Die Abnahme der Lageenergie ist also $m g (R - H)$ und ist gleich der Zunahme der Bewegungsenergie, als $m v^2 / 2$. Somit gilt

$$m g (R - H) = m v^2 / 2$$

oder

$$\text{Gleichung (1)} \quad g (R - H) = v^2 / 2$$

(c) Die Gewichtskraftkomponente AC senkrecht zur Kuppeloberfläche (gestrichelter Pfeil).



Aus der Ähnlichkeit der beiden Dreiecke ABC und DEC folgt

$$CE : CD = CA : CB$$

oder auch mit $CE = H$, $CD = R$, $CA = F_{\text{senkrecht}}$ und $CB = m g$

$$H : R = F_{\text{senkrecht}} : m g$$

oder

$$F_{\text{senkrecht}} = H m g / R$$

Damit ergibt sich für die Abhebe-Bedingung :

$$m v^2 / R = H m g / R$$

oder

$$\text{Gleichung (2) } v^2 = H g$$

Einsetzen von Gleichung (1) in Gleichung (2) ergibt:

$$H g / 2 = g R - H g$$

$$H / 2 = R - H$$

$$\underline{\underline{H = 2/3 R}}$$

Version 3: Lösungsanleitung mit stärker reduzierten Hilfen

Das Mädchen verläßt die Kreisbahn, wenn die Kraft mit der es aufgrund seines Gewichts auf die Kuppel gedrückt wird, nicht mehr ausreicht, um die für die Kreisbahn mit dem Radius R notwendige Zentripetalkraft $m v^2 / R$ zu liefern. Im Punkt des Abhebens sind also beide Kräfte gleich

$$F = m v^2 / R \quad (1)$$

F ist die Komponente des Gewichts $m g$ senkrecht zur Kuppeloberfläche. Wenn das Mädchen in der Höhe H abhebt, erhält man aus der Geometrie

$$F = m g H / R \quad (2)$$

Um H aus beiden Gleichungen bestimmen zu können, muß man noch die Geschwindigkeit v im Moment des Abhebens kennen. Man erhält sie aus dem Energiesatz

$$m g (R - H) = m v^2 / 2 \quad (3)$$

Auflösen von (3) nach v^2 , Einsetzen in (1) und anschließendes Gleichsetzen von (1) und (2) führt nach elementaren Rechnungen zum Ergebnis

$$\underline{\underline{H = 2/3 R}}$$

Version 4: Lösungsanleitung für fortgeschrittene Problemlöser

- Mache zuerst eine Zeichnung.
- Versuche, dir über die Bedingung klar zu werden, die im Punkt des Abhebens erfüllt sein muß. Beachte dabei, daß das Mädchen vor dem Abheben auf einer Kreisbahn gehalten werden muß.
- Die Berechnung der Geschwindigkeit ist mit Hilfe des Energiesatzes möglich.
- Das Ergebnis ist $H = 2/3 R$.

Anhang 2

Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht (Modul 1)

(Auszug aus der Expertise "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts")

"Entscheidend für die Motivierung des Lernens und für ein verständnisvolles Erschließen von Wissen sind die Aufgabenstellungen, an denen Schülerinnen und Schüler neuen Stoff im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht erarbeiten. In motivationaler wie kognitiver Hinsicht nicht minder bedeutsam sind die Aufgaben, die zur Konsolidierung und Übung des erworbenen Wissens dienen. Mit der didaktischen Konzeption von Aufgabenstellungen werden Aspekte oder Teilskripts des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts reflektiert und geprüft, die relativ konkret und gut eingegrenzt sind. In der Weiterentwicklung von Aufgabenstellungen und der Form ihrer Bearbeitung liegt ein beträchtliches Potential zur Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Die Erarbeitung von neuem Stoff wird sowohl durch die Aufgabenstellung selbst als auch durch die Art ihrer Präsentation und die Form ihrer Behandlung im Unterricht bestimmt. Beides zeichnet die Art des zu erwerbenden Wissens vor. Die Unterrichtsführung kann auf die Erarbeitung einer Lösung, die Beherrschung eines Algorithmus oder die Automatisierung einer Routine angelegt sein oder aber die Vielfalt möglicher methodischer Zugangsweisen und Lösungswege herausstellen. Bestimmte Aufgabenstellungen begünstigen die eine oder andere Vorgehensweise. Es ist unter Fachkundigen unstrittig, daß bestimmte Stoffe und Themen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht vernünftigerweise konvergent mit dem Ziel unterrichtet werden, bestimmte Verfahren zu sichern und zu automatisieren. Problematisch ist dieses Vorgehen dann, wenn es ein Unterrichtsfach insgesamt prägt und damit schematisches Arbeiten begünstigt und den auf Verständnis beruhenden Erwerb flexiblen Wissens erschwert. Die Engführung der Erarbeitung des neuen Stoffs im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch auf eine einzige Lösung und Routine hin ist für den Mathematikunterricht und aller Wahrscheinlichkeit nach auch für den Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern in Deutschland charakteristisch.

Um zu einer größeren methodischen Variabilität zu kommen, sollten in einem Schwerpunkt des geplanten Programms Aufgabentypen entwickelt und erprobt werden, die mehrere Vorgehensweisen und unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten zulassen oder geradezu anbieten. Darüber hinaus sollte aber auch geprüft und erprobt werden, wie traditionelle, bereits eingeführte Aufgabenstellungen in einer Form dargeboten und bearbeitet werden können, die es erlaubt, multiple Zugangswege fruchtbar zu machen. Ziel ist es, Schülerinnen und Schüler auf unterschiedlichen Kompetenzniveaus anzuregen, ihnen zugängliche Lösungen zu finden, die dann im Unterricht vergleichend analysiert werden könnten. Besonders im Vergleich qualitativ unterschiedlicher Lösungswege, ihrer Begründungen und Probleme kann sich Verständnis entfalten.

Abwechslungsreiche Anwendungsaufgaben in variierenden Kontexten geben dem Durcharbeiten und Üben Reiz und Bedeutung und tragen zur Konsolidierung des Wissens bei. Neben den Prüfungsauf-

gaben definieren vor allem sie die Standards dessen, was von Schülern am Ende einer Unterrichtseinheit erwartet wird. Zusätzliche Strukturveränderungen in den Aufgaben schaffen anspruchsvolle Denk- und Übertragungsprobleme, die Wissen flexibilisieren. Neben einer Reflexion der gängigen Übungspraxis bietet es sich an, Übungsaufgaben unter bestimmten Gesichtspunkten (z.B. Variieren von Inhalten, Kontexten und Strukturen) zu konstruieren, zu erproben, auszutauschen und zu dokumentieren. Entsprechend abgestufte und durchdachte Aufgaben lassen die Schüler selbst spüren, wo weiterer Übungsbedarf besteht. Sie liefern zudem diagnostische Information über individuelle Verständnisprobleme und Lernschwierigkeiten.

Bislang ist es noch nicht befriedigend gelungen, systematisches Wiederholen auch länger zurückliegender Stoffe so in den Unterricht zu integrieren, daß es sich harmonisch in die Erarbeitung, Konsolidierung und Übung des neuen Stoffs einfügt. Vernetztes Wissen und die individuelle Erfahrung allmählichen Kompetenzzuwachses verlangen aber gerade dies. Ursachen für die Randständigkeit des Wiederholens - Randständigkeit auch im wörtlichen Sinne: denn oftmals eröffnet die Wiederholungsphase den Unterricht mit der Rekapitulation des Stoffes der vorangegangenen Unterrichtsstunde - sind vielfältig. Dazu gehören die relativ geringe vertikale Vernetztheit der Themen und Stoffe im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht, ein Unterrichtsskript, das vornehmlich den Erwerb neuer Routinen begünstigt, und Klassen-(Schul-)arbeiten, die im wesentlichen nur den jüngst durchgenommenen Stoff prüfen. Ein unterrichtsbezogener Schwerpunkt des geplanten Programms sollte sich mit der Integration der systematischen Wiederholung auch des länger zurückliegenden Pensums in die Erarbeitung, Konsolidierung und Übung neuer Stoffe beschäftigen. Unter dieser Perspektive müssen Aufgabenstellungen überprüft, modifiziert, teilweise auch neu entwickelt und erprobt werden.

Die Bemühungen der Lehrkräfte und Fachgruppen um eine Optimierung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht sollten durch fachdidaktische Entwicklungs- und Dokumentationsarbeiten angeregt und unterstützt werden."