

Schülerorientierter Unterricht in den Naturwissenschaften (Vortrag)

Schülerexperimente mit lebensweltlichem Bezug (Workshop)

*IPN Kiel: BLK-Programm
4. zentrale Tagung am 22./23. Nov. 1999 in Gotha/Thüringen*

Prof. Dr. Peter Labudde
Universität Bern / Höheres Lehramt
Postfach
CH - 3000 Bern 9

Tel. 0041 - 31 - 631 46 09
Fax: 0041 - 31 - 631 39 91
E-Mail: labudde@sis.unibe.ch
<http://www.ahl.unibe.ch>

Literaturliste für Vortrag und Workshop

IPN: BLK-Programm – 4. zentrale Tagung am 22./23. Nov. 99 in Gotha

- BLK Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung: Heft 60 — Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. BLK-Geschäftsstelle, Friedrich-Ebert-Allee 39, 53113 Bonn, E-Mail: blk@blk.bn.shuttle.de
- Dreyer, H.P. et al. (1999): Phänomene — Aspekte der Realität in Physikaufgaben. Zürich: Sabe
- Duit, R. (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. In: Zeitschrift für Pädagogik 41/6, 905-923
- EDK - Schweizerische Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren (1994): Dossier 30A: Rahmenlehrpläne für die Maturitätsschulen. Bern: EDK
- Erziehungsdirektion des Kantons Bern (1995): Lehrplan Primarstufe und Sekundarstufe I. Bern: Erziehungsdirektion
- Gasser, P. (1999): Neue Lernkultur - Eine integrative Didaktik. Aarau: Sauerländer
- Gudjons, H. (1995): Spielbuch Interaktionserziehung (6. Auflage): Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Harlen, W. (1999): Effective Teaching of Science - A Review of Research. Edinburgh: Scottish Council for Research in Education.
- Häußler, P.; Bünder, W.; Duit, R.; Gräber, W. & Mayer, J. (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung — Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften
- Knoll, J. (1995): Kurs- und Seminarmethoden. Ein Arbeitsbuch zur Gestaltung von Kursen und Seminaren, Arbeits- und Gesprächskreisen (6. Auflage): Weinheim: Beltz
- Labudde, P. (1993): Erlebniswelt Physik. Bonn: Dümmler
- Labudde, P. (1996): Alltagsphysik in Schülerversuchen (3. Auflage): Bonn: Dümmler
- Labudde, P. (1997): Selbstständig lernen — eine Chance für den Physikunterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht — Physik Heft 37 „Selbstständig Lernen“, 4-9
- Labudde, P. (1998): Konstruktivismus im Physikunterricht der SII. Universität Bern: Höheres Lehramt, 426 Seiten
- Labudde, P. (1999a): Mädchen und Jungen auf dem Weg zur Physik. In: Naturwissenschaften im Unterricht — Physik Heft 49 „Mädchen und Jungen im Physikunterricht“, 4-10
- Labudde, P. (1999b): Reaktionen auf TIMSS in der Schweiz. In: Naturwissenschaften im Unterricht — Physik Heft 54 „TIMSS“, 46-48
- Labudde, P. & Pfluger, D. (1999): Physikunterricht in der Sekundarstufe II: Eine empirische Analyse der Lern-Lehrkultur aus konstruktivistischer Perspektive. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 5/2, 33-50
- Labudde, P. & Stebler, R. (1999): Lern- und Prüfungsaufgaben für den Physikunterricht: Erträge aus dem TIMSS-Experimentiertest. In: Naturwissenschaften im Unterricht — Physik Heft 54 „TIMSS“, 23-31
- Labudde, P.; Herzog, W.; Neuenschwander, M.P.; Violi, E.; Gerber, C. (2000, in press): Girls and physics: teaching and learning strategies tested by classroom interventions in grade 11. Accepted for publication: International Journal of Science Education, about 15 pages
- Landwehr, Norbert: Neue Wege der Wissensvermittlung. Aarau: Sauerländer, 1995 (2. Auflage)
- Monk, M. & Dillon, J. (1996): Learning to Teach Science. London: The Falmer Press
- Moser, U.; Ramseier, E.; Keller, C.; Huber, M. (1997): Schule auf dem Prüfstand — Eine Evaluation der Sekundarstufe I auf der Grundlage der "Third International Mathematics and Science Study (TIMSS)". Chur: Rüegger
- Ramseier, E.; Keller, C.; Moser, U. (1999): Bilanz Bildung — Eine Evaluation der Sekundarstufe II auf der Grundlage der "Third International Mathematics and Science Study (TIMSS)". Chur: Rüegger
- Wagenschein, M. (1970): Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken (Bände I und II). Stuttgart: Klett

Schülerorientierter Unterricht in den Naturwissenschaften (30'-Vortrag)

1) Integration des Vorverständnisses

Theoretische Einführung

Was könnte schülerorientierter Unterricht heissen? In einer ersten (An-) Näherung mag hier ein Zitat Martin Wagenscheins eine Antwort geben¹:

„Ähnliche Fragen, wie sie sich die alten Forscher vorlegten, wird der Lehrer bei den Kindern wiederfinden, wenn er ihnen die Muße und Besinnlichkeit geben kann, ihre Fragen in sich zu finden und auszusprechen. Die Gespräche mit den Schülern sind die nie versiegende Quelle einfacher Einsichten. Gestehen wir Lehrer es uns nur ein, daß wir einen sehr großen Teil unseres Fachwissens nicht dem Studium, sondern erst dem eigenen Unterricht verdanken.“ (Wagenschein 1970/I, S. 42)

Anhand einiger konkreter Fragen von Kindern zu Phänomenen aus Natur und Technik seien dieses Zitat Wagenscheins und die erste Annäherung an den Begriff „schülerorientierter Unterricht“ illustriert.

Beispiel: Kinderfragen zu Phänomenen aus Natur und Technik

Es werden zehn Dias gezeigt und zu jedem Dia je eine Kinderfrage vorgespielt (Stimmen von 5- bis 14-jährigen Kindern auf Tonband):

Bild	Kinderfrage
Turm aus Bauklötzchen	Wie hoch kann man den Turm bauen?
Farbige Sterne	Wieso leuchten die Sterne in verschiedenen Farben?
Eishockey-Feld	Warum schmilzt das Eisfeld bei den Markierungen schneller?
Mond am Tag	Schläft der Mond nicht am Tag?
Wasserläufer	Warum kann der auf dem Wasser laufen?
Ski-Sprungschanze	Was heißt eigentlich kritischer Punkt?
Sonnenstrahlen	Sind das die Finger der Sonne?
Taucher unter Wasser	Warum drückt das Wasser auch auf das untere Ohr?
Hubschrauber im Vorwärtsflug	Ist ein Hubschrauber beim Vorwärtsflug immer nach vorne gekippt?
Blick durch ein rundes bauchiges Weinglas	Ist das wie eine Lupe?

¹ Texte, die hier in einem „Kasten“ erscheinen, wurden im Vortrag/Workshop als Folien präsentiert.

Zu zweit diskutieren die Teilnehmenden während einigen Minuten folgende zwei Fragen:

- Welche Chancen sehen Sie bei dieser Art von Schülerfragen?
- Welche Probleme erwarten Sie?

Der Referent äußert anschließend die Hoffnung, einige der diskutierten Chancen und Probleme in Vortrag und Workshop aufnehmen zu können.

Theoretische Vertiefung

In einer zweiten (An-) Näherung wird die Integration des Vorverständnisses präzisiert:

Das Individuum findet im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht immer wieder Gelegenheit, sein individuelles Vorverständnis explizit einzubringen und zu artikulieren. Das Vorverständnis – aus dem Alltag und aus früherem Unterricht – umfasst konzeptionelles und methodologisches Wissen, die Alltagssprache, Interessen, Einstellungen und Gefühle.

Die Integration des individuellen Vorverständnisses ist zentral für einen schülerorientierten Unterricht und wird deshalb auch hier an erster Stelle im Vortrag genannt. Für ausführlichere Begründungen, die anhand zahlreicher konkreter Beispiele illustriert werden, sei auf folgende Publikationen verwiesen: Labudde (1993, 1997).

Der Referent präsentiert im Weiteren einige empirische Forschungsergebnisse aus einer Schweizer Vertiefungsstudie im Rahmen von TIMSS. Die Ergebnisse zeigen, dass die Integration des Vorverständnisses vor allem mit motivationalen Variablen, wie „Selbstvertrauen in Physik“ und „Beliebtheit des Schulfachs Physik“, positiv korreliert ist (Labudde & Pfluger 1999). Wer an einer tiefgehenden theoretischen Fundierung des Begriffs „Vorverständnis“ und dessen Einbettung in ein konstruktivistisches Gesamtmodell interessiert ist, findet Informationen im BLK-Gutachten sowie bei Duit (1995) und Häußler *et al.* (1998).

2) Balance zwischen systematischem und situativem Lernen

Theoretische Einführung

Was ist mit dieser Balance gemeint? Es wird betont, dass wir als Lehrkräfte nicht nur einer „Stoffverantwortung“, sondern gleichermaßen einer „Lernhilfverantwortung“ verpflichtet sein müssen (die beiden Begriffe stammen von Prof. K. Reusser, Universität Zürich). Konkret heißt dies:

Eine Lern-Lehr-Kultur mit einer Balance zwischen:

- eng geführtem, systematischem Lernen in definierten Wissensdomänen,
- situationsbezogenem Lernen im praktischen Umgang mit lebensweltlichen Problemen.

Beispiel: Die Begriffe „Arbeit“ und „Energie“ in Alltag und Physik

Was bringen Kinder und Jugendliche als Vorverständnis mit? Sie haben unter anderem viele Erfahrungen aus Spiel und Sport: Sie laufen und springen – geradeaus, bergauf und bergab. Sie schwimmen und sie fahren Rad.

Und dann – später im Physikunterricht – sehen sie in einem Physikbuch vielleicht folgendes Bild: eine Schülerin, die vor einer Bergkulisse eine Glas Milch trinkt, mit dem Text: „Die in einem Glas Milch enthaltene Energie entspricht jener Energie, die ein Mensch aufwendet, um Höhenunterschiede von mehr als 1000 m zu überwinden.“ Diese Aussage widerspricht jeglicher Alltagserfahrung: Ein Glas Milch reicht niemals aus, um den „Kalorienverbrauch“ einer Bergtour von mehr als 1000 m Höhe zu kompensieren.

Im Folgenden werden Ideen für eine Unterrichtseinheit skizziert, in der dieser Widerspruch zwischen Alltagserfahrung und physikalischen Definitionen / Berechnungen diskutiert und geklärt werden kann. Dabei kommen unter anderem zur Sprache: die unterschiedlichen Definitionen von Arbeit in Biologie und Physik, statische und dynamische Muskelarbeit, Wirkungsgrad in Arbeits- und Sportphysiologie. Eine ausführlicher Darstellung findet sich im Anhang 1 (kopiert aus Labudde, 1993: „Erlebniswelt Physik“, Dümmler Verlag, S. 42-48).

Theoretische Vertiefung

Eine Balance zwischen systematischem und situativem Lernen:

Im Gutachten zum BLK-Modellversuch heißt es hierzu: „Wie die Gewichte zu verteilen sind, darüber kann man im einzelnen streiten. Ihre Verteilung wird vom Alter und Vorwissen der Schüler, von der Schulform, aber auch von situativen Bedingungen in der einzelnen Schule abhängig sein. Die Expertengruppe ist allerdings der Überzeugung, dass die Verabsolutierung jeweils einer der beiden Seiten zu suboptimalen Lösungen führt.“ (BLK, S. 16)

Eine Balance zwischen Fachsystematik und lebensweltlichem Bezug:

Auch hier ein Zitat aus dem BLK-Gutachten (S. 22): „Wie die Gewichte zu verteilen sind, hängt von der jeweils eingenommen Transferperspektive ab: Zielt man auf kumulativen Wissenserwerb innerhalb eines spezifischen Wissensbereichs, etwa in der Mathematik oder einem naturwissenschaftlichen Fach, so belegen die empirischen Befunde die Wirksamkeit eines systematischen, kognitiv abstrahierenden Lernens: Die gut organisierte Wissensbasis ist die beste Voraussetzung für nachfolgendes Lernen innerhalb einer Domäne. Systematisch angeleitetes Lernen verbessert vor allem den vertikalen Transfer.- Zielt man eher auf lateralen Transfer, auf die Übertragung des Gelernten auf parallele, aber distinkte Anwendungssituationen, dann erweist situiertes Lernen seine Stärke.“

Eine Balance zwischen meinen Fragen (der Lehrkraft) und denjenigen der Lernenden:

Siehe oben Punkt 1, „Integration des Vorverständnisses“.

3) Kommunikation und Kooperation

Theoretische Einführung

Das Beispiel „Arbeit“ hat gezeigt, wie wichtig die Kooperation zwischen Fächern und Lehrkräften ist. Wenn dies verallgemeinert wird, bedeutet das auch: Kooperation, Kommunikation und Disput sind zentral für einen schülerorientierten Unterricht!

Die Kooperation zwischen den Lernenden, das Austauschen von Fragen und Ideen sowie das Führen von wissenschaftlichen Streitgesprächen sind konstitutive Elemente des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts.

Folgende zwei Ziele sind dabei besonders wichtig:

- Kommunikation und Kooperation dürfen nicht als *l'art pour l'art* betrieben werden, sondern sollen als Vehikel dienen, um Kindern und Jugendlichen die Möglichkeit zu geben, ihr Vorverständnis zu artikulieren und mit Gleichaltrigen auszutauschen.
- Neben dem Lernen der Mathematik und Naturwissenschaften haben wir als Lehrpersonen auch eine zentrale Verantwortung für das Erreichen sozialer Ziele. Aus gesellschaftlichen Gründen scheint es mir von immenser Bedeutung, dass wir als Mathematik- und Naturwissenschaftslehrkräfte hier unsere Verantwortung wahrnehmen: Soziales Lernen als ein Ziel auch in unserem Unterricht – genauer: soziales Lernen an der Sache!

Das heißt: Veränderungen bei den Unterrichtsmethoden hin zu kooperativen Lernformen! Als weiterführende allgemeindidaktische Literatur seien folgende Publikationen empfohlen: Gasser (1999), Gudjons (1995), Knoll (1995), Landwehr (1995).

Beispiel: Golden Gate Bridge

Aus Zeitgründen wird das Beispiel nicht im Vortrag, sondern erst im nachfolgenden Workshop aufgenommen (siehe unten).

Theoretische Vertiefung

Im Referat werden einige empirische Forschungsergebnisse präsentiert, die zwei Dinge illustrieren (Labudde 1998, Labudde & Pfluger 1999; Labudde *et al.* 2000):

- Schülerinnen und Schüler schätzen im Allgemeinen Unterrichtsformen (z.B. Partner- und Gruppenarbeiten, Schülerexperimente), die zu vermehrter Kommunikation unter den Lernenden führen.
- Diese Unterrichtsformen, bei welchen die Lernenden in irgendeiner Form an Arbeitsaufträgen arbeiten, verbessern allerdings nur dann den Lernerfolg, wenn erstens die Lehrkraft die Aufträge organisatorisch und inhaltlich vorstrukturiert und zweitens die Lernenden die Möglichkeit erhalten, ihr Vorverständnis explizit einzubringen und auszutauschen.

4) Schluss

Das Referat schließt mit drei Wünschen und Anregungen:

„Was ich vorhin auf die Lernenden, auf die Schülerinnen und Schüler bezogen habe, möchte ich analog auf uns als Lehrende beziehen:

1. Bauen wir auf unseren Stärken auf! Integrieren auch wir unser Vorverständnis, unser Vorwissen, unsere Einstellungen und Gefühle! Bauen wir – hier anknüpfend – in diesem BLK-Modellversuch etwas Neues!
2. Finden wir eine Balance zwischen systematischem Lehren (Lehrplan) und situativem Lernen. Sie haben hier alle Chancen und Freiheiten, weil Sie in einem Modellversuch mitwirken! Nutzen Sie diese Chancen und Freiheiten!
3. Kooperation, Kommunikation und Disput: In diesem Sinn möchte ich zur Diskussion und zum kollegialen Austausch einladen: jetzt im Plenum, anschließend im Workshop, in den Pausen und bei den Mahlzeiten – und vor allem später in Ihren Kollegien und Fachgruppen.

Schülerexperimente mit lebensweltlichem Bezug (120'-Workshop)

1) Einleitung

Der Referent stellt den Workshop unter das Motto des „voneinander, miteinander, übereinander und gegeneinander Lernens“ und verweist darauf, dass dieses Motto gleichermaßen auch im math.-nat. Unterricht und im Schulkollegium gelten sollte:

Im Workshop, im Schulkollegium, im math.-nat. Unterricht:

Lernen

- voneinander
- miteinander
- übereinander
- gegeneinander

In einem ausführlichen, mehr als halbstündigen Gespräch werden zunächst Fragen zum Vortrag „Schülerorientierter Unterricht in den Naturwissenschaften“, zum math.-nat. Unterricht in der Schweiz sowie zu den Schweizer Resultaten in TIMSS diskutiert und beantwortet.

Für eine detaillierte Zusammenstellung der Schweizer TIMSS-Resultate sei verwiesen auf Moser *et al.* (1997) und Ramseier *et al.* (1999). In Labudde (1999b) finden sich Hypothesen, warum die TIMSS-Resultate von Deutschland und der Schweiz unterschiedlich ausgefallen sind.

Schweizer Lehrpläne sind in der Literaturliste unter EDK (1994) und Erziehungsdirektion des Kantons Bern (1995) aufgeführt. Unter Dreyer *et al.* (1999) findet sich eine neue Aufgabensammlung für den Physikunterricht der Sekundarstufe II, unter Labudde & Stebler (1999) die Aufgaben aus dem TIMSS-Experimentierertest, der in der Deutschschweiz, nicht aber in Deutschland durchgeführt wurde.

2) Forschungsergebnisse zu Schülerexperimenten

Zum eigentlichen Thema des Workshops leitet der Referent ein: „Ich sehe Möglichkeiten, die Qualität von Experimenten und insbesondere die Qualität des Lernens durch Experimente weiterzuentwickeln. Mit der Berücksichtigung von fachdidaktischen Forschungsergebnissen, wie sie in den letzten 20 Jahren empirisch gewonnen worden sind, könnte diese Qualität gesteigert werden.“

Im Folgenden führe ich einige dieser Resultate auf: Es sind Punkte, die sich speziell auf Schülerexperimente beziehen. Dies ist eine Möglichkeit kooperativen Lernens, die eine Spezifität des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist. So wie in der Erziehungswissenschaft der Bereich des Kooperativen Lernens ein wichtiges Forschungsfeld ist, bilden Schülerexperimente – als eine Form kooperativen Lernens – ein Forschungsfeld in den Naturwissenschaftsdidaktiken.“

Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht:
empirische fachdidaktische Forschungsergebnisse

- Hohes „time-on-task“ in Schülerexperimenten infolge:
 - organisatorischer Absprachen untereinander,
 - schöner schriftlicher Darstellungen (Texte, Tabellen, Skizzen),
 - des Bemühens um korrekte Rechtschreibung,
nicht aber infolge des Lernens naturwissenschaftlicher Konzepte.
- Aktivitätsformen, freie Interaktionen mit Lehrkraft und Mitschüler/-innen sowie die Selbstbestimmung des Arbeitstempos erhöhen die Motivation für das Fach.
- Experimente können einen Beitrag zum Lernen naturwissenschaftlicher Begriffe, Zusammenhänge und Methoden leisten, wenn:
 - sie neue Erfahrungen ermöglichen,
 - sie den Lernenden Gelegenheit geben, die eigenen Ideen und diejenigen anderer bewusst zu machen und zu diskutieren.

Schülerexperimente sind in Bezug auf das Lernen naturwissenschaftlicher Begriffe und Zusammenhänge im Normalfall nicht effizienter und effektiver als andere Unterrichtsformen. Das chinesische Sprichwort „ich höre und ich vergesse, ich sehe und ich erinnere mich, ich tue und ich verstehe“ wird durch die Resultate naturwissenschaftsdidaktischer Forschung zumindest in diesem Bereich nicht bestätigt (Harlen 1999).

Allerdings erhöhen Schülerexperimente die Motivation für das Fach. Und sie können – unter gewissen Voraussetzungen – auch entscheidende Beiträge für das Lernen naturwissenschaftlicher Begriffe leisten. Beim Einsatz dieser Unterrichtsform gilt es folgende Voraussetzungen zu beachten: den Lernenden neue Erfahrungen ermöglichen, eigene Ideen und diejenigen anderer bewusst machen und diskutieren, (Vor-) strukturieren durch die Lehrkraft (siehe oben: Vortrag Punkt 3).

3) Lebensweltlicher Bezug im systematischen Wissensaufbau

Theoretische Einführung

Der lebensweltliche Bezug ist ein wegweisendes Element für die tägliche Unterrichtsgestaltung. Naturphänomene, Alltagsvorgänge und -gegenstände bilden ein Fundament aller Curricula.

In der fachdidaktischen Literatur wird häufig unterschieden zwischen Alltagsbezug, d.h. dem Bezug zum direkten Alltag der Schülerinnen und Schüler, und lebensweltlichem Bezug, d.h. dem Bezug zur Lebenswelt. Letzterer ist ein Oberbegriff, der die aktuelle Alltagswelt der Lernenden wie auch allfällige zukünftige Erlebnisse und Erfahrungen umfasst. Das folgende Beispiel weist für Jugendliche in Mitteleuropa wohl einen lebensweltlichen Bezug, aber keinen Alltagsbezug auf.

Beispiel: Der Bau der Golden Gate Bridge

Am Anfang einer kurzen Unterrichtseinheit werden einige Fotos der Golden Gate Bridge in San Francisco gezeigt, verbunden mit der Frage: Wie wird eine derartige Hängebrücke gebaut? Die Jugendlichen bearbeiten anschließend diese Frage in kleinen Gruppen, um nachfolgend ihre Ideen und Fragen im Plenum auszutauschen.

Dabei kommen erfahrungsgemäß folgende Punkte zur Diskussion: Wie kann unter Wasser gebaut werden? Wie schwer ist eines der beiden Hauptseile? Wie lassen sich diese auf die Pfeiler bringen? Könnten die Pfeiler mit Hilfe der beiden Hauptseile aufgerichtet werden? Ist eine Hängebrücke immer symmetrisch gebaut?

In dieser Diskussion arbeiten die meisten Schülerinnen und Schüler intensiv mit, denn sie haben sich ja vorher ihre Gedanken zum Bau der Brücke gemacht, sie sind quasi „Expertinnen und Experten“. Nach diesem Austausch wird dann – und hier sind die Spannung und das Interesse meist sehr groß – die eigene Lösung mit der wirklichen Expertenlösung, d.h. mit historischen Fotos vom Bau der Golden Gate Bridge, verglichen.

Die Unterrichtseinheit inkl. Fotos vom Bau der Golden Gate Bridge ist beschrieben bei Labudde (1993, S. 221-228, „Wie wurde die Golden Gate Bridge gebaut?“).

Theoretische Vertiefung

Vorverständnis, Alltagswelt und lebensweltlicher Bezug: In diesem Beispiel wird das Vorverständnis der Schülerinnen und Schüler aufgenommen. Denn was spielen Kinder?

- Sie bauen alle unendlich viel, z.B. mit Klötzchen Türme,
- sie schaukeln und wippen,
- sie bauen mit Seilen und Brettern eine Brücke über einen Bach oder ein kleines Tal.

An diese Alltagserfahrungen wird indirekt angeknüpft und eine Verbindung zu einem Beispiel aus der Lebenswelt hergestellt.

Kooperation, Kommunikation und Diskurs:

Die Lernenden erhalten die Gelegenheit – in Gruppenarbeit wie im Plenum – ihre Fragen und Ideen auszutauschen und gemeinsam neues Wissen aufzubauen. In der fachdidaktischen Literatur wird hier auch von „Ko-Konstruktion“ von Wissen gesprochen (Duit 1995, Häußler *et al.* 1998, Labudde 1998, Monk & Dillon 1996).

Welche physikalischen Themen interessieren Schülerinnen und Schüler?

Empirische Untersuchungen zeigen immer wieder (Häußler *et al.* 1998, Labudde 1998): Kinder und Jugendliche interessieren sich vor allem für Themen, die einen Bezug zur Lebenswelt aufweisen. Insbesondere wünschen sie sich die Erarbeitung von Naturphänomenen, technischen Geräten (von Mädchen und Jungen gewünscht) sowie technischen Großanlagen (nur von Jungen gewünscht).

Je nach Themenwahl können wir als Lehrkräfte Jungen und insbesondere auch Mädchen ansprechen und ihnen Zugänge zur Physik öffnen. Gerade in Bezug auf einen geschlechtergerechten Unterricht kommt der Themenwahl eine besondere Bedeutung zu (Labudde 1999a, Labudde *et al.* 2000).

4) Hands-on-activities

Beispiel 1: Blutdruck

In einem ersten Beispiel werden die Blutdruckmessung sowie ein zugehöriges Modellexperiment vorgestellt. Hier werden nicht nur Begriffe wie Systole und Diastole, laminare und turbulente Strömung, Pascal und mm-Quecksilbersäule erarbeitet, sondern auch fächerübergreifende Bezüge zwischen Biologie, Physik und Medizin hergestellt. Für eine ausführliche Beschreibung dieser Unterrichtseinheit und der zugehörigen Freihandexperimente siehe Labudde (1996, S. 30-33, „Zu hoher oder zu niedriger Blutdruck?“).

Theoretische Reflexion

Hands-on-activities werden im Deutschen übersetzt mit Freihandversuche, kleine Experimente, und Heimversuche. Leider ist keine der Übersetzungen so treffend wie der englische Ausdruck, der einerseits den Begriff „activity“ und andererseits das „Hände anlegen“ bzw. indirekt das „Mit-den-Händen-Begreifen“ einschließt.

Im obigen Beispiel messen die Jugendlichen nicht nur ihren Blutdruck, sondern stellen auch Bezüge zwischen Lebenswelt und Naturwissenschaft her, simulieren bzw. besser „be-greifen“ – im wörtlichen Sinn – in einem Modellexperiment das Messverfahren und verbinden biologische und physikalische Konzepte miteinander.

Hands-on-activities wie die hier erwähnten sind kleinere Schüleraktivitäten, die mit relativ einfachen Utensilien während weniger Minuten oder in einer Viertelstunde durchgeführt werden können. Was spricht für Hands-on-activities?

Freihand-Experimente sind im täglichen naturwissenschaftlichen Unterricht „Lernen vom Feinsten“. Im Idealfall schließen sie ein:

- aktives, handelndes Lernen,
- konstruktives Lernen,
- selbstverantwortliches Lernen,
- kontextbezogenes Lernen,
- miteinander, voneinander, übereinander, gegeneinander Lernen.

Beispiel 2: Geschwindigkeitsmessung mit dem Doppler-Effekt

Im Anhang 2 wird eine Unterrichtseinheit vorgestellt, in welcher Schülerinnen und Schüler eine Anwendung des Doppler-Effekts erarbeiten, nämlich die Geschwindigkeitsmessung eines Autos (kopiert aus Labudde 1996, S. 64-67, „Geschwindigkeitssünder in der Radarfalle“).

Diese Unterrichtseinheit beinhaltet unter anderem die Messung der Geschwindigkeit eines vorbeifahrenden Autos, die Beschreibung des ersten experimentellen Nachweises des Doppler-Effekts, die Erklärung der Radarfalle der Polizei sowie ein Modellexperiment zur Radarfalle in Form einer Hands-on-activity.

Theoretische Vertiefung

Die Unterrichtseinheit zum Doppler-Effekt liegt ganz auf der Linie des Physikers Ernst Mach, der sich wünschte: „Ich wäre zufrieden, wenn alle [Schülerinnen und Schüler] einige wenige mathematische und naturwissenschaftliche Entdeckungen sozusagen miterlebt und ihre weiteren wissenschaftlichen Konsequenzen verfolgt hätten.“ (Mach 1896, Populär-wissenschaftliche Vorlesungen. Leipzig: J.A. Barth)

Hands-on-activities werden in den normalen Unterricht integriert, d.h. nicht in ein spezielles naturwissenschaftliches Praktikum. Sie können einen wesentlichen Bestandteil bzw. ein wichtiges Wegstück im Prozess des Wissenserwerbs bilden.

5) Repertoire von Unterrichtsmethoden

Theoretische Einführung

Die Lehrkraft setzt im naturwissenschaftlichen Unterricht vielfältige Unterrichtsformen ein. Damit kann sie ziel- und situationsspezifisch ihren Aufgaben als Vertreterin der wissenschaftlichen Gemeinschaft, als Lerneraterin und als Diskussionsleiterin gerecht werden.

Beispiel: Eis - Wasser - Dampf

Die Teilnehmenden des Workshops werden aufgefordert, in einem zweidimensionalen Modell die Aggregatzustände des Wassers zu spielen: Eis, flüssiges Wasser, Wasserdampf. Jede Person soll dabei ein Wassermolekül darstellen.

Der Leiter – im Schulunterricht die Lehrperson – hält sich dabei mit seinem Wissen zurück und lässt die Teilnehmenden ein geeignetes Modell entwickeln und vorspielen. Während des Spiels werden von den Teilnehmenden – hier diejenigen des Workshops, im Schulunterricht die Schülerinnen und Schüler – verschiedene Fragebereiche diskutiert und erarbeitet: Teilchenbewegung, Dichte, Bindungskräfte.

Für eine ausführliche Beschreibung siehe Labudde (1993, S. 177-184, „Eis, Wasser, Dampf im Tanz“).

Theoretische Vertiefung

Die TIMSS-Vertiefungsstudie zum SII-Physikunterricht an Schweizer Gymnasien zeigt, dass nach Einschätzung der Schülerinnen und Schüler vor allem folgende Unterrichtsmethoden zum Einsatz kommen: Demonstrationsexperiment, Lehrervortrag, fragend-entwickelnder Unterricht (Labudde & Pfluger 1999). Befragt, wie gerne sie die verschiedenen Unterrichtsmethoden haben bzw.

hätten, antworten die Jugendlichen, dass sie die Demonstrationsexperimente sehr schätzen, hingegen lieber weniger Lehrervorträge hätten. Auch hätten sie gerne vermehrt andere Unterrichtsformen wie Schülerexperimente, Praktika, projektartiges Arbeiten, Fallstudien und Lernzirkel. Diese Wünsche werden nicht nur von denjenigen Jugendlichen geäußert, die diese Unterrichtsformen bisher im Physikunterricht kaum oder gar nicht erlebt haben, sondern insbesondere auch von denjenigen, die mit diesen Formen häufiger gearbeitet haben.

Als Naturwissenschaftslehrkräfte stehen uns hier sehr viele methodische Möglichkeiten offen, die aber in vielen Fällen wohl noch zu wenig genutzt werden. Warum eigentlich? Der BLK-Modellversuch bietet die Möglichkeit, neue Wege zu gehen und auszuprobieren.

6) Kompetenzerfahrungen ermöglichen

Theoretische Einführung

Schülerinnen und Schüler sollen immer wieder das Gefühl haben:

- Ich habe es verstanden.
- Ich habe es mir selbst erarbeitet.
- Ich habe etwas einer anderen Person erklären können.
- Ich weiss, wie ich mir Informationen beschaffen kann.

Es soll derart die Überzeugung erwachsen: Ich habe Vertrauen in meine math.-nat. Fähigkeiten.

Beispiel: Hubschrauber

Es wird eine Unterrichtseinheit für den Physikunterricht im 9.-11. Schuljahr vorgestellt, die bereits an anderer Stelle ausführlich beschrieben ist (Labudde 1993, S. 209-220, „Wie fliegt ein Hubschrauber?“). Ausgehend von Schülerfragen zum Hubschrauber erarbeitet eine Klasse gruppenweise einige physikalisch-technische Grundlagen des Helikopters. Sie suchen und finden Antworten auf Fragen folgender Art: Wozu dient der Heckrotor? Warum kann ein Hubschrauber in der Luft stehen bleiben? Wie wird er gesteuert? Bis in welche Höhe kann ein Helikopter fliegen?

Theoretische Vertiefung

Beim Hubschrauber-Beispiel erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler vieles selber; die Lehrkraft steht beratend zur Seite, stellt eventuell Material und Bücher zur Verfügung. Bei den Jugendlichen kommt es – in den meisten Fällen – zu Aha-Erlebnissen. Die Schülerinnen und Schüler verstehen physikalisch-technische Grundprinzipien des Hubschraubers, erleben, wie sie mit Hilfe der Physik einen Gegenstand aus der Lebenswelt erklären können, und erfahren, dass sie sich selbst neues Wissen erarbeiten können.

Im naturwissenschaftlichen Unterricht sollten Jugendliche immer wieder Kompetenzerfahrungen erleben (siehe das BLK-Gutachten). Das Selbstvertrauen in Physik ist bei vielen Schülern und insbesondere bei Schülerinnen nur sehr schwach, wie zahlreiche empirische Studien belegen. Für eine Übersicht siehe zum Beispiel Labudde (1999a) sowie Labudde *et al.* (2000).

7) Schluss

In einem Schlusswort wird aufgerufen, Brücken zu bauen „wie die Golden Gate Bridge, auf dass sich uns und unseren Schülerinnen und Schülern goldene Tore zu den Naturwissenschaften öffnen:

- Bauen wir Brücken zwischen verschiedenen Unterrichtsformen (Schülerexperimenten, hands-on-activities, Projekten und den mehr darbietenden Formen wie Demonstrationsexperimenten, Lehrervortrag, fragend-entwickelndem Unterricht)!
- Bauen wir Brücken zwischen Lebenswelt und Fachsystematik!
- Bauen wir Brücken miteinander und zueinander!“

3.2 Beispiel: "Arbeit" im Alltag und in der Physik

Ziele:

- Die Schülerinnen und Schüler können Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen dem physikalischen Begriff der "Arbeit" und dem Alltagswort nennen,
 - statische und dynamische Muskelarbeit bei verschiedenen Tätigkeiten qualitativ beschreiben,
 - den Wirkungsgrad definieren und dessen Größenordnung bei körperlichen Tätigkeiten angeben,
 - den Energieumsatz bei verschiedenen körperlichen Tätigkeiten berechnen.
- Auf ihrem Wege zur Physik
- wird Schülerinnen und Schülern bewußt, daß Physik "eine Verfeinerung des Denkens des Alltags" ist,
 - erkennen sie Physik als *eine* Möglichkeit, die Welt zu beobachten und zu erklären.

Voraussetzungen: Die physikalischen Größen "Weg", "Zeit", "Geschwindigkeit", "Masse", bei einigen Unterrichtsideen die physikalische Definition der "Arbeit".

Material: Keines.

Das Dilemma: Alltagsverfahrung kontra Schulphysik

Im Physikunterricht stellt sich bei der Einführung des Begriffes "Arbeit" immer wieder die gleiche Schwierigkeit: Jugendliche sehen zu wenig Zusammenhänge zwischen physikalischen Definitionen bzw. Gesetzen und eigenen Alltagsverfahrungen. Zu weit scheinen physikalische und reale Welt auseinanderzuliegen:

- "Verrichte ich beim Halten eines Gewichtes oder beim Tragen eines Koffers tatsächlich keine Arbeit? Ich schwitze doch. Es strengt mich an."
- "Verbraucht jemand beim Besteigen eines 1000 m hohen Berges wirklich nur ganze 600-800 kJ [gemäß $W = m \cdot g \cdot h$]?" Von der Biologie her weiß ich: Der tägliche Grundumsatz ohne größere körperliche Anstrengung beträgt ja bereits ungefähr 8000 kJ."

"Und schließlich soll es für den Energiebedarf keine Rolle spielen, ob ich schnell oder langsam den Berg hinaufrenne, ob ich einen steilen oder einen gemächlich ansteigenden Weg wähle?"

Sollen die Schülerinnen und Schüler an dieser Stelle ihr Vertrauen in die Physik nicht verlieren, müssen im Unterricht die schweißtreibende reale Arbeit und die "trockene" physikalische Arbeit explizit an konkreten Alltagsbeispielen miteinander in Zusammenhang gebracht werden. Es reicht nicht, wenn dieses Problem wie in den meisten Schulbüchern (z.B. DORN-BADER 1980; GROSS-BERHAG 1979) nur in ein oder zwei Sätzen beiläufig erwähnt und der "Ar-

beits"-Begriff an "physikalisch sauberen" Beispielen eingeführt wird; sei es am Kran oder Flaschenzug, oder sei es durch eine Verknüpfung der beiden Begriffe "Arbeit" und "Energie" (BAUMANN 1992).

Physikalische Korrektheit und Orientierung an der Fachsystematik der Physik allein garantieren noch nicht das Verstehen der Physik. Bei der Einführung des "Arbeits"-Begriffs sollte etwas hinzukommen: *Die Jugendlichen müssen sowohl an sinnliche Alltagslebnisse anknüpfen als auch Alltagsverfahrungen, Physik und Physiologie zueinander in Beziehung setzen können.* In diesem Sinn sind die folgenden Unterrichtsideen als Ergänzung zu traditionellen physikalischen Inhalten und Methoden zu verstehen (LABUDDÉ 1986).

Dynamische und statische Muskelarbeit in der Physiologie

"Leistet ein Mensch beim reinen Hochhalten eines Gegenstandes Arbeit oder nicht?" Aufgrund eigener sinnlicher Erfahrungen lautet die Antwort "ja", ebenso auch in der Physiologie. In der Physik hingegen lautet die Antwort "nein". Diese verschiedenen Betrachtungsweisen sind uns Lehrkräften selbstverständlich. Aber was uns klar ist, ist den Jugendlichen noch lange nicht verständlich. Im Unterricht bedarf es einer ausführlichen Diskussion der unterschiedlichen Betrachtungsweisen.

Die Medizin liefert zur dynamischen und statischen Muskelarbeit genaue Erklärungen, von denen die für den Physikunterricht relevanten Punkte herausgegriffen werden: Jede Bewegung erfolgt aufgrund einer Muskelkontraktion, wobei sich der Muskel auf die Hälfte seiner ursprünglichen Länge zusammenziehen kann. Die Basis dieses Vorganges bilden - im Mikrobereich - bewegliche Fäden aus Eiweißstoffen. Man unterscheidet Fäden (sogenannte Filamente) aus Actin und Myosin, welche in die Muskelfasern eingelagert sind. Bei der Kontraktion schieben sich die Actin- zwischen die Myosinfilamente und verkürzen so den Muskel (Abb. 3). Bei dieser Kontraktion kann die Arbeit in enger Anlehnung an die Physik als Produkt von Kraft und Muskelverkürzung bestimmt werden, wobei die menschliche Muskelkraft etwa 30 bis 40 N je cm² Muskelquerschnitt beträgt.

Auf molekularer Ebene sieht es so aus, daß sich die Myosinköpfe an den Enden der Myosinfilamente an das Actin binden. LINDER (1983, S. 245) schreibt dazu: "Die Bindung eines Myosinkopfes an Actin dauert 10-100 ms je nach Muskelfaser. Anschließend löst sich die Bindung ... Der herabgeknickte Myosinkopf richtet sich auf und bindet sich erneut an das Actinfilament. Durch dieses wiederholte Abknicken und Aufrichten der Myosinköpfe werden die beiden Filamente aneinander vorbeigezogen. Die Myosinköpfe arbeiten ähnlich wie eine Seilmannschaft, die ein langes Stück Seil durch wiederholtes Nachgreifen an sich vorbeizieht."

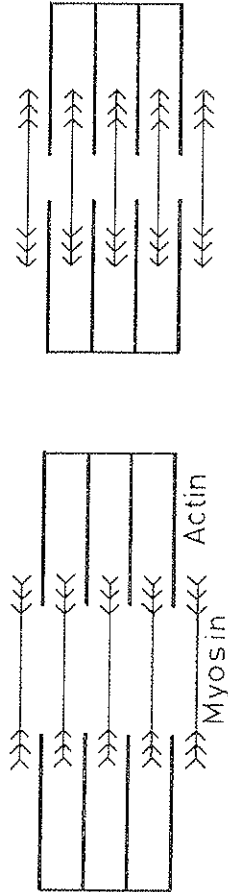


Abb. 3: Das Zusammenschieben der Actin- und Myosinfilamente bei der Muskelentspannung (links) und -kontraktion (rechts)

Im Gegensatz zu dieser *dynamischen* Muskelarbeit steht die sogenannte *statische*, z.B. das Halten eines Gewichtes mit gestrecktem Arm. In der Physik wird diese Tätigkeit wegen des fehlenden Weges zwar zu Null berechnet. Die physiologische Betrachtung aber liefert ein anderes Resultat, welches der sinnlichen Erfahrung besser entspricht. Die Erklärung liegt in der Funktionsweise der erwähnten Actin- und Myosinfäden: Ein elektrischer Reiz eines Nervenpulses bewirkt jeweils das Zusammenschieben der Filamente. Dieser Zustand der (An-) Spannung besteht nur 10 bis 100 Millisekunden. Dann löst sich die Bindung zwischen Myosinköpfen und Actin, und erst ein neuer Nervenpuls führt wieder zur Bindung und Anspannung der betrachteten Filamente. Zwischen den beiden Nervenpulsen übernehmen benachbarte Muskelfasern, welche durch andere, zeitlich phasenverschobene Pulse gesteuert werden, die Aufgabe der Muskelkontraktion. So führt denn ein Schwall von Nervenpulsen zu Zuckungen, die wir äußerlich allerdings nicht wahrnehmen können. Einzig bei der Übermüdung eines Muskels fängt dieser an zu vibrieren, eine Folge der nur noch unregelmäßig eintreffenden Nervenpulse.

Das folgende Beispiel zeigt, wie die statische Muskelarbeit den Energieverbrauch mitbestimmt: Das Tragen einer Schulmappe mit einer Hand erfordert ungefähr 2,5mal mehr Energie, als wenn der Tornister auf dem Rücken getragen wird (Abb.4). GIRANDJEAN (1979, S.22) erklärt diesen deutlichen Mehrverbrauch bei der einarmigen Tragarbeit mit der größeren statischen Haltearbeit in Armen, Schultern und Rumpf.

Das stationäre Halten eines Gegenstandes wird in Physik und Physiologie demnach ganz unterschiedlich beschrieben: die Physiologie betrachtet den Mikrobereich und erfaßt damit sowohl die elektrische Arbeit der Nervenpulse als auch die ruckweise mechanische Bewegungsarbeit in den Muskelfasern. Die Physik hingegen vereinfacht und beschränkt sich auf einen anderen Aspekt: Es wird nur der äußerlich erkennbare (Makro-) Zustand beschrieben, und somit wird bei statischer Muskelarbeit mit dem Weg auch die Arbeit gleich Null.

Derartige für die Physik charakteristische Vereinfachungen begründen zwar den beispiellosen Erfolg dieser Wissenschaft, führen im Unterricht aber auch zu Lernschwierigkeiten: Schülerinnen und Schüler können den physikalischen Begriff der Arbeit nur ungenügend verstehen und im allgemeinen auch kein adäquates Bild von der Physik als Wissenschaft aufbauen, von ihrer Aspekthaftigkeit und ihrer beschränkten Aussagekraft.

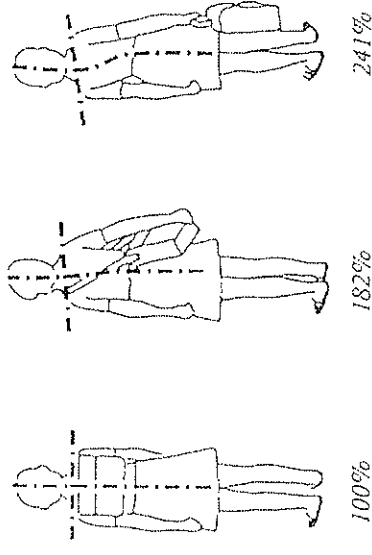


Abb. 4: Der Einfluß der statischen Muskelarbeit auf den Energieumsatz beim Tragen

Wirkungsgrade von Alltagstätigkeiten

Die Vernachlässigung der statischen Muskelarbeit führt im Physikunterricht auch bei Anwendungen der Arbeitsdefinition zu Schwierigkeiten. So stimmt es einfach nicht mit der Realität überein, wenn in einem Schulbuch etwa behauptet wird (SEXL 1980, S.187): "Die in einem Glas Milch enthaltene Energie entspricht jener Energie, die ein Mensch aufwendet, um Höhenunterschiede von mehr als 1000 m zu überwinden." Müssen Jugendliche, wenn sie so etwas lesen, nicht das Vertrauen in die Physik verlieren? Müssen sie Physik nicht als etwas einstufen, das nichts mit ihren Erfahrungen und ihrem Alltag zu tun hat?

Im obigen Zitat geht der Autor von einem 100%igen Wirkungsgrad des Menschen aus, was aber bei keiner körperlichen Arbeit auch nur annähernd zutrifft. Wie bei einer Maschine wird auch beim Menschen ein großer Teil der zugeführten Energie in innere Energie umgewandelt, und nur ein kleiner Teil wird in die gewünschte Nutzarbeit umgesetzt. Hinzu kommt ein erheblicher "Energieverlust" infolge "nutzloser" dynamischer oder statischer Muskelarbeit. So erreicht der Mensch selten einen Wirkungsgrad von mehr als 30%.

In der Physiologie wird der Wirkungsgrad ähnlich wie in der Physik definiert als das Verhältnis von Nutzarbeit zu "Energieverbrauch" (mal 100%). Die Nutzarbeit entspricht hier der theoretischen physikalischen Arbeit. Der Energieverbrauch berücksichtigt die für diese Arbeit aufgewendete Energie, aber nur diese und nicht auch den täglichen Grundumsatz, der bei einem Erwachsenen ungefähr 4 kJ pro Stunde und Kilogramm Körpermasse beträgt. Tab. 1 gibt die Wirkungsgrade verschiedener Tätigkeiten an (GRANDJEAN 1979).

Tätigkeit	Wirkungsgrad in %
Gewichtheben	10
Fahrradfahren	25
Rudern	15
Schwimmen	3
Leitersteigen	19
Treppensteigen (unbelastet)	23
Bergaufgehen mit 5° Neigung (unbelastet)	30
Schaukeln in gebückter Haltung	3
Schaukeln in normaler Haltung	6

Tab. 1: Bestmögliche Wirkungsgrade körperlicher Arbeit

Für den Wirkungsgrad sei das Schaukeln als Beispiel herausgegriffen. In gebückter Haltung wird nur ein Wirkungsgrad von 3% erzielt, was vor allem auf "nutzlose" Arbeiten zurückzuführen ist: Dynamische Muskelarbeit beim Auf- und Abbewegen des Oberkörpers und der Schaukel und statische Muskelarbeit wegen der gebückten Haltung. Fällt letztere weg, wie z.B. beim Schaukeln in normaler Haltung, verdoppelt sich der Wirkungsgrad auf 6%.

Die Messung des Wirkungsgrades in der Physiologie bietet keine Schwierigkeit: Die Nutzarbeit berechnet sich aufgrund physikalischer Gesetze und Größen. Und der Energieumsatz wird indirekt über den Sauerstoffverbrauch gemessen, indem man bei Testpersonen den Sauerstoffgehalt der ausgeatmeten mit dem eingeatmeten Luft vergleicht. Dabei ist von der Physiologie her bekannt, daß im menschlichen Organismus eine Verbrennungsreaktion mit einem Liter Sauerstoff (von Normalbedingungen) einen Energieumsatz von ungefähr 1,15 kJ bewirkt (GRANDJEAN 1979, S.78).

Der Energieumsatz bei körperlicher Betätigung

Bei einer großen Zahl von körperlichen Tätigkeiten, wie sie im Berufsalltag oder in der Freizeit vorkommen, wurde der Energieumsatz untersucht. Dieser entspricht dem Nährwert der benötigten Nahrungsmittel. In Tab.2 sind einige Durchschnittswerte zusammengestellt (siehe u.a. GRANDJEAN 1979, S. 82):

Tätigkeit	Bedingungen	9 kJ/min 15 " 22 " 35 " 44 " 25-30 " 25-30 " 40-65 " 50-65 " 20-25 " 4-8 " 9-13 " 17-22 " 150 kJ 1900 " 10000 " max. 6000 " 400 "
Gehen (horizontaler Weg) ebener, glatter Weg; 4 km/h	unbelastet	
	10 kg Last	
	30 kg Last	
Steigen, 16% Steigung, Steiggeschwindigkeit 11,5 m/min	unbelastet	
	20 kg Last	
Tennis		
Technisches Training		
Ausdauertraining		
Krafttraining		
Radfahren, Geschwindigkeit 16 km/h		
Hausarbeiten	Kocharbeiten	
	Leichte Reinigungsarbeiten oder bügeln	
	Betten machen; Fußböden aufwaschen	
Laufen	100 m, 11 s	
	5000 m, 15 min	
	42 km, 2,5 h	
Fußball	2x45 min intensives Spiel	
Schwimmen	100 m, 60 s	

Tab. 2: Durchschnittliche Energieumsätze

Der Energieumsatz bei schnellen und langsamen Bewegungen

In einer ersten physikalischen Näherung spielt es für den Energieumsatz keine Rolle, ob eine bestimmte Arbeit schnell oder langsam verrichtet wird. So richtig diese Annahme in vielen technischen Beispielen sein mag, so unzutreffend erweist sie sich bei körperlichen Tätigkeiten.

Das Gehen diene als Beispiel: Abb. 5 zeigt den Energieumsatz pro Meter Distanz und pro Kilogramm Körpergewicht in Abhängigkeit von der Gehgeschwindigkeit (GRANDJEAN 1979). Die Kurvenminima illustrieren, daß die optimalen Gehgeschwindigkeiten zwischen 1,3 und 1,4 m/s bei nackten Füßen und zwischen 1,0 und 1,1 m/s bei schweren Schuhen liegen. Welche Energie wird benötigt, um 1000 m zurückzulegen? Geht man von einer Person mit einer Masse von 70 kg und bloßen Füßen aus, liefern die Graphen aus Abb.5 folgende Energieumsätze:

- langsames Gehen (0,8 m/s = 2,9 km/h) 182 kJ,
- mittleres Gehen (1,35 m/s = 4,9 km/h) 133 kJ,
- schnelles Gehen (2 m/s = 7,2 km/h) 196 kJ.

Tatsächlich wird also bei sehr langsamem bzw. sehr schnellem Gehen wesentlich mehr Energie umgesetzt. Das langsame Gehen - im Extremfall im Zeitlu-pentempo - erfordert nämlich ein übergroßes Maß an "unproduktiver" statischer Muskelarbeit. Das schnelle Gehen hingegen bringt sowohl zusätzliche dynamische Muskelarbeit mit sich, wie z.B. das "kräfte- und energiezehrende" rasche Beschleunigen und Abbremsen von Armen und Beinen, als auch zusätz-liche statische Muskelarbeit, z.B. infolge der ständig angewinkelten Arme.

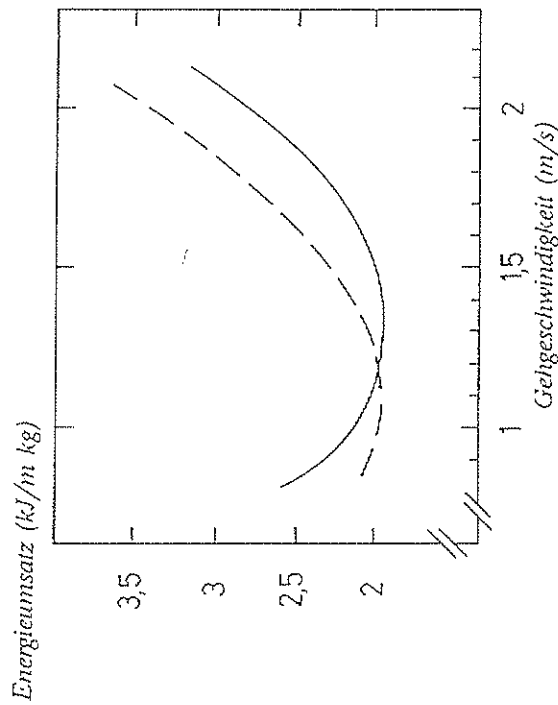


Abb.5: Der Energieumsatz pro Meter Distanz und Kilogramm Körpermasse in Abhängigkeit von der Gehgeschwindigkeit a) bei nackten Füßen (ausgezogene Linie), b) bei einer Schuhmasse von 1300 g (gestrichelte Linie)

Totalwork = 101907

Erlebniswelt PHYSIK

- Beispiele: Planung / Durchführung / Auswertung
- Unterrichtsmethodische Gestaltungsmöglichkeiten
 - Fachdidaktische Zusatzinformationen

Mit 36 Abbildungen
Dümmlerbuch 4159

1993

DÜMMLER

Anhang 2

5 Akustik

5.1 Geschwindigkeitssünder in der Radarfalle

Im Jahre 1845 an einer Bahnlinie in Utrecht (Niederlande): Das versammelte Sinfoniorchester der Stadt Utrecht wartet, zusammen mit dem Physiker Buys-Ballot, auf den Zug, der sich mit der damals unvorstellbaren Spitzengeschwindigkeit von 40 km/h nähert. Laut pfeifend und schnaubend braust die Dampflokomotive vorbei, und siehe da, die Profi-Musiker mit ihrem guten Gehör stellen einstimmig fest: Der Pfeifton hat sich beim Vorbeirasen des Zuges – ganz der Theorie entsprechend – um einen Halbton verändert. Buys-Ballot jubiliert: Zum ersten Mal ist es gelungen, den vom österreichischen Physiker Christian Doppler (1803–1853) vorhergesagten Effekt quantitativ nachzuweisen.

Dieser historische Versuch wird, – leicht abgewandelt und moderner konzipiert – auch jetzt noch verwendet, um den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Frequenzänderung quantitativ zu erfassen, z. B. bei der Radarfalle der Polizei.

Versuchsziel: Bestimme die Geschwindigkeit eines vorbeifahrenden (hupenden) Autos mit Hilfe des Dopplereffektes. Analysiere die „Radarfalle“ der Polizei anhand eines Modellexperimentes.

Vorbereitung: Schallwellen: Geschwindigkeit, Tonhöhe, Frequenz; C-Dur-Tonleiter: Relative Frequenzverhältnisse, Intervalle, Halb- und Ganztöne; Dopplereffekt bei bewegter Schallquelle und ruhendem Beobachter.

Material: Blasinstrument, mit welchem sich tiefe Töne erzeugen lassen (Grundtöne c bis c'), Auto, Stimmgabel mit ungefähr 1700 Hz.

Durchführung des ersten Versuches

- Die Geschwindigkeit eines vorbeifahrenden Autos läßt sich aufgrund des Dopplereffektes leicht abschätzen: Die Tonhöhe des heranahenden Autos weicht ja von der Tonhöhe des fortfahrenden Wagens ab. Diesen Tonhöhen-, d. h. Frequenzunterschied hört der Beobachter je nach Geschwindigkeit als Halbton (Frequenzverhältnis 16:15), als kleinen (10:9) oder großen (9:8) Ganztonschritt oder gar als kleine (6:5) oder große (5:4) Terz. Da nicht jeder Mensch ein „absolutes Gehör“ besitzt, gilt es zunächst auf einem Blasinstrument ein Gefühl, d. h. besser ein „Gehör“ für Halb- und Ganztonschritte zu bekommen. Um dabei dem Geräusch eines vorbeifahrenden Autos relativ nahe zu kommen, spiele auf einem Blasinstrument möglichst tiefe Töne, z. B. in der C-Dur-Tonleiter:

Halbtonschritt: c'/h (16:15)
kleine Sekunde (kl. Ganzton): h/a (10:9)
große Sekunde (gr. Ganzton): a/g (9:8)

Man präge sich die Tonschritte gut ein und behalte sie für das folgende Experiment „im Gehör“.

- Nun kann der eigentliche Versuch beginnen: Suche einen sicheren Platz am Rand einer Straße auf, „spitze die Ohren“ und lasse einen Mitschüler in einem Auto mit relativ hoher Geschwindigkeit (50–80 km/h) vorbeifahren. Achtung: Auch wenn es sich um ein „wissenschaftliches“ Experiment handelt, heißt es doch, sich an die Verkehrsregeln zu halten! Das gleichmäßige, lange Hupen, welches das exakte Hören des Tonschritts erleichtert, sollte ca. 50 m vor dem Beobachter einsetzen und erst 50 m hinter ihm beendet werden. Notiere, inwiefern sich der Hauptton beim Vorbeifahren ändert und wie groß der Tonschritt dabei ist.

Durchführung des zweiten Versuches

Um „Rasern“ und „Möchtegern-Formel-1-Fahrern“ auf die Spur zu kommen, steht die Polizei zwar nicht, wie im ersten Versuch, mit „gespitzten Ohren“ am Straßenrand, aber auch sie bedient sich des Dopplereffektes. Eine „Radarfalle“ sieht im Aufbau einfach aus (Abb. 23) und läßt sich im Modell (Abb. 24) leicht nachbauen und verstehen.

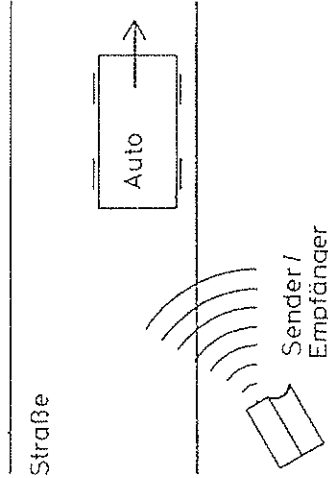


Abb. 23: Prinzipieller Aufbau einer Radarfalle

Die Radarfalle im Modell: Schläge eine Stimmgabel (ungefähre Frequenz 1700 Hz) kräftig an und halte sie mit der einen Hand vor das Gesicht. Bewege mit der anderen Hand ein Buch, eine Holzplatte o. ä. (Mindestgröße A 4) rasch auf den Kopf zu und weg, und zwar so, daß die Schallwellen vom Buch Richtung Ohr reflektiert werden. Welche akustischen Effekte lassen sich wahrnehmen?

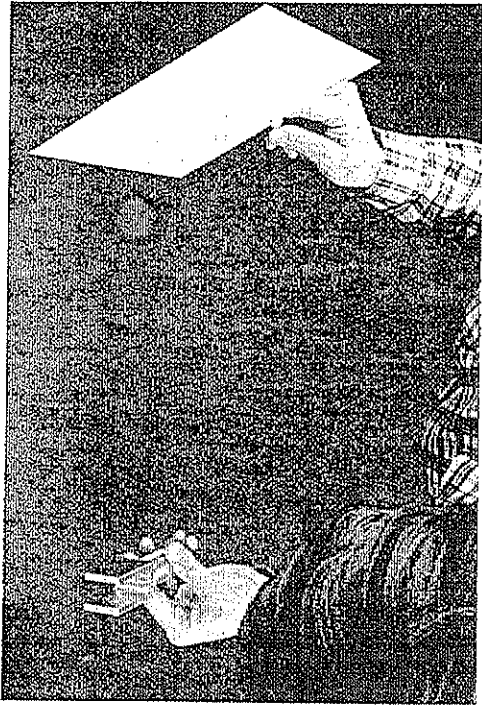


Abb. 24: Eine „Radarfalle“ im Modellversuch

Achtung: Da eine Stimmgabel nicht in alle Richtungen gleich intensiv abstrahlt, muß sie im obigen Versuch unbedingt so gehalten werden, daß ihre Abstrahlung zum Buch hin maximal ist (vgl. Abb. 24).

Auswertung des ersten Versuches

- 1.a) Läßt sich beim herannahenden oder weggehenden Auto ein höherer Ton feststellen?
 - b) Trägt der Tonschritt ungefähr einen Halb- oder Ganztton oder sogar mehr?
 - c) Wie groß ist damit das Frequenzverhältnis der beiden Töne?
2. Berechne mit Hilfe der Dopplerformeln (Ruhender Beobachter, bewegte Quelle) die Geschwindigkeit des Autos: Bedenke dabei, daß für den Beobachter die Frequenz der Hupe im Vergleich zum ruhenden Auto einerseits erhöht, andererseits erniedrigt wird und daß es diese beiden neuen Frequenzen sind, die je nach festgestelltem Tonschritt in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen.
3. Wird der Tonschritt nur durch die Geschwindigkeit des vorbeifahrenden Autos beeinflusst oder auch durch die Grundfrequenz der (ruhenden) Hupe?

Auswertung des zweiten Versuches

4. Beschreibe und erkläre anhand einer Zeichnung, die auch die Wellenausbreitung skizziert, die beobachteten Phänomene.

5. Vergleiche sie nun mit der Radarfalle der Polizei (Abb. 23) und beschreibe auch hier Aufbau und Meßmethode. Kläre dabei die folgenden Fragen: Wie unterscheidet sich die empfangene von der gesendeten Frequenz? Inwiefern läßt sich vom Frequenzunterschied auf die Geschwindigkeit des Autos schließen?

Zusatzfragen

1. Welchen Tonschritt könnte man bei einem startenden Flugzeug vernehmen, wenn dieses mit 400 km/h über einen hinwegfliegt?
- 2.a) Mit welcher Geschwindigkeit fährt ein Auto an einer Radarfalle vorbei, wenn die Sendefrequenz der Radarwellen 10^{10} Hz beträgt, die reflektierten Wellen aber eine um 1320 Hz tiefere Frequenz aufweisen?
- b) Bewegt sich das Auto dabei auf die Meßstelle zu oder von ihr fort?
3. Zum weiteren Verständnis des Dopplereffektes läßt sich ein anschauliches Modell aus „Papierwellen“ bauen. Vergleiche hierzu die Ausführungen von Eber (1987) und bastele ein entsprechendes Modell.

PETER LABUDE

ALLTAGS PHYSIK

in Schülerversuchen

- Planung • Durchführung
- Auswertung • Lösungen
- Unterrichtshinweise

Dritte, durchgesehene Auflage.
Mit 34 Abbildungen
Dümmelbuch 4158

Köln: Dümmler Verlag 1996

Tafelwert aus: