Mit offen(er)en Aufgaben zu mehr Effizienz im Physikunterricht

Ein Plädoyer für eine veränderte Aufgabenkultur in der Physik

„Das ist fast, als wollte ich einer Klasse Gitarre spielen beibringen: Ich mache es vor, ein paar dürfen mitzupfen, der Rest schaut zu, und nach einem Jahr wundere ich mich, dass sie es
a) immer noch nicht können und
b) den Spaß daran verlieren.“ [1]

I Derzeitige Bedeutung von Aufgaben im Physikunterricht

In mancher typischen Physikstunde haben die Schüler bei der Erarbeitung neuen Stoffs zu wenig die Möglichkeit, eigene Konzepte, Ideen und Lösungswege einzubringen. Selbst bei Schülerversuchen wird oft durch enge Arbeitsblätter geführt. Vermutlich ist dieser Umstand mit verantwortlich für das schlechte Abschneiden der deutschen Schüler bei TIMSS. Aufgaben fristen im Gegensatz zum Mathematikunterricht eher ein Randdasein. Häufig werden sie nur im Rahmen von Hausaufgaben bearbeitet. Bei einem Teil der herkömmlichen Aufgaben (auch in Schulbüchern) kann von Schülern durch bloße Einsetzstrategien ohne tieferes Verständnis die Lösung „erraten“ werden. Man findet Aufgaben, bei denen nur die „richtige“ Formel ausgewählt werden muss, bei der außer den gegebenen Größen nur noch die gesuchte Größe vorkommt. Diese Aufgaben haben den „Sinn“, auswendig gelernte Formeln „einzuüben“. Selbst sie bereiten einem Teil unserer Schüler Probleme; auch Schülern, die den physikalischen Zusammenhang verstanden haben, aber Probleme mit der mathematischen Formulierung und der Algebra haben.

Wenn wir im Folgenden von Aufgaben sprechen, dann meinen wir vor allem Aufgaben, die physikalisches Verständnis fördern, indem sie die Auseinandersetzung mit einem physikalischen Problem erfordern. Dies kann z.B. dadurch erfolgen, dass jeder Schüler physikalische Zusammenhänge zunächst in seiner Alltagssprache äußern darf und erst dann in der Sprache der Mathematik formulieren muss. Diese Fähigkeit sollte entwickelt werden.

Mehr Eigenverantwortlichkeit und Problemorientierung im Physikunterricht könnte flexibles Wissen und Methodenkompetenz bei unseren Schülern fördern. Als Reaktion auf die TIMS-Studien geht die BLK-Expertise davon aus, dass Aufgaben für das Motivieren des Lernens und für ein verständnisvolles Erschließen, Üben und Konsolidieren von Wissen eine zentrale Rolle spielen. Dementsprechend liegt in der Weiterentwicklung von Aufgabenstellungen und in der Form ihrer Bearbeitung ein beträchtliches Potential zur Verbesserung des Physikunterrichts.[2]

---

[1] Siehe: Eigenverantwortlichkeit im handlungsorientierten Physikunterricht (EHPU), Seite 27 ; Hrsg.: OSA Stuttgart, Physik 2000, www.fht-esslingen.de/semgym

[2] P. Häußler, G. Lind: BLK-Programmförderung „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ Erläuterungen zu Modul 1 „Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht“; IPN Kiel

II Aspekte zur Weiterentwicklung der Aufgabenstruktur

In der BLK-Expertise werden folgende Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung der Aufgabenkultur genannt:

(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 (kumulatives Lernen).

zu (1): Aufgaben ins Zentrum des Unterrichts stellen

Aufgaben sollten von ihrer randständigen Position eher ins Zentrum des Unterrichts rücken. Qualität und Quantität der Aufgaben kann und muss weiterentwickelt werden. Nicht nur in Übungsphasen, auch in allen anderen Unterrichtssequenzen – bei der Motivation, der Problemgewinnung, beim Entwerfen von Experimenten und dem Modellieren der Wirklichkeit – haben Aufgaben ihren Stellenwert.
Selbst klassische Einsetzaufgaben gewinnen an Wirkung, wenn sie unmittelbar nach einer Herleitung eines neuen Sachverhalts selbstständig von den Schüler bearbeitet werden.

> ***Beispiel Klasse 8*** (Aufgabe als Konzeption für eine gesamte Unterrichtstunde):
> Welche Geschwindigkeit ist in der Gewitterregel versteckt? Stimmt die Behauptung dieser Regel?
> (Gewitterregel in Schülerformulierung: Zähle zwischen Blitz und Donner, teile durch drei, und du weißt, wie weit das Gewitter entfernt ist!)

zu (2): Öffnen von Aufgaben

Folgende Eigenschaften von Aufgaben scheinen für eine offen(er)e Problemstellung kennzeichnend zu sein:

- mehrschichtig, d.h. mehrere Lösungen oder zumindest mehrere Lösungswege möglich;
- problemhaltig, d.h. keine Schablonenaufgabe
- Förderung der Eigenverantwortlichkeit und Selbstständigkeit, d.h. die Fragestellung ermöglicht eigene Zugänge, eigene Auseinandersetzung und damit individuelle Förderung.

Erstellen von offen(er)en Aufgaben

- Aufgaben so formulieren, dass sie nicht nur auf algebraische Lösungen zielen, sondern auch qualitative, grafische, beschreibende oder pragmatisch-unorthodoxe Lösungen

- Einschränkungen, Zusatzinformationen, Detailfragen weglassen oder nicht benötigte Informationen hinzufügen, um die Problemstellungen realistischer und „alltagsnäher“ zu gestalten.
- Systematisierungen oder Probleme selbst finden lassen.
- Verfremdungen an klassischen Aufgaben vornehmen.

Beispiel Klasse 8: Dichtebestimmung

Variante I
Welche physikalischen Größen müsst ihr zur Bestimmung der Dichte messen?
Wie berechnet man daraus die Dichte?

Variante II
Wählt von den vier Aufgaben zwei aus, die ihr bearbeitet!

1. Bestimmt die Dichte eines Aluminium-Quaders und vergleicht mit dem Tabellen-Wert (Buch)
2. Aus welchem Material sind die Wägestücke aus unserem Wägesatz?
3. Aus welchem Material sind die Schrauben, die ihr beim Lehrer bekommen könnt?
4. Bestimmt die Dichte des Holzstücks, das bereitliegt!

Variante III
Ein-Pfennig-Stücke und Zwei-Pfennig-Stücke sehen so aus, als ob sie aus dem gleichen Material wären. Überlegt euch ein Experiment, mit dem ihr diese Vermutung untersuchen könnt. Führt das Experiment durch. (Hilfsmittel gibt es beim Lehrer).

Variante IV

1. Hier ist eine Tüte mit Reis. Eure Aufgabe: Wie viele Reiskörner sind ungefähr in der Tüte? Entwickelt mehrere Verfahren zur Lösung. Vergleicht die verschiedenen Verfahren hinsichtlich ihrer Genauigkeit. Der Lehrer stellt euch gegebenenfalls einfache Hilfsmittel bereit.
2. Hier ist ein Tüte mit Linsen. Eure Aufgabe: Sind Linsen leichter als Reis? Fasst die Frage exakter und löst sie!

zu (3): Abwechslungsreiche Aufgaben in variierenden Kontexten

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

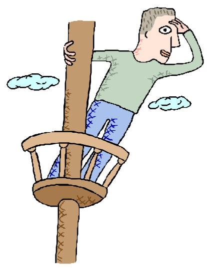
Darüber hinaus kann der Kontext auch so gewählt werden, dass er neben der Verfremdung auch das Interesse der Schüler an der Lösung steigert.

Beispiel Klasse 11: Bewegung in verschiedenen Bezugssystemen (Waagerechter Wurf)

- Kronleuchter stürzt im fahrenden Orientexpress von der Decke
- Schülerin springt vom 10 m Turm ins Wasser
- Feuerwehr löscht eine brennende Straßenbarrikade
- Flugzeugpilot wirft über der Leprastation ein Postpaket ab

Beispiel Klasse 11: Gesetze der Kreisbewegung in variierenden Anwendungen

- Auto in der Kurve
- Zentrifuge
- Planetenbewegung
- künstliche „Gravitation“ in rotierenden Raumschiffen



Die Variation des Kontextes fördert horizontales Lernen. Dabei wird bekanntes Wissen bzw. werden bekannte Verfahren auf neue Situationen übertragen. Das neue Probleme steht sozusagen mit dem bisher Gelernten auf gleicher „Höhe“. Dadurch wird der *Horizont* des Lernenden erweitert und das Wissen gefestigt. Dieses horizontale Lernen muss zum vertikalen Lernen hinzukommen, das die Vernetzung im Sinne des Systemcharakters der Physik in den Vordergrund stellt. Dies wird oft im fragend-entwickelnden Unterricht angestrebt. Allerdings ist dieser Unterricht meist eher fragend-gelenkt als fragend-entwickelnd. Besser geeignet zur horizontalen Vernetzung wäre nach F. Weinert die direkte Instruktion, d.h. Unterricht, der zwar Lehrer-geplant, aber Schüler-zentriert ist, der also für möglichst viele Schüler eine individuelle Rückmeldung gibt und in den Anforderungen möglichst viele Schüler Kompetenz erfahren lässt, kurz „differenziert“ ist. Dies kann besonders gut durch geeignete Aufgaben geleistet werden.

zu (4): Zurückliegendes verknüpfen mit Neuem (Kumulatives Lernen)

Geeignete Aufgaben, die bewusst auch länger zurückliegenden Stoff einbeziehen, dienen dem kumulativen Lernen. Das Verknüpfen von altem und neuem Stoff erleichtert, dass aus nur angelerntem Schulwissen Kompetenz entstehen kann, die auch und gerade außerhalb der Schule benötigt wird. Zudem erkennt der Schüler durch das Aufgreifen von Zurückliegendem seinen Lernzuwachs und kann dadurch zusätzlich motiviert werden.

Die vertikale Vernetzung verschiedener Gebiete (in der Physik und fächerübergreifend) trägt zum kumulativen Lernen bei und ist vor allem über folgende Wege zu erreichen:

a) über **Fachinhalte**

Beispiele:

- Untersuchung der Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern unter Einbeziehen dynamischer und kinematischer Vorkenntnisse (Newtonsche Axiome, Kräfte, kinematische Begriffe)
- Untersuchung von Schwingungen im Hinblick auf Zeit-Weg-, Zeit-Geschwindigkeit-, Zeit-Beschleunigungs-Zusammenhänge unter Einbeziehen der Vorkenntnisse bei linearen Bewegungen.
- Energieerhaltungssatz in der Mechanik und dessen Erweiterung in anderen Gebieten der Physik (Wärmelehre, Elektrizitätslehre,...)
- Zugang zum elektromagnetischen Schwingkreis über energetische Betrachtungen
- Vertiefung des Geschwindigkeitsbegriffs: Naturphänomen Donner, Schallgeschwindigkeit, Geschwindigkeit, mittlere Geschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit

b) Über **Modelle und Konzepte** (nach und nach erweitert und vertieft)

Beispiele:

- Teilchenmodell
- das Feldkonzept (Gravitationsfeld, elektromagnetisches Feld)
- Erhaltungsprinzip (Energie, Impuls, Ladung)

c) Über **Analogien und Homologien** (Zugang zu neuen Inhalten erleichternd)

Beispiele:

- Elektrischer Strom, Wasserstrom
- Höhenlinien im Gravitationsfeld (Landkarte) und Äquipotentiallinien im elektrostatischen Feld
- Analogien und Unterschiede zwischen elektrischem und magnetischem Feld
- Vergleich der Energieterme ½ mv^2, ½ Ds^2, ½ CU^2, ½ LI^2

d) über **Fachmethoden**

Beispiele:

- Vorgehensweisen beim Suchen nach Gesetzmäßigkeiten (induktiv, deduktiv)
- Einsatz von mathematischen Werkzeugen, z.B. Gleichungen oder rotierende Zeiger (eingeführt in der Wechselstromlehre zum Umgehen von Rechnungen mit komplexen Zahlen bzw. Lösen von Differentialgleichungen, neu verwendet in Wellenlehre und Quantenphysik.)
- Entwickeln und Verfeinern einer Modellvorstellung, Überprüfung am Experiment

III Realisierung der angestrebten Ziele – Womit kann man beginnen?

In diesem Abschnitt wird ein Überblick gegeben, wie die zuvor formulierten Ziele erreicht werden können.

Aufgaben können in jeder Unterrichtsphase ins Zentrum rücken:

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,

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

Kriterien zur Klassifizierung von offen(er)en Aufgaben und Problemstellungen

Das Öffnen der Aufgaben, auch im horizontalen und vertikalen Sinn, kann auf vielfältige Weisen geschehen. Als Hilfe möge die folgende Liste von Fragen gelten, die in fünf Gruppen unterteilt ist. Für die meisten Fragen ist ein Verweis auf eines der „musterhaften“ Beispiele in Teil IV angegeben, das für dieses Fragen-Kriterium in besonderem Maße typisch ist.
Da jede Aufgabe immer mehr als ein Öffnungs-Kriterium erfüllt, ist umgekehrt jedem Beispiel in Teil IV ein Raster vorangestellt. Dieses Raster zeigt in wie weit diese Beispielaufgabe die verschiedenen Öffnungs-Aspekte bedient.

Offen(er)e Aufgaben sind angelegt:

mehrschichtig und problemhaltig
mit überwiegend kognitiver Förderung

- Gibt es unterschiedliche Lösungswege zum gleichen Ergebnis
  (z.B. kinematisch/dynamisch, energetisch)?
  (s. 12.2 Magnetfeld - Spule)
- Gibt es unterschiedliche Lösungsstrategien
  (z.B. algebraisch, graphisch, quantitativ abschätzend, experimentell)?
  (s. 8.1 Frequenz/Periodendauer; 8.2 Proportionalität)
- Gibt es mehr als eine richtige Lösung? (Numerische, beschreibende und pragmatische Lösungen sind gleichermaßen gefragt!)
  (s. 9.1 Wärmetransport, 9.2 Wärmekapazität, k-Wert)
- Ist Differenzierung hinsichtlich des Schwierigkeitsgrads durch gestufte Zusatzinformationen möglich?
  (s. 11.5 Kugelrutscherin, 12.3 C und L im Gleichstromkreis)
- Lässt eine Aufgabe Erweiterungen zu, weg von modellgeprägten Idealisierungen
  (z.B. vom Massenpunkt hin zum ausgedehnten Körper)
- Muss Wissen flexibel und intelligent eingesetzt werden?
  a) weil die Aufgabe zu viele Angaben enthält.
     (s. 10.1 Turmspringer)

b) weil die Aufgabe zu wenig Angaben enthält.
(s. 9.1 Wärmetransport,)
c) weil ein Urteil gefällt werden muss.
d) weil ein Bild interpretiert werden muss. (s. 11.6 Keplergesetze)
e) weil ein Fachtext verstanden werden muss. (s. 13.3 Fullerenbeugung)
f) weil ein neuer Zusammenhang erarbeitet werden muss
(s. 12.3 C und L im Gleichstromkreis, 13.1 Schallwellen)

die Selbstständigkeit verbessernd
auch mit dem Ziel der instrumentellen Förderung

- Ist es notwendig selbstständig Daten zu beschaffen? (s. 11.7 Stoffwechsel und Atmung)
- Müssen Informationen hinterfragt, Werte sinnvoll abgeschätzt werden?
  (s. 11.4 Leistung Auto)
- Besteht Freiraum für eigene und weiterführende Fragestellungen?
  (s. 8.3 Pumpen-Leistung)
- Kann der Schüler kreativ sein, weil er sich ein Experiment / eine Veranschaulichung ausdenken muss?
  (s. s. 8.3 Pumpen-Leistung, 9.1 Wärmetransport)
- Kann der Schüler zu einem aktuellen Thema selbst Aufgaben stellen?

anwendungsbezogen, alltagsnah
auch mit dem Ziel der affektiven Förderung

- Werden die Präkonzepte der Schüler/innen einbezogen und genutzt?
  (8.2 Proportionalität)
- Ist die Fachsprache/Unterrichtssprache verständlich? Wird sie weiterentwickelt?
  (s. 11.1 Fallvorgänge, dynamisch)
- Besteht ein Anwendungsbezug zu Alltagserfahrungen der Mädchen und Jungen?
  (s. 8.4 Energiegehalt Joghurt, 11.7 Stoffwechsel und Atmung,
  13.2 Elektromagnetische Wellen)
- Wird durch Aufgaben mit variierenden Kontexten der Transfer gefördert?
- Gibt es nicht „alltagsnähere“ Beispiele?
  (s. 11.3 Bungee-Sprung statt Spannenergie der Feder)

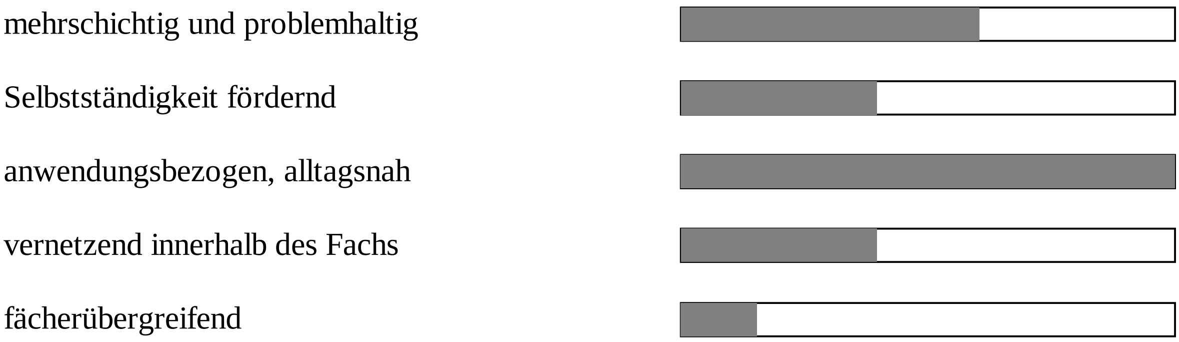
vernetzend innerhalb des unterrichtenden Fachs

- Horizontale Vernetzung: Systematisches Wiederholen und Anwenden des Grundwissens über die Teilgebiete hinweg.
  (s. 12.1 Lorentzkraft, 13.3 Fullerenbeugung)
- Vertikale Vernetzung und Spiralcurriculum: Verknüpfung und Vertiefung zurückliegenden Stoffs mit neu eingeführten Inhalten.
  (s. 11.2 Geheimnis 9,81)

fächerübergreifend

- Vernetzung mit anderen Fächern (Sport, Biologie, Erdkunde, Wirtschaft, Mathematik, Geschichte, Ethik historische und gesellschaftliche Bezüge (z.B. Dampfmaschine und sozialer Wandel, Technikfolgenabschätzung am Beispiel Kernenergie)
  (s. 11.7 Stoffwechsel u. Atmung)
- Gesellschaftlicher Relevanz (z.B. Umweltschutz, Energieversorgung)
  (s. 11.4 Leistung Auto)

Jede der nachfolgend angefügten Musteraufgabe wird über diese fünf Kriterien charakterisiert. Die Wertung wird in Säulendiagrammen wie im Folgenden dargestellt:



IV Beispiele

Wenn sich die Aufgaben öffnen sollen, so müssen wir uns auch den Antworten, den Lösungen zu diesen Aufgaben öffnen. Der bei den Aufgaben skizzierte Erwartungshorizont will zur Diskussion anregen. Eine Diskussion, die nie als abgeschlossen gelten kann – schließlich wird insbesondere die Begriffbildung in der Physikdidaktik nie abgeschlossen sein.

8.1 Frequenz und Periodendauer	Kl. 8

mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend

Aufgabe:

Bei Schwingungen hast du einen Zusammenhang zwischen der Periodendauer T und der Frequenz f kennen gelernt.

a) Wie kann man die beiden Größen ineinander umrechnen?

b) Dein Nebensitzer hat die nachfolgende Tabelle aufgestellt.
Wo steckt der Fehler? Gib in der dritten Zeile die richtige Frequenzen an!

Periodendauer T	0,25 s	0,5 s	1,0 s	1,5 s	2,0 s
Frequenz f	4 Hz	2 Hz	1 Hz	0,75 Hz	0,5 Hz
richtige Frequenz f					

c) Versuche zu verstehen, was er falsch überlegt hat? Erläutere ihm seinen Fehler, indem du ihm einen kleinen Brief schreibst.

Kommentar:

Klasse 8 – Anfangsunterricht: Übungsaufgabe zu f = 1/T, die zwar stark geführt ist, aber im Teil b) und c) das Lernen durch Fehlgehen aufwertet, und vom Schüler „Teamarbeit“ einfordert und ihn im Denken und im sprachlichen Ausdruck fördert.
Kurzfassung einer Schülerantwort: 1,5 s als Periodendauer liegt genau zwischen 1,0 s und 2,0 s. Man darf daraus nicht folgern, dass die Frequenz auch in der Mitte zwischen 1 Hz und 0,5 Hz liegt. Drei Mal ist zu erkennen wie die Verdopplung der Periodendauer zur Halbierung der Frequenz führt.
Ausgehend von T = 1 s: Das 1,5-fache also das 3/2-fache bei der Periodendauer führt demnach auf die 2/3 · 1 Hz = 0,66 Hz. Fehler also in der vorletzten Spalte.
Ausgehend von T = 2 Hz: ¾ bei der Periodendauer führen auf 4/3 · 0,5 Hz = 2/3 Hz.
Ausgehend von T = 0,5 Hz: Die dreifache Periodendauer führt auf 1/3 · 2 Hz = 2/3 Hz.

8.2 Proportionalität — Kl. 8

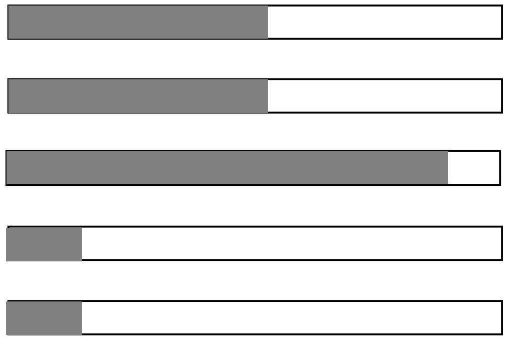
mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

Die Schüler erhalten eine Tüte mit Reis. Ihre Aufgabe lautet:
Wie viele Reiskörner sind ungefähr in der Tüte?

Kommentar:

Die Aufgabe gibt Freiraum für viele verschiedene Verfahren:
Wiegen einer Teilmenge, Volumen-Vergleich, Rieselversuch mit Zeitmessung oder auch Häufchen bilden.
Jedem der Verfahren ist der Proportionalitätsgedanke gemeinsam. Dieser kann in einer anschließenden Präsentation heraus gearbeitet werden.

8.3 Schülerpraktikum: Leistung einer elektrischen Pumpe	**Kl.8**

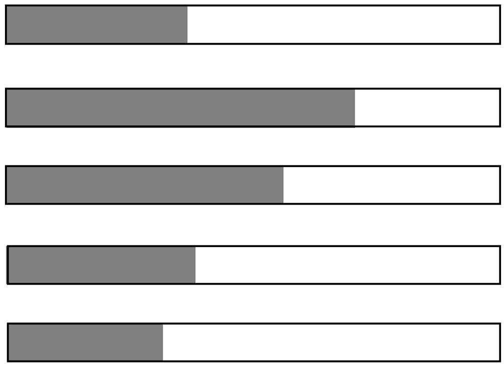
mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

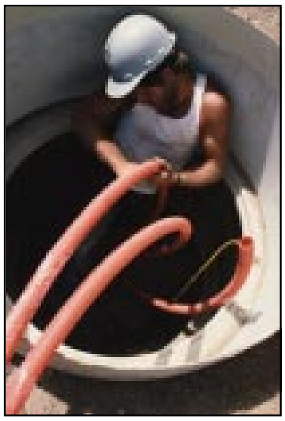
anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:



Material: Bechergläser, Stativmaterial, elektrische Wasserpumpe (Batteriebetrieb) mit Anschlussschlauch

Bestimme die Leistung der elektrischen Pumpe.

(Erstelle eine Skizze des Versuchsaufbaus und beschreibe den Versuchsablauf und die Ergebnisse in einem Bericht.)

Kommentar:

Die Materialien liegen auf einem Tisch bereit.
Die Schüler müssen sich einen Versuchaufbau überlegen und dann umsetzen.
Dabei wird nicht verraten, dass die Leistung über das Hochpumpen des Wassers bestimmt werden kann.
Außerdem lässt die experimentelle Aufgabe noch genügend Raum für vielfältige Überlegungen und Untersuchungen.
(Zusammenhang: Leistung ↔ Pumphöhe; „Parallel- und Reihenschaltung“ von Pumpen etc.)

Die Durchführung in Klassenstufe 8 ist eine feuchte Angelegenheit (mehrfach erprobt)!

8.4 Energiegehalt von Joghurt Kl.8

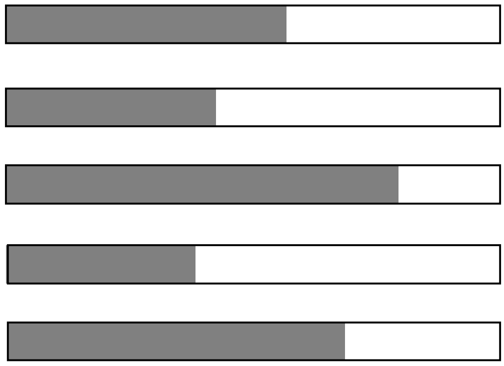
mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

Du isst einen Becher mit 150 g Joghurt und möchtest dadurch nicht zunehmen.
Ermittle die Höhe, die du z.B. auf einen Berg hochsteigen müsstest, um nicht zu zunehmen.

Hilfestellung: Auf einem Becher mit Naturjoghurt steht z.B. „enthält 303 kJ je 100 g".

Überlege, ob die von dir ermittelte Steighöhe realistisch ist.
Wenn dies nicht der Fall sein sollte, woran könnte es liegen?

Kommentar:

Die Aufgabe wird nach der Erarbeitung der Höhenenergie und der Energieerhaltung gestellt und hat sich schon in vielen Klassen 8 bewährt.
Das Thema "Kalorien" bei Nahrungsmitteln ist interessant.
Die Diskussion, ob der berechnete Wert der Steighöhe realistisch ist, führt zu interessanten Bezügen zur Biologie und zur Wärmelehre.
In Klasse 9 Wärmelehre kann die Problemstellung quantitativ erweitert werden, wenn man von einer bestimmten Körpermasse ausgeht und annimmt, dass der Körper näherungsweise im Wesentlichen aus Wasser besteht mit bekannter spezifischer Wärmekapazität.

9.1 Hausaufgabe zum Wärmetransport — Kl.9

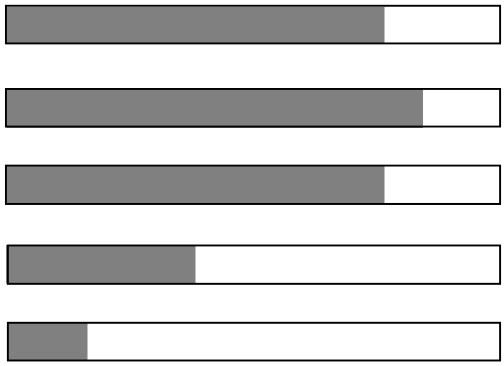
mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

Problem: Ein zu heißer Kaffee ohne Milch soll mit Milch getrunken werden. Es gibt zwei mögliche Vorgehensweisen.

- Man kann zuerst die Milch in den Kaffee geben und dann warten, bis die Temperatur niedrig genug ist,
- oder man kann zuerst warten, bis die Temperatur ein wenig gesunken ist und dann die Milch zugeben.

Auf welche Weise ist der Kaffee früher trinkbar?

Dieses Problem sollst du durch passende Experimente und Überlegungen bearbeiten.

Vorgehensweise:
Überlege, wovon die Lösung des Problems abhängen könnte. Bedenke dabei möglichst viele Ursachen. Plane nun Experimente, mit denen du die einzelnen Ursachen untersuchen kannst. Achte dabei darauf, dass du immer nur eine Ursache änderst. Stelle Behauptungen auf und versuche sie im Experiment zu bestätigen und mit der Theorie zu erklären. Dokumentiere deine Überlegungen und Experimente mit Argumentationsketten, Messreihen, Diagrammen und Auswertungen.

Kommentar:

Bei dieser Aufgabe können Schüler Experimente planen, durchführen und mit theoretischen Überlegungen vergleichen. Das Phänomen hat so viele Parameter, dass jeder Schüler eigene zusätzliche kreative Ideen einbringen kann:
Größe der Tasse, Oberfläche, Verdunstung, Farbe, Temperaturgradient, Mischungstemperatur, Material der Tasse, Löffel in der Tasse, umrühren, pusten...

Es werden die ureigensten physikalischen Techniken eingeübt.

9.2 Hausaufgabe zur Wärmekapazität und k-Wert Kl.9

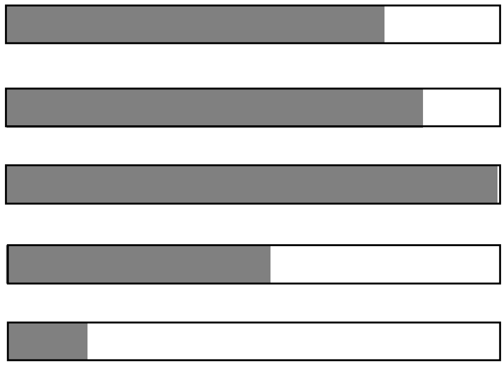
mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

Du kennst folgende Erscheinung: Hat man viele Personen eingeladen, dann kann man die Heizung herunter drehen und die Temperatur im Raum ist trotzdem angenehm.
Überlege, woran das liegt.
Warum stellt sich überhaupt nach einiger Zeit in einem geheizten Raum eine konstante Temperatur ein?
Schreibe zuerst theoretisch auf, wie die physikalischen Zusammenhänge sind. Suche dann nach realistischen Zahlenwerten und rechne. Wenn du zu keiner Lösung kommst, dann schreibe Fragen auf, die du nicht beantworten kannst.

Kommentar:

Diese Aufgabe bietet vielfältige Lösungsmöglichkeiten auf verschiedenen Stufen. Sie dient zum Abschluss des Themas, um horizontal das Gelernte auf ein Alltagsproblem anzuwenden. Die Lösungen reichten von "Welche Temperatur stellt sich in meinem Zimmer ein, wenn folgende Außentemperatur herrscht und nur ich im Zimmer (als Heizung) bin" als theoretische Berechnung, bis zu Experimenten in einem Raum mit verschiedenen Personenzahlen. Viele Schüler hatten sich ein Modell zur Gleichgewichtssituation ausgedacht.

10.1 Turmspringer mit „zu vielen“ Angaben Kinematik Kl.10

mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend

Aufgabe:

Zum freien Fall:

Ein Turmspringer springt von 30 m Höhe senkrecht ins Wasser. (Die Luftreibung spielt praktisch keine Rolle.) Nach 1,0 s hat der Springer 4,9 m zurückgelegt und eine Geschwindigkeit von $9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
Welche Strecke legt der Springer in der zweiten Sekunde zurück?

Kommentar:

Bei dieser Aufgabe hatten die Schüler (in einer Klassenarbeit) Schwierigkeiten, weil zu viel gegeben war. Da funktioniert die Strategie nicht mehr, die gegebenen Größen mit den Buchstaben einer Formel zu identifizieren.
Bemerkung: Die einfachste Lösung ist natürlich die nach Galilei: Die Strecken verhalten sich wie 1:3:5 usw. Folglich legt der Springer in der zweiten Sekunde $3 \cdot 4{,}9\text{m} = 14{,}7\text{m}$ zurück.

11.1 Aufgabe zum Thema „Dynamische Betrachtung von Fallvorgängen“ Kl.11

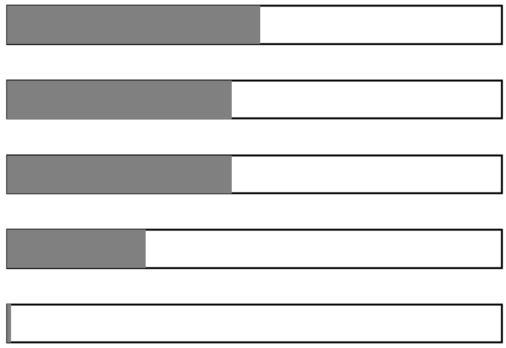
mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

a) Wie wird die Bezeichnung „freier Fall“ in der Alltagssprache verwendet?
Was versteht man in der Physik unter einem „freien Fall“?

b) Bei geöffnetem Fallschirm bewegen sich Fallschirmspringer mit einer gleichbleibenden Sinkgeschwindigkeit von ca. 5 m/s auf die Erde zu.
Lena sagt: „Dabei befindet sich der Springer im Kräftegleichgewicht.“
Jens entgegnet: „Das stimmt nicht. Der Springer bewegt sich auf die Erde zu – also kann kein Kräftegleichgewicht vorliegen.“
Begründe, wer deiner Meinung nach recht hat.

c) Fallschirmspringer erreichen bei nicht geöffnetem Fallschirm eine Endgeschwindigkeit von ca. 200 km/h.
Beschreibe die Bewegung des Springers vom Verlassen des Flugzeugs bis zum Erreichen der Endgeschwindigkeit qualitativ.
Skizziere und begründe, wie das zugehörige Schaubild „Geschwindigkeit v als Funktion der Zeit t“ aussehen könnte.

d) Zwei Fallschirmspringer A und B verlassen gleichzeitig das Flugzeug. Mit einer Helmkamera filmt A den Sprung von B. B zieht als erster die Reissleine und verschwindet dabei nach oben aus dem Blickwinkel der Kamera. Ein Betrachter des Films gewinnt den Eindruck, dass B eine Aufwärtsbewegung durchführt.
Trifft das zu?
Begründe, welche Kräfte nach dem Ziehen der Reissleine auf B wirken und erkläre qualitativ, wie sich diese auf die Beschleunigung und die Geschwindigkeit von B auswirken.

Kommentar:
In Teil a) soll die unterschiedliche Verwendung der Bezeichnung „freier Fall“ im Alltag und der Physik deutlich werden.
In Teil b) wird eine Schwierigkeit angesprochen, die in meinem Unterricht wiederholt aufgetreten ist: Wieso sinkt man, wenn man sich im Kräftegleichgewicht befindet?
In Teil c) soll der Einfluss der Reibung beschrieben werden; insbesondere ihre Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und damit ihre Auswirkung auf die weitere Beschleunigung.
In Teil d) soll eine Situation physikalisch beschrieben werden, die im Fernsehen oft zu sehen ist - und die falsch gedeutet werden kann.

In dieser Form habe ich die Aufgabe bei einer Klassenarbeit noch nicht gestellt. Alle Aspekte wurden jedoch wiederholt in meinem Unterricht besprochen und stießen auf ein durchaus erfreuliches Schülerinteresse.

11.2 Das Geheimnis der 9,81 — Kl. 11

mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend

Aufgabe:

Variante 1
Du hast im Anfangsunterricht für g den Zahlenwert 9,81 kennen gelernt
- als *Ortsfaktor* mit der Einheit N/kg,
- jetzt in Klasse 11 als *Fallbeschleunigung* mit der Einheit m/s^2
- und im Gravitationsgesetz als *Zusammenfassung* $g = G^* M / r^2_E$ gewisser Daten.

Verdeutliche diese drei *Wesensmerkmale* von g.

Variante 2
Als Vorschlag für das Thema einer Seminararbeit:
Ortsfaktor, Fallbeschleunigung und das Gravitationsgesetz sind eng miteinander verknüpft. Machen Sie sich diese Zusammenhänge klar und stellen Sie die Verzahnungen deutlich heraus.

Kommentar:

Dies ist eine Aufgabe, die vor allem vertikal vernetzend angelegt ist.

- **g als Ortsfaktor (Statischer Aspekt)**
  “Masse erfährt eine Gewichtskraft“

Wenn man die Gewichtskräfte eines Körpers an verschiedenen, weit entfernt liegenden Orten miteinander vergleicht, entsteht das Bedürfnis ein Maß für das dabei vorhandene konstante Körpermerkmal (schwere Masse m_s) festzulegen und die Ortsabhängigkeit der Gewichtskraft über den Ortsfaktor zu erfassen.

Zugang 1 (den Körper im Blick): Von der ortsunabhängigen Masse kann man auf die ortsabhängige Gewichtskraft umrechnen, wenn man den Ort und seinen Ortsfaktor kennt:
$G = g \cdot m$.   Dimension für g somit N/kg.
Proportionalität zwischen m und G an einem Ort. Steigt man über einem Ort auf, so nimmt der Ortsfaktor ab.

Zugang 2 (den Ort im Blick):

$G_{\text{Baumstamm}} : m_{\text{Baumstamm}} = ?$ $G_{\text{Teebeutel}} : m_{\text{Teebeutel}} = ?$

Für jeden beliebigen Körper hat der Quotient aus Gewichtskraft und Masse am gleichen Ort exakt denselben Wert. Dieser Wert heißt *Ortsfaktor*, denn er gilt nur an diesem Ort.
$g = G_1 : m_1 = G_{\text{Teebeutel}} : m_{\text{Teebeutel}}$ **$G = g \cdot m$** Gewichtskraft = Ortsfaktor mal Masse
Der Ortsfaktor g ist die Größe, welche die Abhängigkeit der Gewichtskraft vom Ort beschreibt.

- **g als Fallbeschleunigung (Dynamischer Aspekt):**
  "Gewichtskraft verursacht eine Beschleunigung"

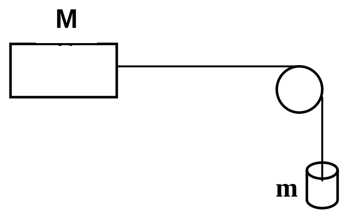
Zugang 1: g als die Beschleunigung, welche einem trägen Körper aufgrund der (in Wechselwirkung mit der Erde verursachten) Gewichtskraft erteilt wird

$$a = F/m = G/m = \text{Ortsfaktor} \cdot m_s / m_t$$

mit $m_s = m_t$ somit Fallbeschleunigung gleich Ortsfaktor.

Zugang 2: Fahrbahnversuch, reibungsfrei; Gleiter mit M, Zugkraft von m in Wechselwirkung mit der Erde verursacht. Experimentell zu zeigen:

$$(m+M) \cdot a = m\, g$$



Masse mal Beschleunigung = beschleunigende Kraft

mit $M \to 0$ $m\, a = m\, g$

linkes m steht für träge Masse, rechtes m für schwere Masse

Formal und anschaulich: Der Ortsfaktor g ist mit einer bestimmten Beschleunigung identisch; mit der Beschleunigung, die jeder Körper beim freien Fall erfährt! Aus dem Vorangehenden wird deutlich, warum es an einem Ort für alle Körper derselbe Wert ist.

- **g als Gravitationsfeldkonstante (Zusammenfassung im Gravitationsgesetz):**
  $g = G^{*} M / r^2_E$

Zugang 1: Wie stark wird ein Körper der Masse 1 kg in der Entfernung des Erdradius r_E von der Erde mit der Masse M angezogen?

Zugang 2: Phantasiereise mit einem Wägestück (1 kg) zu Planeten mit immer kleinerer Masse (Jupiter, Erde, Mond, schließlich Miniplanet, der selbst nur 1 kg hat – und was jetzt? Wer ist der Planet, wer der Körper, der angezogen wird? „Rückvernetzung" vom Gravitationsgesetz zu klein g und zu actio und reactio.

Vertikale Weiterführung in Klasse 12:
g als Gravitationsfeldkonstante $g = G/m$
(in Analogie zur elektrischen Feldkonstanten $E = F/q$
elektrische Kraft je Probeladung und Gewichtskraft je Masse beschreiben jeweils die Feldstärke unabhängig vom Probekörper selbst).

- **Als Vorschlag für das Thema einer Seminararbeit:**
  Ortsfaktor, Fallbeschleunigung und das Gravitationsgesetz sind eng miteinander verknüpft.
  Machen Sie sich diese Zusammenhänge klar und stellen Sie die Verzahnungen deutlich heraus.

Hilfe 1: Sind die beiden Größen Kraft F und Masse m unabhängig voneinander zu definieren?
Hilfe 2: Ist die Unterscheidung zwischen schwerer und träger Masse hilfreich / überflüssig ?
Hilfe 3: Kräfte beschreiben sowohl statische als auch dynamische Wechselwirkungen.[3] Im Ortsfaktor zeigt sich der statische Aspekt, in der Fallbeschleunigung der dynamische. Man hat die statische Krafteinheit (früher 1 kp) an die dynamische (heute 1 N) angepasst, das führt auf 9,81!

Können durch geeignete Messvorschriften und Messvorrichtungen Kraft und Masse unabhängig voneinander bestimmt werden, so ist $F = m \cdot a$ ein *Naturgesetz*.
Wenn $F = m \cdot a$ *Definition* ist, dann ist zu fragen, was wird hier definiert: Kraft oder Masse?
Die Ausgangsfrage muss lauten: Sind die beiden Größen F und m unabhängig voneinander zu definieren?
In der statische Kraftdefinition ist F an die schwere Masse m_s geknüpft; in der dynamischen Kraftdefinition braucht F (selbst eine abgeleitete Größe) die träge Masse m_t als Basisgröße; also weder statisch noch dynamisch kann F ohne m festgelegt werden; die Grundgleichung (eben ein *Axiom*) lässt sich also nicht experimentell bestätigen wie das Hooke'sche Gesetz, es kann nur die dynamische Wirkung einer statisch bestimmten Kraft verdeutlicht werden. Fahrbahnversuche belegen $(M+m)\, a \propto m\, g$. Der Proportionalitätsfaktor ist 1 falls $m_s = m_t$ und 1 kg Stück am Normort die Gewichtskraft 9,81 N erfährt. Die 9,81 sind eine Folge der gewählten Basisgrößen und der Anpassung die statischen Krafteinheit an die dynamische.

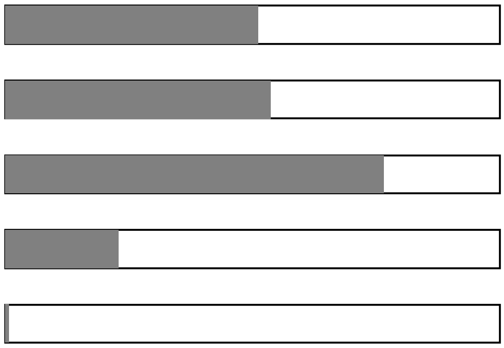
mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



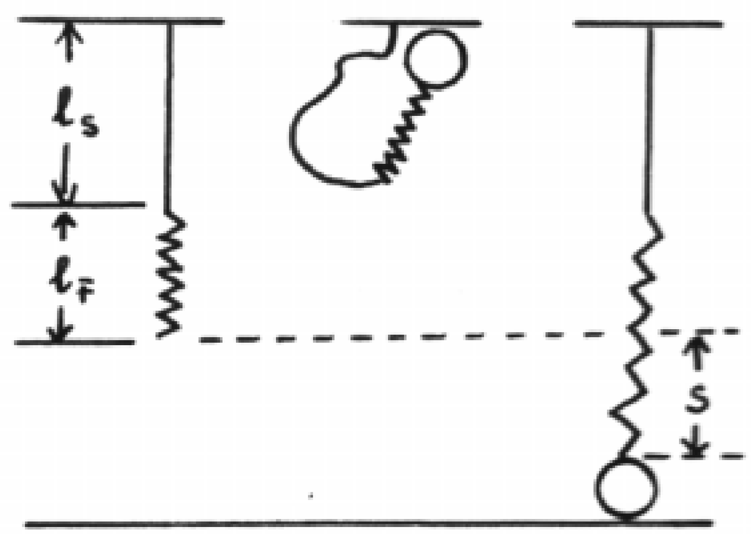
Aufgabe:

Material: Lange, weiche Feder (Spielwarenhandlung), Meterstab, Wägestücke zur Bestimmung der Federkonstanten, Schnur, Haken an der Zimmerdecke, Waage, *Tigger* das Kuscheltier, das den Sprung riskiert.

Vorwissen: Hooke'sches Gesetz, Energieerhaltungssatz der Mechanik

Leitidee: Der Bungeespringer *Tigger*, das selbst mitzubringende Kuscheltier (ca. 80 g), will den größtmöglichen Nervenkitzel. Er verwendet zum Bungeesprung eine Feder, an das für ihn ein Seil (Schnur) zu knüpften ist, um die Phase des „freien Falls" zu verlängern.
Wie lang darf das Seil höchstens sein, das für Tigger zwischen Aufhängepunkt und Feder einzufügen ist, um bei vorgegebener Zimmerhöhe noch einen sicheren Sprung ausführen zu können - so dass Tiggers Kopfhaare den Boden gerade noch nicht berühren.

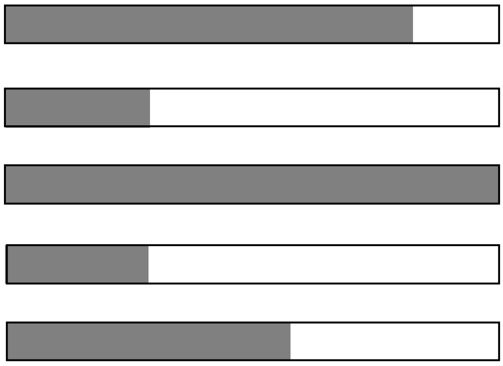
Aufgabe: Messe alle notwendigen Größen und ermittle den theoretischen Wert für die Länge l_S der einzubindenden Schnur und führe den Versuch durch. Rechenfehler sind zu vermeiden, sie könnten Tigger das Leben kosten!



Kommentar:

So wie herkömmliche Übungsaufgaben lassen sich auch Praktikumanleitungen „öffnen“. Dies soll mit diesem Beispiel belegt werden.
Die Schemazeichnung (vorangehende Seite) wird vorgegeben. Das erleichtert den Schülern den Zugang und vereinfacht dem Lehrer später die Korrektur des Protokolls wesentlich, sofern die Bezeichnungen für die Längen übernommen werden. Ist die Klasse offene Aufgaben gewohnt, kann auf die Schemazeichnung natürlich auch verzichtet werden.
Eine Doppelstunde reicht auch schwächeren Schülern zur Durchführung. Der Versuch wird gerne gewählt.
Der Lehrer gibt ggf. mündlich oder mit den folgenden Kärtchen Hilfen:

Hilfe 1:	Hilfe 2:
Erstelle die Energiebilanz. Nullniveau der Lageenergie geschickt wählen. Wie gehen die Eigenlänge der Feder l_F und die Verlängerung der Feder s in die Bilanz ein? Welche Größen sind zu messen, um die <u>Länge der maximal einzufügenden Schur</u> l_S vorhersagen zu können.	Energiesatz: $m\,g\,h = \frac{1}{2} D\,s^2$ mit $h = l_S + l_F + s$ (l_S: Länge der Schnur; l_F: Länge der unbelasteten Feder) Nullniveau der Lageenergie im unteren Umkehrpunkt. Messdaten: m = l_F: Länge der unbelasteten Feder = $g = 9{,}81\ m/s^2$ D=F/s= Deckenhöhe H = (bis zum Haken) Körpergröße des Kuscheltiers h_{Tigger} = $h = H - h_{Tigger}$



mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend

Aufgabe:

Schätze verlässlich ab, wie viele kW bzw. PS eigentlich für eine Autofahrt mit 100 km/h auf horizontaler Strecke wirklich nötig sind[4]. Vergleiche mit den Motor-Leistungen die Mittelklassewagen heute so haben; diskutiere das Ergebnis. Verstehst Du jetzt den geringen Benzinverbrauch auf Überlandfahren im Vergleich zum Stadtverkehr?

Vorkenntnisse: Kräftegleichgewicht, Reibungskraft, Leistung bei konstanter Geschwindigkeit

Kommentar:
Hier ein Beispiel, das unseren Leitgedanken „Aufgaben ins Zentrum" verdeutlicht. Die Aufgabe ist als Konzept für eine ganze Unterrichtsstunde konzipiert - mit Einstieg, Erarbeitung, Übung, inkl. Hausaufgabe.

Da Schülerinnen und Schüler den Umgang mit so offenen Aufgaben erst erlernen müssen, werden während des Unterrichts „bedarfsgerecht und schrittweise" Hilfen auf Kärtchen gegeben.

1. Variante: Verwendung von Hilfekärtchen anstelle einer Einführung

- Der Lehrer teilt ein Informationsblatt zum Luftwiderstand aus, auf dem die Formel $F = \frac{1}{2} \cdot \rho A c_w v^2$ mitgeteilt wird. Das Blatt enthält ferner einige Tabellen aus der Formelsammlung (Reibungskoeffizienten, c_w - Werte, Dichte der Luft...)
- Selbsttätigkeitsphase: Partner- bzw. Gruppenarbeit
- Der Lehrer geht beratend von Gruppe zu Gruppe und verteilt je nach Bedarf „Hilfekärtchen" oder gibt mündlich Hinweise mit unterschiedlich weit reichenden Hilfestellungen, z. B. (s. nächste Seite):
- Präsentation

[4] Die Berücksichtigung von Leistungsverlusten zwischen Motor und Rädern sind nicht gefordert, bleibt aber den

Hilfe 1:	Hilfe 2:
Versuche, die Motorkraft über ihre Reaktionskraft (reactio) quantitativ zu beschreiben. Warum wird eine Schneeflocke im Fallen nicht immer schneller. Zurück zur Ausgangsfrage!	Welche beiden Kräfte wirken der Bewegung eines Autos mit ausgekuppeltem Motor entgegen? Berechne die Kraft des Motors, um das Auto mit konstanter Geschwindigkeit v zu bewegen.

2. Variante: Einführung im Unterrichtsgespräch

- Lehrervortrag: Die Gleichung für den Luftwiderstand wird kurz vorgestellt.
- Fragend entwickelndes Unterrichtsgespräch: Der Betrag der Antriebskraft zum Fahren mit der Maximalgeschwindigkeit wird besprochen: $F = \frac{1}{2} \cdot \rho A c_w v^2 + \mu m g$
- Selbsttätigkeit der Schüler: Anhand eines Informationsblatts, das die nötigen Tabellen enthält (s. 1. Variante) werden die Parameter abgeschätzt. Der Lehrer geht beratend von Gruppe zu Gruppe.
- Präsentation
- Hausaufgabe: Die Schüler erhalten den Auftrag, genauere Daten zu beschaffen (Auto der Eltern, Autohändler, Internet ...) und die Leistung genauer abzuschätzen (eventuell unter Berücksichtigung von Wirkungsgraden ...)
- Anmerkung: Im Zusammenhang mit einem späteren Projekt kann das Problem nach Behandlung der inneren Energie auch auf den Benzinverbrauch erweitert werden.

Lösungshinweis:

Bei einem Reibungskoeffizienten von $\mu = 0{,}01$, einer Masse von $m = 1{,}0$ t, der Luftdichte $\rho = 1{,}3$ kg/m^3, der angeströmten Querschnittsfläche $A = 2{,}0$ m^2, dem c_w -Wert 0,3 und der Geschwindigkeit $v = 100$ km/h benötigt man (an den Rädern) eine Leistung von nur $P = F\,v = 11$ kW = 15 PS! Zurecht fordern Schüler eine angemessene Beschleunigung für das Auto. Bei der berechneten Leistung würde die Beschleunigung von 0 auf 100 km/h unter der Annahme konstanter Beschleunigung $t = W_{kin}/P = 35$ s dauern. Die Frage, warum eine Verdreifachung der Leistung auf 45 PS nicht zu der „ordentlichen“ Beschleunigungsdauer von rund 12 s führt, lässt sich an dieser Stelle ebenfalls diskutieren.

Literatur:

Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung München < ISB > 1999: Offene Aufgabenstellungen Beispiel 6.5 S.24 hier als Kurzfassung

Zur Gesamtbilanz siehe z.B.:
Autofahren – eine besondere Leistung: Cornelsen Physik für Gymnasien Länderausgabe BW (1994) Bd. 1; S. 96.

11.5 Kugelrutscherin: EES und Kreisbewegung — Kl. 11

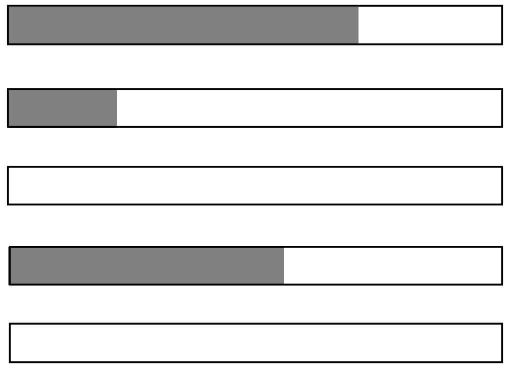
mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

Bearbeite eine der nachfolgenden Aufgaben

Aufgabe 1:
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?

Aufgabe 2:
Auf einem größeren Ball (Radius r) steht auf dem höchsten Punkt ein kleines Spielzeugauto. Es rollt aus der Ruhe heraus reibungsfrei den Ball entlang nach unten. Nach welchem Höhenunterschied h löst es sich von der Balloberfläche?

Aufgabe 3:
Im höchsten Punkt eines großen Globus vom Radius R wird ein kleine Kugel aus der Ruhe losgelassen (reibungsfreies System). Zeige, dass es nach Durchlaufen des Bogens mit dem Winkel α die Geschwindigkeit $v = \sqrt{2gR(1-\cos\alpha)}$ hat und dass es sich beim Winkel α_O vom Globus löst, wenn $\cos\alpha_O = 2/3$ ist!

Quellennachweis:

Aufgabe 1: IPN-Kiel: Erläuterungen zu BLK Modul 1 Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im math.-nat. Unterricht 07/98)
Aufgabe 2: Dorn-Bader 1998
Aufgabe 3: Dorn-Bader 1983

Version 1: Lösungsanleitung für selbstbewusste Problemlöser

- Mache zuerst eine Zeichnung.
- Das Mädchen „setzt“ Energie aus der Höhendifferenz R-H frei.
  (H : Höhe über dem Erdboden; R : Radius der Kuppel)
- Über ein geeignetes Kräfteparallelogramm kann man die Bedingung „gerade von der Kuppel abheben“ in den Lösungsansatz einbauen.
- Das Ergebnis soll keine weiteren Unbekannten außer R enthalten.
- Das Ergebnis ist H = 2/3 R

Version 2: Lösungsanleitung mit Tipps

Die für die Kreisbahn auf der Kuppel nötige Zentripetalkraft (ihr Betrag ist nicht konstant) kann nur von der Komponente der Gewichtskraft senkrecht zur Kreisoberfläche $F_{senkrecht}$ realisiert werden. Man erhält durch Kräftezerlegung und Betrachtung von zwei ähnlichen Dreiecken: $F_{senkrecht} = m\,g\,H / R$.
Das Mädchen verlässt die Kreisbahn, wenn der kleiner werdende Betrag der Kraftkomponenten $F_{senkrecht}$ nicht mehr ausreicht, um die für die Kreisbahn mit dem Radius R und Geschwindigkeit v notwendige Zentripetalkraft $F_Z = m\,v^2 / R$ zu realisieren.
Im Punkt des Abhebens ist

$$F_{senkrecht} < F_Z, \qquad \text{d.h.} \qquad m\,g\,H / R < m\,v^2 / R \qquad (1)$$

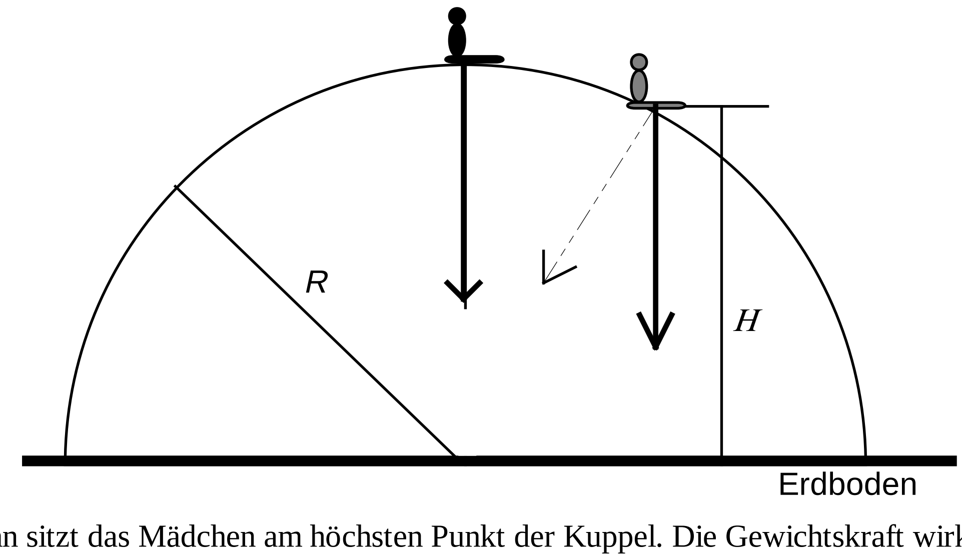
Um H aus (1) bestimmen zu können, muss man noch die Geschwindigkeit v im Moment des Abhebens durch H ausdrücken. Man erhält sie aus dem Energiesatz (Nullniveau angeben)

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

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

$$H = 2/3\,R$$

Version 3: Lösungsanleitung mit deutlichen Hilfen



Zu Beginn sitzt das Mädchen am höchsten Punkt der Kuppel. Die Gewichtskraft wirkt senkrecht nach unten auf die Kuppeloberfläche (dicker schwarzer Pfeil). Wenn es so weit gerutscht ist, dass es sich nur noch auf der Höhe H über dem Erdboden befindet, steht als

Gewichtskraft senkrecht zur Kuppel zur Verfügung. (gestrichelter Pfeil). Sobald diese Komponente senkrecht zur Kuppel die nötige Zentripetalkraft nicht mehr realisieren kann, 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 Zentripetalkraft zum Kreismittelpunkt hin gerichtet ist und die Größe $m\,v^2 / R$ hat.

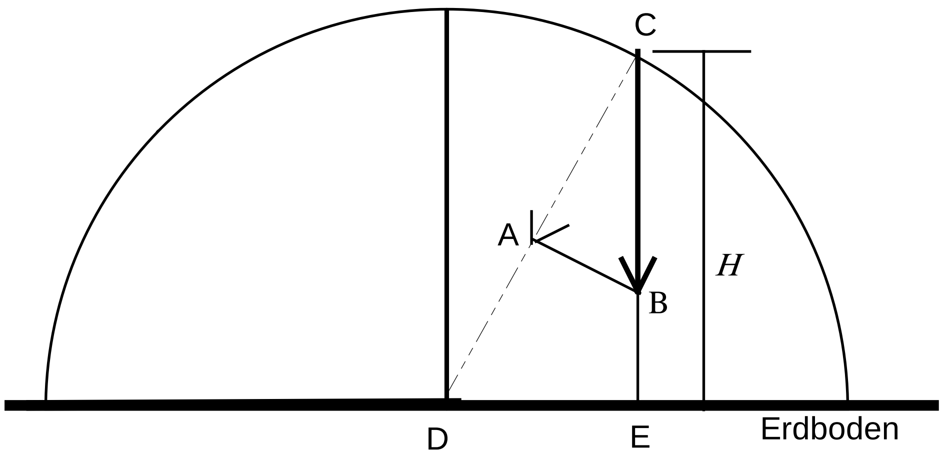
(b) Die Geschwindigkeit v : Beim Herunterrutschen vom höchsten Punkt bis auf die Höhe H nimmt die Höhe des Mädchens um den Betrag R - H ab. Die Abnahme der Lageenergie ist also m g (R - H) und ist gleich der Zunahme der Bewegungsenergie, als $m\,v^2 / 2$. Somit gilt

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

oder

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

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



Zeige, dass die Dreiecke ΔCAB und ΔCED ähnlich sind. Berechne nun das Verhältnis von Normal- und Gewichtskraft, ausgedrückt durch H und R.

Als Bedingung für das Abheben gilt: $F_{senkrecht} \leq F_Z$:

$$H\,m\,g / R < m\,v^2 / R \quad \text{oder}$$

$$(2) \quad v2 > H\ g$$

Gleichsetzen von (1) und (2) ergibt:

$$H\,g / 2 < g\,R - H\,g$$

$$H / 2 < R – H$$

$$H < 2/3\ R$$

mehrschichtig und problemhaltig

Selbständigkeit fördernd

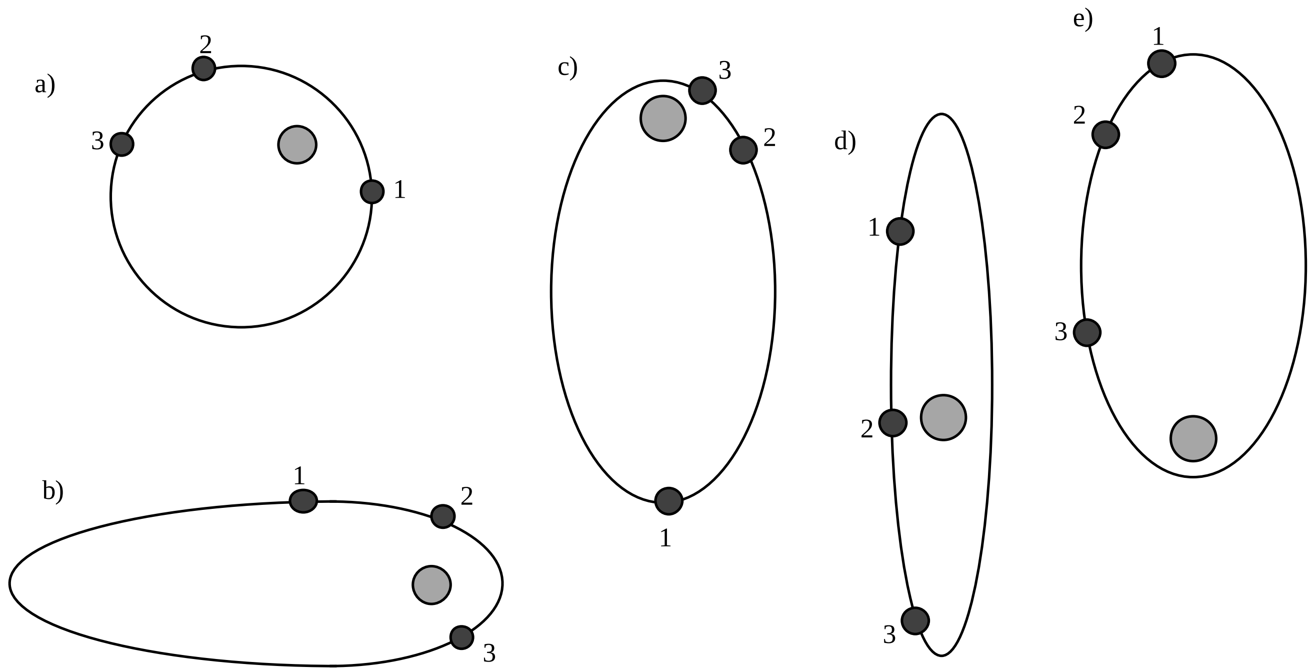
anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

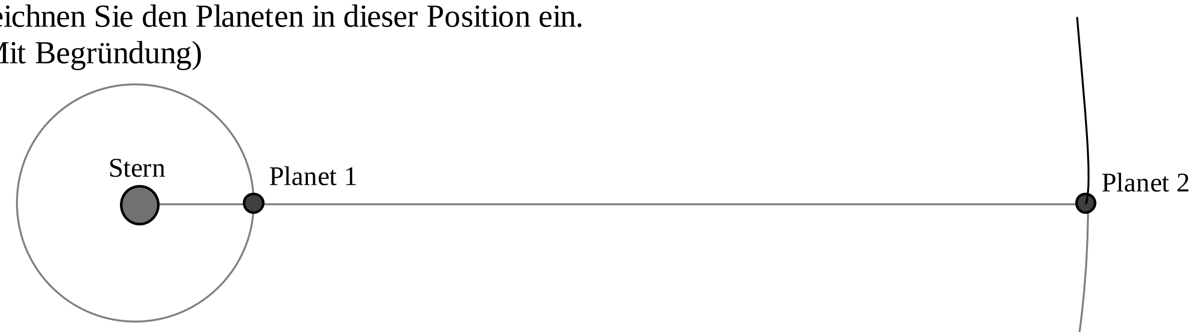
fächerübergreifend

Aufgabe:

1. Die folgenden Bilder sollen Bahnen eines Planeten ( ) um einen Stern ( ) sein. (Das Bild zeigt die Ebene der Planetenbahnen immer genau von oben, nie schräg von der Seite!) Gezeigt werden drei Positionen des Planeten im gleichen zeitlichen Abstand (also z.B. zur Zeit $t_1 = 0$, zur Zeit $t_2 = 100$ Tage und zur Zeit $t_3 = 200$ Tage).
   Unter den Bildern a) bis e) kann nur eines richtig sein. Welches? Schreiben Sie neben dieses Bild „richtig". „Korrigieren" Sie die anderen Bilder (wie ein Lehrer), d.h.
   - schreiben Sie zu jedem Bild, aus welchem ganz deutlich sichtbaren eindeutigen Grund dies keine Planetenbahn um einen Stern sein kann und
   - markieren Sie den Fehler auch in der Zeichnung selbst.



2. Planet 1 befindet sich auf einer Kreisbahn mit Radius r um einen Stern. Planet 2 kreist mit Radius 8r um den Stern. Wie weit kommt Planet 2, wenn Planet 1 einen halben Umlauf macht?
Zeichnen Sie den Planeten in dieser Position ein.
(Mit Begründung)



Lösung:

Zu 1:
a) ist falsch, weil sich der Stern nicht im Mittelpunkt des Kreises befindet.
b) ist falsch, weil die Planetenbahn keine Ellipse ist.
c) ist falsch, weil der Flächensatz nicht erfüllt ist.
d) ist falsch, weil der Stern nicht in einem der Brennpunkte der Ellipse liegt.
e) ist richtig.

Zu 2:
Bei 8-fachem Radius ist die vierfache Zeit nötig. Folglich legt Planet 2 in der gegebenen Zeit ein Achtel Umlauf zurück.

Kommentar:

Die Keplergesetze lassen sich nicht nur in Formeln, sondern auch in Worte fassen. Mit diesen Formulierungen allein können die Aufgaben gelöst werden. Nur bei der zweiten Aufgabe ist eine kleine Kopfrechnung nötig. Ein Schüler, der dies schafft, hat von den Keplergesetzen wahrscheinlich mehr verstanden, als ein Schüler, der nur die Formeln gelernt hat und Einsetzaufgaben zu diesen Formeln löst.
Die Aufgaben wurden in Klassenarbeiten gestellt und zufriedenstellend bearbeitet.

11.7 Stoffwechsel und Atmung (Wärmelehre, Energie) Kl.11

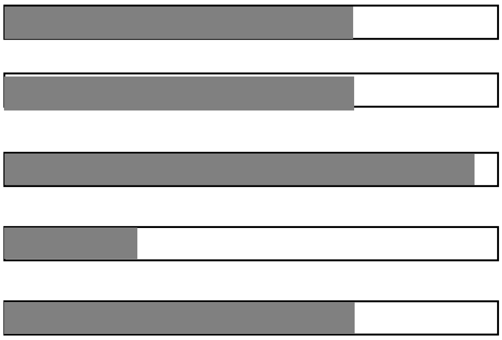
mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

Wie schnell atmest du?

Der Mensch atmet, um den Sauerstoff aus der Luft über das Blut in die Zellen zu tranportieren, wo die Energie z.B. aus Zucker freigesetzt wird.
Die Reaktionsgleichung lautet:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 2826\ \text{kJ},$$

d.h. beim Umsatz von jeweils einem Mol Zucker werden 2826 kJ freigesetzt.
Der Sauerstoffgehalt der „unverbrauchten“ Luft liegt bei 21%, bei der ausgeatmeten Luft bei 16%.

a) Wie hängt dein Energieumsatz pro Tag mit deiner Atemfrequenz zusammen? Rechne und beurteile dein Ergebnis.
b) Schätze ab, wie viel Blut dein Herz pro Minute durch die Adern pumpt.
Jetzt kannst du abschätzen, wieviel ml Sauerstoff das Blut pro Liter aufnehmen kann.
Wasser kann nur etwa 5 ml Sauerstoff pro Liter aufnehmen. Vergleiche mit deinem Ergebnis.
c) Das Herz muss das Blut gegen den systolischen Blutdruck (= „erster“ Blutdruckwert in der zweiteiligen Blutdruckangabe) pumpen.
Der Blutdruck wird in mmHg gemessen. 1 mmHg ist etwa 130 Pa.
Berechne die Leistung deines Herzens.

(Aufgabe nach einem Fermiproblem von R. Müller, Didaktik LMU München)

Mögliche Lösung in Stichpunkten:

a) Die Energiezufuhr pro Tag wird etwa mit 5 Tafeln Schokolade gedeckt, dies sind etwa 12000 kJ.
Das entspricht 4,3 mol Zucker, dazu sind etwa 26 mol Sauerstoff nötig.
Ein mol Sauerstoff sind 22,4 Liter, also sind 26 mol etwa 580 Liter Sauerstoff.
Der verwertete Anteil in Luft beträgt 5%, also sind etwa 12000 Liter Luft nötig.
(Für 1 kJ ist also ziemlich genau 1 Liter Luft nötig, das ist leicht zu merken.)
Die Luftmenge pro Atemzug lässt sich leicht experimentell bestimmen (z.B. mit einer Plastiktüte und der Verdrängungsmethode), sie beträgt ungefähr ½ Liter. Das sind pro Tag 24000 Atemzüge, pro Stunde also 1000 und pro Minute etwa 17. Dies lässt sich im Selbstversuch

b) Das Herz schlägt etwa 80 mal in der Minute, da es etwa faustgroß ist, pumpt es ca. 50 ml pro Schlag.
Das Herz pumpt also pro Minute 4 Liter durch die Adern.
Pro Tag sind 580 Liter Sauerstoff zu transportieren, das sind pro Minute also 0,4 Liter. Folglich löst ein Liter Blut etwa 100 ml Sauerstoff! Das sind 20 mal so viel wie in Wasser löslich ist.
Mit Wasser statt Blut müsste das Herz also 20 mal so schnell schlagen oder das Herz 20 mal so groß sein!
c) Ein typischer Blutdruckwert ist 120 : 80. 120 mmHg sind etwa 16 kPa oder 160 hPa (oder 160 mbar).
Nach der Formel Energieumsatz am Gas = Druck mal gepumptes Volumen

$$E = p \cdot \Delta V = 16\ \mathrm{kPa} \cdot 0{,}05\ \mathrm{l} = 0{,}8\ \mathrm{J}$$

braucht das Herz pro Schlag 0,8 J, bei 80 Schlägen sind dies 64 J pro Minute bzw. ziemlich genau 1 Watt Leistung!

Kommentar:

Diese Aufgabe ist umfangreich und schwierig, passt aber in vielen Aspekten gut zur hier propagierten Aufgabenkultur. Da sich die Schüler einige Informationen selbst besorgen müssen (z.B. aus dem Biologiebuch oder vom Chemielehrer), könnte man diese Aufgabe z.B. über zwei Wochen als Projektaufgabe stellen.

12.1 Lorentzkraft — Kl. 12

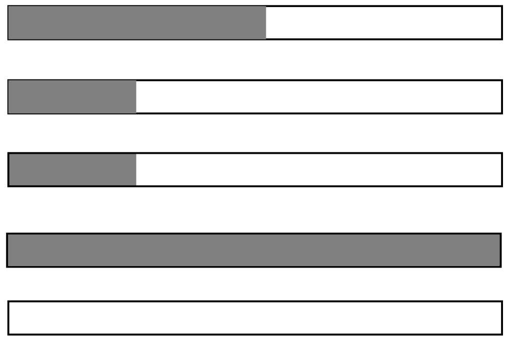
mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

Die Lorentzkraft hat eine unerwartete Richtung und zahlreiche Anwendungen. Erläutere!

Kommentar:

Beispiel für eine Aufgabe, die vor allem horizontal vernetzend angelegt ist und auf die anstehende Klassenarbeit vorbereiten sollte.

Diese offen(er)en Fragen lassen weit mehr richtige Antworten zu, als es hier skizziert ist !!!

<u>Unerwartete Richtung</u>: Bewegte Elektronen (allgemein elektrische Ladungen) erfahren Kräfte in Magnetfeldern senkrecht zu den magnetischen Feldlinien, sofern die Ladungen sich senkrecht zu den Feldlinien bewegen – im Gegensatz dazu: Magnetnadeln, die sich in Feldlinienrichtung ausrichten, Kräfte hier in Richtung der Feldlinien.

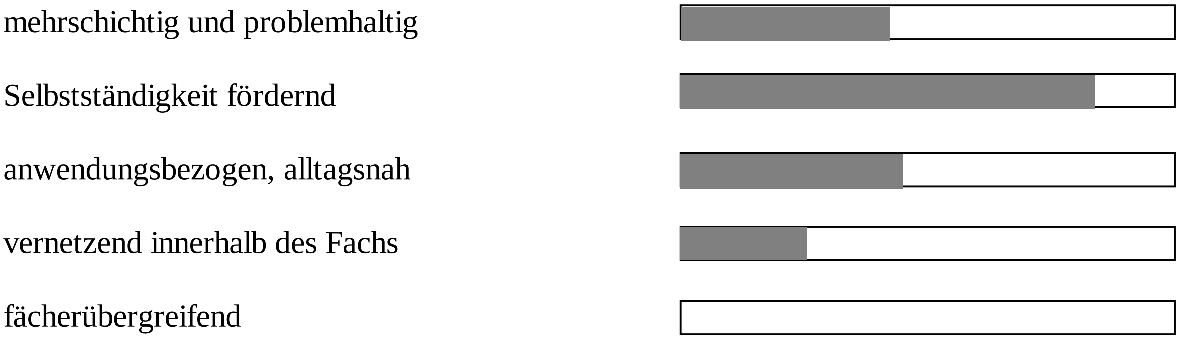
<u>Zahlreiche Anwendungen</u>:

a) Wirkung auf „gerade Leiter“ Ablenkung des Elektronenstrahls in der Fernsehbildröhre; auch zwischen *Kupfer*drähten gibt es magnetische Wechselwirkungen (Anziehung oder Abstoßung je nach Stromrichtung) wenn die Drähte stromführend sind. (allgemein: Kraft auf stromführenden Leiter im Fremdfeld).

b) Wirkung auf „Spulen im weitesten Sinne“: Lorentzkraft als Ursache für die Kraft, die den Elektromotor antreibt (allgemein: Kraft auf stromführenden Leiter). Drehspulinstrument (Amperemeter) basiert auf der Lorentzkraft.

c) Die Lorentzkraft verschiebt die freien Elektronen längs eines Leiters, der sich senkrecht zu einem Magnetfeld bewegt. So werden Ladungen getrennt; es fließt ein (Induktions)-Strom als Voraussetzung für die auftretende (Induktions)-Spannung
Motoren können als Generatoren genutzt werden und umgekehrt, da beide in ihrem Funktionsprinzip auf der Lorentzkraft beruhen!

12.2 Praktikum: Magnetfeld einer Strom führenden Spule — Kl.12



Kommentar:

Die Aufgabe wurde im Rahmen eines Zirkelpraktikums im Leistungskurs Physik 12 eingesetzt.
Es gab einige kreative Lösungsansätze, regelrecht forschende Untersuchungen und entsprechende Ausarbeitungen.
Als experimentelle Hilfsmittel wurden verwendet:
Hallsonde mit Anzeigeinstrument,
Hallsonde mit CASSY,
Magnetprober, (ein frei drehbar aufgehängter kleiner Magnet),
Eisenfeilspanbilder.

Aufgabe:

<u>Ziel:</u>

Ermittlung des Magnetfelds (Feldlinienverlauf, magnetische Flussdichte $\vec{B}$) einer Strom führenden Spule. Diese offene Problemstellung soll Raum geben für kreative Ideen und selbstständige Durchführung und Dokumentation.
Kurz gesagt: Erwerb von Schlüsselqualifikationen!

<u>Geräte:</u>

1 „kurze“ Spule n = 500 (z.B. Firma Leybold)
1 Eisenkern
1 Netzgerät
1 Strommessgerät
zusätzlich benötigtes Gerät (der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt)

Vorplanung:

- Überlege, wie für die Strom führende Spule der Verlauf des Magnetfelds und die magnetische Flussdichte $\vec{B}$ nach Betrag und Richtung ermittelt werden können (möglichst nicht nur ein Verfahren!) sowohl qualitativ als auch quantitativ.
- Erstelle einen Arbeitsplan:
  - Wovon könnte $\vec{B}$ abhängen?
  - Mit welchem Verfahren kann $\vec{B}$ gemessen werden?
  - Wie können die eigenen Überlegungen, die Vorgehensweise und die Versuche so dokumentiert werden, dass Andere dies verstehen?
  - Wie könnte der Verlauf des Magnetfeldes übersichtlich dargestellt werden?

Durchführung und Auswertung:

Hierzu gehören u.a.
- Versuchsskizzen
- Erläuterung und Dokumentation der Vorgehensweise
- Dokumentation der Messwerte
- Auswertung der experimentellen Ergebnisse
- Veranschaulichung der Ergebnisse (Feldlinienverlauf, magnetische Flussdichte $\vec{B}$) mit geeigneten grafischen Darstellungen.
- Aufstellen einer Gleichung für die magnetische Flussdichte B.

12.3 Kondensator und Spule im Gleichstromkreis Kl.12

mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

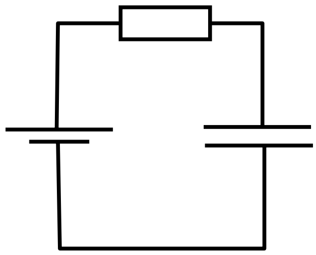
anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend

Aufgabe:

E-Lehre zum Nachdenken und Formulieren.



Ein Kondensator wird mit einer Spannungsquelle (U = 2,0 kV) aufgeladen.
T sei die Zeit, die vergeht, bis der Kondensator zur Hälfte geladen ist.
Der Endwert der Ladung (für Zeiten >> T) betrage Q = 1,0 nC.

a) Skizzieren Sie das Q(t)-Schaubild.
b) Wodurch wird die Anfangsstromstärke I(t << T)) begrenzt?
Welches Verhalten zeigt die Stromstärke I(t) im Lauf der Zeit?
c) Begründen Sie, warum die Steigung der Q(t)-Kurve mit wachsender Zeit t abnimmt.
d) Bis zum Zeitpunkt T ist auf den Kondensator die Ladung Q(T) = 0,5 nC geflossen.
Wie viel Ladung trägt der Kondensator zur Zeit t = 2 T?
e) Vergleichen Sie quantitativ die momentane Ladungszunahme (= Stromstärke) zur Zeit T mit derjenigen zur Zeit 2 T. Begründen Sie Ihre Aussage.
f) Wie ändert sich das Schaubild von Q(t), wenn während des Aufladevorgangs der Plattenabstand des Kondensators verringert wird?

Nun werde der ohmsche Widerstand durch eine Spule ersetzt.

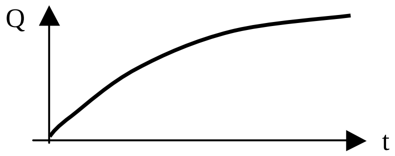
g) Wie ist Zeitabhängigkeit der Stromstärke für kleine Zeiten t << T?
h) Begründen Sie mit Hilfe der in der Spule induzierten Spannung, wie sich nun die Ladekurve Q(t) ändert. Skizzieren Sie Q(t) und I(t) in ein Diagramm.
i) Skizzieren Sie auch ein I(Q)-Schaubild.

Nun werde die Spannungsquelle entfernt (und der Stromkreis geschlossen).

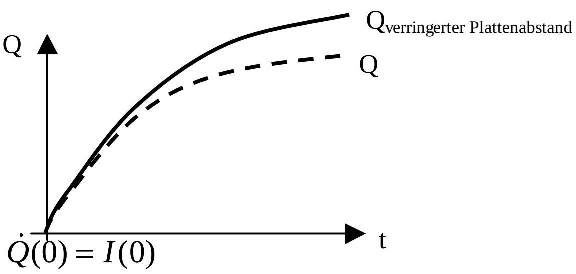
j) Beschreiben Sie, wohin die Energie W, die zu Beginn im elektrischen Feld des Kondensators steckt, im weiteren Verlauf des Experiments fließt.
k) Skizzieren Sie ein I(Q)-Schaubild.
l) Diskutieren Sie auch unter dem Energieaspekt, was geschieht, wenn der Plattenabstand des Kondensators nach dem Abtrennen der Spannungsquelle <u>gleichmäßig</u> verringert wird.
m) Skizzieren Sie I(t) und W(t) in ein Diagramm.

Mögliche Lösung:

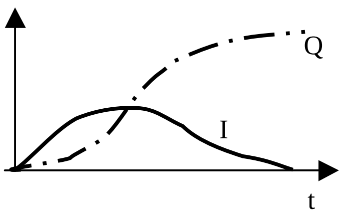
a)



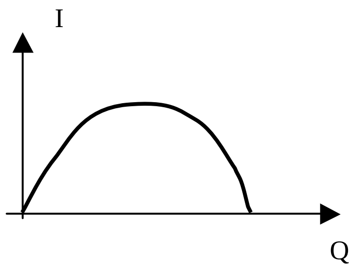
b) Durch den ohmschen Widerstand, $I(0) = U/R$.. Die Stromstärke sinkt ab.
c) Weil sich durch die Aufladung des Kondensators eine zunehmende Gegenspannung aufbaut.
d) Kondensatoraufladung erfolgt exponentiell. Folglich ist $Q(2\,T) = 1{,}5\,Q(T)$
e) Ladungszunahme ist Stromfluss in den Zuleitungen. Dieser ist proportional zur Restspannung $U_0 - U_C$, diese ist proportional zur noch fehlenden Ladung, also ist $I(T) = 2\,I(2\,T)$
f) Bei Verringerung des Plattenabstands steigt die Kapazität des Kondensators. Die momentane Ladung des Kondensators sorgt für eine niedrigere Gegenspannung $U_C(t) = Q(t)/C(t)$. Also fließt mehr Ladung pro Zeit nach. Die Kurve wird steiler und wegen der gestiegenen Kapazität ist der Endwert für Q größer. Zu Beginn sind die Kurven asymptotisch gleich.



g) Die Zunahme der Stromstärke bei t = 0s wird durch die Induktivität begrenzt. Es gilt in guter Näherung: $U_0 = L \cdot \dot{I}$.
h) In der Spule wird eine Gegenspannung induziert, die jedoch im Gegensatz zu U_C immer schwächer wird. Die Stromstärke nimmt also anfangs zu und wird dann wieder kleiner. Q(t) ist einfach I(t) integriert: Wo I am größten ist, steigt Q am stärksten an. $I > 0$ für alle Zeiten t, damit ist Q(t) monoton wachsend

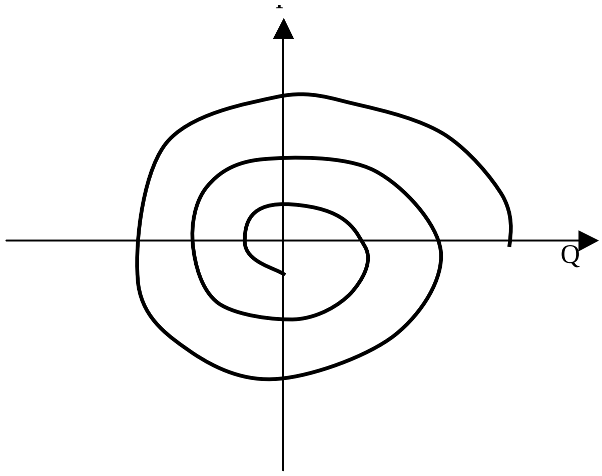


i)



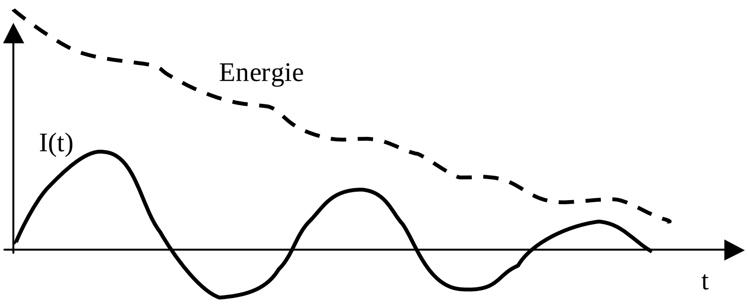
j) Während sich das E-Feld des Kondensators abbaut, baut sich das B-Feld der Spule auf, sodass die Feldenergie des Kondensators zur Feldenergie der Spule wird. Allerdings bricht nach dem Ladungsausgleich die Stromstärke nicht sofort zusammen, da die Spule wieder eine Gegenspannung induziert: Wir haben einen elektromagnetischen Schwingkreis, indem die Energie zwischen Spule und Kondensator hin- und herfließt.

k)



l) Wenn der Plattenabstand verringert wird, geht elektrische Feldenergie in mechanische Energie über, je nach dem wie viel Ladung sich gerade auf dem Kondensator befindet. Der Schwingkreis verliert also immer dann besonders viel Energie, wenn in ihm der Betrag der Stromstärke klein ist!

m)



Kommentar:

Diese schwierigen Aufgaben sind mit physikalischem Gefühl und Sachverstand zu lösen. Die benötigten Zusammenhänge sollten auch aus dem üblichen Unterricht bekannt sein. Allerdings sind die Situationen z.T. vertrackt und es dürfte auch einem Lehrer Spaß machen, sich mit den Problemen auseinander zu setzen. Trotzdem kamen die guten Schüler eines Leistungskurses damit zurecht. Solche schwierige Aufgaben muss man natürlich anders korrigieren – milder: Eigene Gedanken der Schüler sind wertvoll. Bereits richtige Tendenzen müssen honoriert werden. Und auch wenn ein Schüler falsche Annahmen macht, aber richtig folgert, sollte er Punkte dafür bekommen.

Variante
(Schwierigkeit erheblich reduziert, dafür nicht mehr so „mehrschichtig und problemhaltig“):

Ein Plattenkondensator werde mit der Spannung U_0 aufgeladen und dann von der Spannungsquelle getrennt.
Dann wird der Abstand d der Platten mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bis auf d=0 verringert.

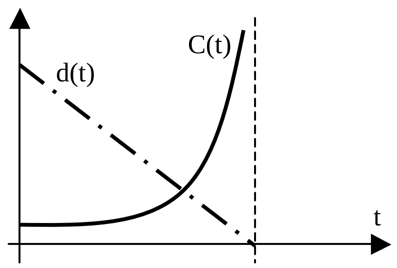
- Beschreiben Sie verbal oder mit einer Skizze, wie die Kapazität des Kondensators vom Plattenabstand d abhängt.
- Skizzieren Sie in ein Schaubild den Plattenabstand d in Abhängigkeit von der Zeit und die Kapazität C des Kondensators in Abhängigkeit von der Zeit.

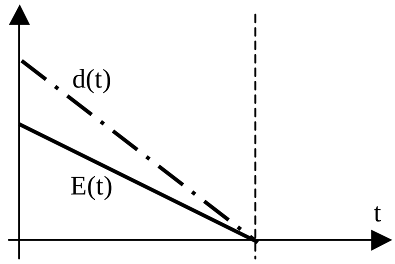
- Skizzieren Sie ein Schaubild für die Feldenergie in Abhängigkeit von der Zeit.
- Skizzieren Sie ein Schaubild für die Änderung der Feldenergie pro Zeiteinheit in Abhängigkeit von der Zeit.
- Wie hängt die Änderung der Feldenergie pro Zeit von der anfänglichen Ladespannung U_0 ab?

Nun werde der Kondensator in der Schaltung von Aufgabe c) durch einen Plattenkondensator ersetzt. Der Abstand dieses Plattenkondensators werde mit gleichmäßiger Geschwindigkeit verringert.

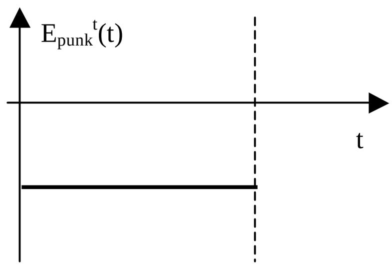
- In welchen Zeitabschnitten ist die Änderung der Feldenergie pro Zeiteinheit aufgrund des Zusammenschiebens der Platten besonders groß? Begründen Sie!
- Skizzieren Sie die Schaubilder für die Spannung am Plattenkondensator in Abhängigkeit von der Zeit und für die Summe der Energien in Kondensator und Spule in Abhängigkeit von der Zeit in ein Diagramm.

<u>Lösung der einfacheren Variante:</u>

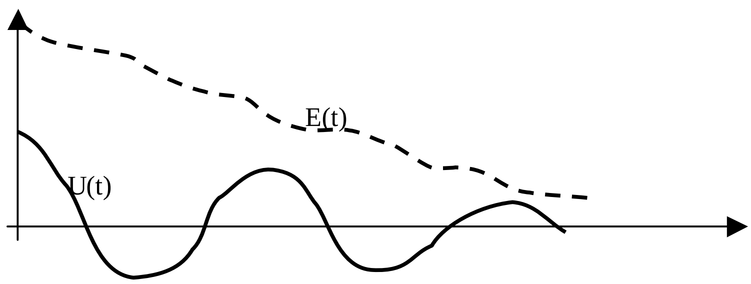
- C ist proportional zu 1/d, also ein Hyperbelast.
- 



- E ist Q^2/C, also ist E proportional zu d.
- Hier ist die Zeitableitung von E(t) verlangt.
 Diese ist konstant:



- Mehr Ladespannung, also ist der Anfangswert von E(t) größer, also nimmt E(t) stärker ab, also ist der Betrag von $E_{punkt}(t)$ größer. Genauer: Wegen E proportional zu U^2, ist $E_{punkt}(t)$ proportional zu U^2.
- Wenn die momentane Spannung am Kondensator groß ist, nimmt die Energie aufgrund des Zusammenschiebens besonders stark ab, s. voriger Teilpunkt.

- 

13.1 Zusammenhänge bei Schallwellen finden — Kl.13

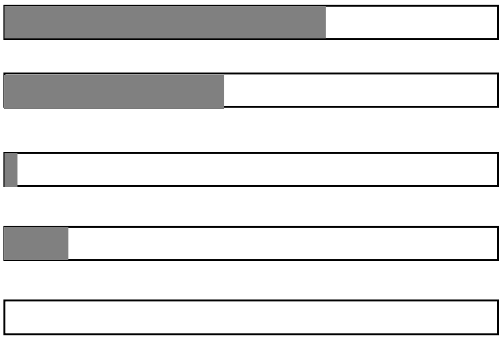
mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

a) Fortschreitende Schallwelle

Wir betrachten zur Vereinfachung 10 Luftteilchen.

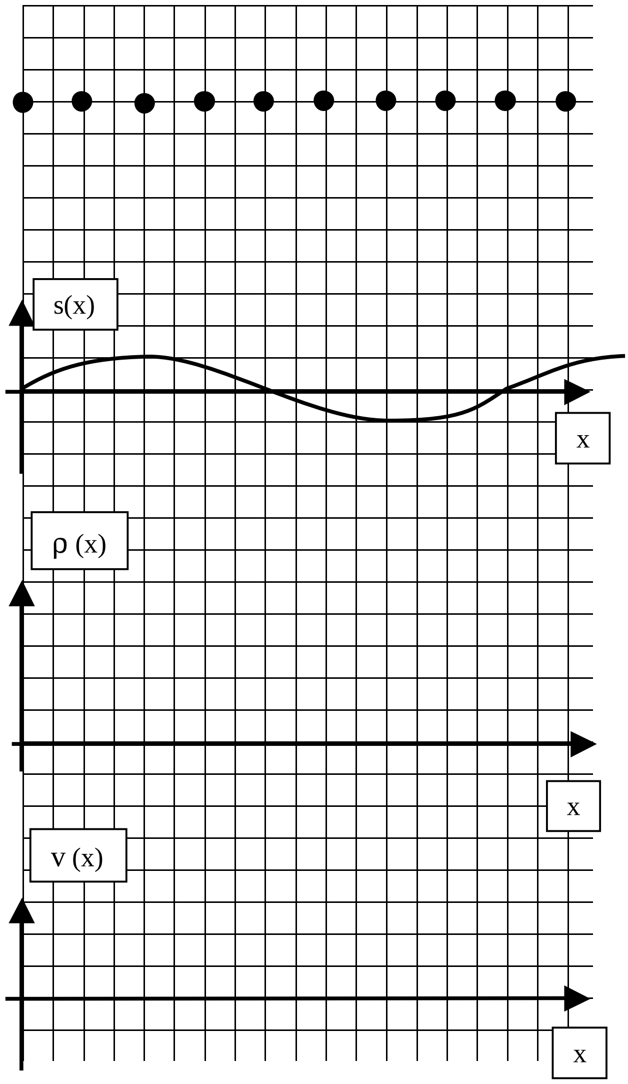
Das sind die 10 Luftteilchen, wenn sie nicht ausgelenkt sind:

Nun betrachten wir eine Welle, die nach rechts fortschreitet.
Zeichnen Sie unter die nicht ausgelenkten Teilchen die 10 Teilchen, wenn sie gemäß dem nebenstehenden s(x)-Schaubild ausgelenkt sind:
(Denken Sie daran: Schallwellen sind Längswellen!)

Zeichnen Sie rechts ein Schaubild für die Dichte ρ(x) der Teilchen in Abhängigkeit von x.

Zeichnen Sie darunter auch ein Schaubild für die Schnelle v(x) der einzelnen Teilchen in Abhängigkeit von x:

Was ist der Unterschied zur Wellengeschwindigkeit c?



Was ändert sich an den Schaubildern, wenn die Welle nach links statt nach rechts fortschreitet?

Formulieren Sie einen Zusammenhang zwischen der Auslenkung s(x), der Dichte ρ(x) und der Schnelle v(x) in einer fortschreitenden Schallwelle.

b) Stehende Schallwelle

Zeichnen Sie auch Momentaufnahmen für eine stehende Schallwelle und finden Sie auch hierfür die Zusammenhänge zwischen Auslenkung s(x), Dichte ρ(x) und Schnelle v(x).

Kommentar:

Längswellen zeigen gegenüber Querwellen neue Eigenschaften wie Verdichtungen. Wenn die Querwellen besprochen worden sind, können die Schüler diese Eigenschaften selbst erarbeiten. Es gibt nur eine richtige Lösung, die durch starke Führung erreicht wird. Gefordert sind allerdings das Arbeiten mit Schaubildern und das Verbalisieren der Zusammenhänge.
Die Erfahrungen im Unterricht (im September 2000) waren gut, die Schwierigkeit der Aufgabe angemessen. Die benötigte Zeitdauer betrug etwa 30 Minuten. Die guten Schüler, die den a)-Teil zügiger erledigt hatten, versuchten sich dann am b)-Teil, allerdings fand in der gegebenen Zeit keiner alle verlangten Zusammenhänge.

13.2 Elektromagnetische Wellen Kl.13

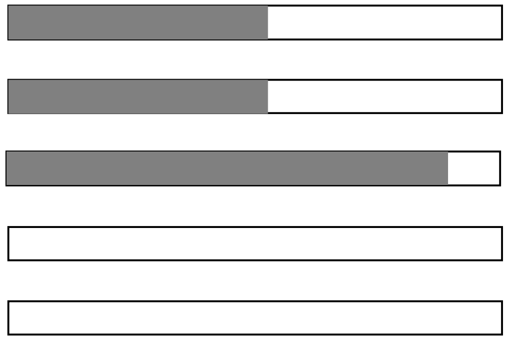
mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

In Ihrem Haushalt, Auto usw. gibt es Empfangs-, vielleicht auch Sendegeräte. Bestimmen Sie physikalische Daten dieser Geräte. Versuchen Sie auch experimentell, diese Werte zu bestätigen. (Öffnen Sie keine Geräte!!! Beachten Sie die Sicherheitsvorschriften!)

Kommentar:

Behandelt waren elektromagnetische Schwingungen und Wellen. Leyboldsender: $l=\lambda/2$
Anwendung, Vertiefung.

Es entsteht das Problem, dass z.B. Antennen geerdet sind und deshalb $l=\lambda/4$ gilt. Dies können die Schüler erkennen, aber nicht einfach aus dem Unterricht übernehmen. Die Spannung entsteht durch den scheinbaren Widerspruch zwischen Gelerntem und der Realität.
Die Aufgabe lässt Freiraum für vielfältige Untersuchungen. So wurde z.B. getestet, ob man ein Handy im (ausgeschalteten) Mikrowellengerät anrufen kann.

13.3 Fullerenbeugung (Wellenoptik und Quantenphysik)	Kl.13

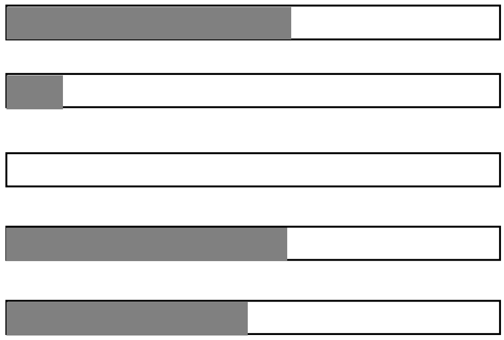
mehrschichtig und problemhaltig

Selbstständigkeit fördernd

anwendungsbezogen, alltagsnah

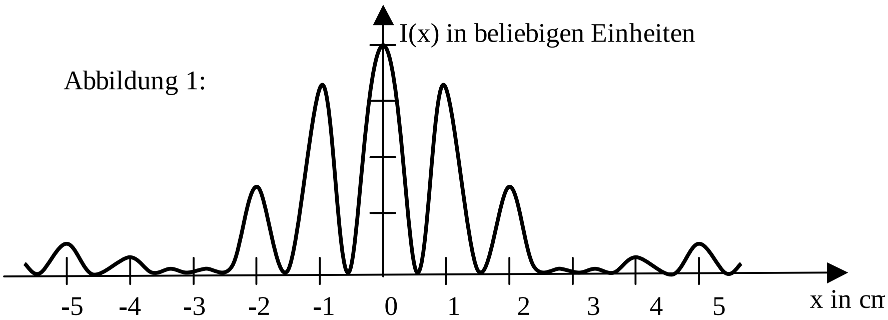
vernetzend innerhalb des Fachs

fächerübergreifend



Aufgabe:

a) Das parallele Licht einer Natriumdampflampe (Wellenlänge 589 nm) fällt senkrecht auf einen Doppelspalt. In der Entfernung y = 4,0 m wird ein Intensitätsdiagramm I(x) parallel zum Doppelspalt aufgenommen.
Man erhält das Schaubild in Abbildung 1:

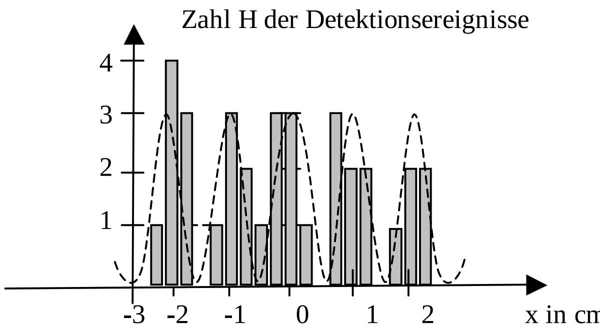


- Erklären Sie in einem geeigneten Modell das Zustandekommen der Minima bei x = ±0,5 cm. Woher kommt das Minimum für x = ±3,0 cm?
- Berechnen Sie möglichst genau den Abstand d der Spaltmitten des Doppelspalts und die Breite a der beiden Einzelspalte. (Dazu können Sie auch Informationen aus dem Schaubild entnehmen.)
- Nun werde der Doppelspalt durch einen weiteren Doppelspalt mit Spaltabstand 0,5·d und Spaltbreite 0,75·a ersetzt. Skizzieren Sie das zugehörige I(x)-Schaubild. (x-Achse: 1cm entspricht 1cm; y-Achse: beliebige Einheiten).

b) Nun werde die Intensität der Natriumlampe durch Graufilter so weit verringert, dass in der Beobachtungsebene nur mehr einzelne Photonen registriert werden.

- Wie groß ist die Energie eines einzelnen Photons?
  Der Doppelspalt von Aufgabe a) werde durch einen Doppelspalt ersetzt dessen Einzelspaltbreiten a sehr viel kleiner als der Spaltabstand d seien.
  Durch diese Anordnung werden nun 34 Photonen geschickt und in der Detektionsebene nachgewiesen. Das Histogramm in Abb- 2 zeigt die Zahl der Detektionsereignisse in Abhängigkeit von x. Die Ortsauflösung des Detektors beträgt 0,25cm. Z.B. werden im 0,25cm-Bereich um x_1 = 1,0cm zwei Photonen nachgewiesen, d.h. H(1cm) =2.

Abbildung 2:



- Wie kann es sein, dass außerhalb eines Maximums mehr Photonen nachgewiesen werden, als in einer
  Maximumsstelle: $H(x_1) = 2 < H(0{,}75\text{cm}) = 3$?
- Was erwarten Sie bzgl. $H(x_1)$ und H(0,75cm), wenn man statt 34 Photonen 340 Photonen durch die Anordnung schickt? Begründung! (Ev: Zeichnen Sie eine typische H(x)-Kurve!) Welches Verhältnis erwarten Sie für $H(x_1)/H(0{,}75\text{cm})$, wenn 34 Millionen Photonen durch die Anordnung geschickt werden?

c) Leicht veränderter Auszug aus einem Artikel in den „Physikalischen Blättern“ Jahrgang 2000/56 von Prof. M. Arndt und Prof. A. Zeilinger von der Universität Wien:

„In einem Experiment in unserer Gruppe in Wien haben wir vor kurzem Interferenzen von de-Broglie-Wellen der Fullerene C_{60} bei Beugung an einem materiellen Gitter beobachtet. Dabei traten die Moleküle aus einem Ofen, der auf einer Temperatur von rund 900 K gehalten wurde, und zwar mit einer breiten Geschwindigkeitsverteilung mit einem Maximum bei 200 m/s.

Gebeugt wurden die Fullerene durch ein Gitter in einer Entfernung von etwa 1,2 m hinter dem Ofen. Das Gitter bestand aus einer freitragenden SiN_x-Struktur mit 50 nm breiten Spalten und einer Periode [= Gitterkonstante] von 100 nm. Der Detektor war 1,25 m hinter dem Gitter angebracht und hatte eine Ortsauflösung von etwa 5 μm. [Der Detektor konnte parallel zum Gitter verschoben werden und registrierte einzelne Fullerenmoleküle.] Ein experimentelles Beugungsbild ist in Abb. 3. wiedergegeben. [Aufgetragen ist die Zahl der Detektionen eines einzelnen Fullerens in Abhängigkeit von der Detektorposition]. Man sieht deutlich die Beugungsmaxima erster Ordnung rechts und links vom zentralen Maximum. Die Kurve wird recht gut von dem Wellenmodell reproduziert, wenn man die Geschwindigkeitsverteilung des Strahls berücksichtigt.“

(Einfügungen in eckigen Klammern von den Autoren dieses Hefts)

- Berechnen Sie mit Hilfe der Daten, die in Text und Schaubild gegeben sind, so genau wie möglich die de-Broglie-Wellenlänge und die Masse der verwendeten Fulleren-Moleküle.
- Zeigen Sie, dass mit der gegebenen Anordnung die Maxima 2. Ordnung nicht beobachtet werden konnten.

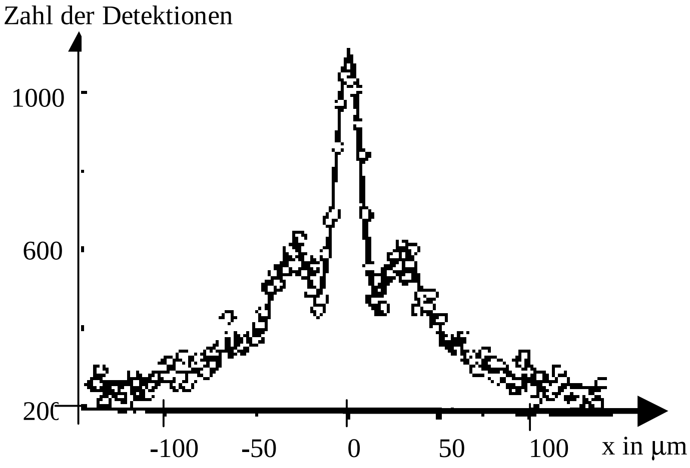


Abbildung 3:

- Inwiefern weicht die Kurve von der theoretisch nach dem Wellenmodell erwarteten Intensitätskurve eines Gitters ab und wie kann man die beobachtete Abweichung durch die Geschwindigkeitsverteilung der Fullerene erklären?
- Welche Beobachtung bei diesem Experiment spricht dagegen, sich die Fullerene als Welle vorzustellen?

Lösung

a)
Im Wellenmodell überlagern sich die Lichtwellen aus den zwei Spalten gemäß dem Huygens-Prinzip.
An der Stelle x = 0,5 cm ist der Gangunterschied der zwei Elementarwellen aus den beiden Spalten gerade $\lambda/2$, die elektrischen Feldvektoren addieren sich zu Null.
Dem reinen Doppelspaltmuster überlagert ist das Einzelspaltmuster. Dort wo das Einzelspaltmuster Minima hat, wird das Doppelspaltmuster unterdrückt. Offensichtlich erscheint für x = 3cm das erste Einzelspalt-Minimum, sodass das 3. Maximum unterdrückt ist.

Beim Doppelspalt treten Maxima auf, wenn die Bedingung $\lambda/d = x/y$ erfüllt ist.
Man erhält: $d = \frac{\lambda \cdot y}{x} = \frac{589\,\text{nm} \cdot 4\ \text{m}}{1{,}0\,\text{cm}} = 0{,}24\ \text{mm} \cdot$
Beim Einzelspalt treten Minima auf, wenn die Bedingung $\lambda/a = x/y$ erfüllt ist.

Weil das 2. Minimum für x = 3,0 cm auftritt, muss a = d/3 = 0,079 mm sein.

Die Abstände der Maxima verdoppeln sich, die Abstände der Einzelspaltmimina sind mal 4/3 zu nehmen.
Dadurch wird jedes zweite DS-Maximum durch ein ES-Minimum unterdrückt.

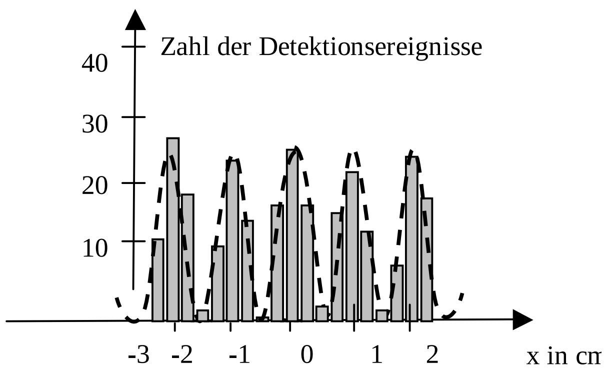
b)
Die Energie eines Photons ist $E = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}0 \cdot 10^{8}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{589\ \text{nm}} = 3{,}3 \cdot 10^{-19}\,\text{J} = 2{,}1\text{eV}$
Die gestrichelte Kurve gibt die ortsabhängige Wahrscheinlichkeit P(x) an, ein Photon an einem Ort x zu detektieren.

Der Auftreffort eines einzelnen Photons ist durch den Zufall bestimmt. Es kann praktisch überall auftreffen. Allerdings ist P(x) proportional zur Intensität I(x). So ist die Wahrscheinlichkeit am Ort x = 1cm aufzutreffen doppelt so groß, wie jene, am Ort x = 0,75cm aufzutreffen. Allerdings nähert sich die Häufigkeitsverteilung erst bei sehr vielen Wiederholungen des Experiments an P(x) an. So ist es bei wenigen Wiederholungen nicht sehr wahrscheinlich, aber durchaus möglich, dass für x = 0,75cm 3 Photonen registriert werden, im Maximum aber nur 2.

Wenn man also 340 Photonen durch die Anordnung schickt, so werden sich ihre Detektionsorte eher gemäß P(x) verteilen, aber immer noch statistische Schwankungen aufweisen, also z.B. $H(x_1) = 32$ und H(0,75cm) = 13.

Bei 34 Millionen Photonen wird $H(x_1)$/H(0,75cm) sehr nahe dem Wert $P(x_1)$/P(0,75cm) sein und dieses Verhältnis ist 0,5. (Begründung mit dem Zeigermodell: Gangunterschied für x= 0,75 cm ist ¾ π. Also stehen die zwei zugehörigen Zeiger senkrecht aufeinander. Folglich ist die Summenlänge $\sqrt{2}$, also das Quadrat der Summenlänge ist 2. Dagegen sind die Einzelzeiger für x_1 kollinear, also die Zeigersumme ist 2, das Quadrat 4. Das Verhältnis der Quadrate, das ja das Verhältnis der Intensitäten wiedergibt, ist also 1 : 2.)

Eine typische H(x)-Kurve bei ca. 340 Photonen.



c)

Die Gitterkonstante beträgt 100 nm, y = 1,25 m, $x_1 = 30\ \mu m$

$\lambda/d = x/y$

$$\lambda = \frac{d \cdot x}{y} = \frac{100\,nm \cdot 30\,\mu m}{1{,}25\,m} = 2{,}4 \cdot 10^{-12}\ m$$

DeBroglie-Wellenlänge $\lambda = h/p$ also $m = \frac{h}{\lambda \cdot v} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}\,Js}{2{,}4 \cdot 10^{-12}\,m \cdot 200\,\frac{m}{s}} = 1{,}4 \cdot 10^{-24}\,kg$

Da die Breite eines Spalts halb so groß ist wie die Gitterkonstante, ist der Abstand des ersten Einzelspaltminimums doppelt so groß wie der Abstand des ersten Gittermaximums. Mit anderen Worten: Das erste Einzelspaltminimum unterdrückt das zweite Gittermaximum.

Theoretisch müsste das erste Gitterminimum ein Minimum mit Wert 0 sein, d.h. etwa bei x = 35 μm dürften so gut wie keine Fullerene nachgewiesen werden. Tatsächlich wird etwas mehr als die Hälfte des Werts vom 1. Maximum erreicht. Erklären kann man dies mit der Geschwindigkeitsverteilung der Moleküle. Die Geschwindigkeit streut breit um den Wert 200 m/s. Ebenso breit streut also auch die deBroglie-Wellenlänge um den Wert 2,4 pm; damit streut natürlich auch der Ort x_1 der zugehörigen 1. Maxima, wie auch der Minima. Bei doppelter Geschwindigkeit wäre z.B. die deBroglie-Wellenlänge halb so groß, und damit der Ort des 1. Maximums genau bei 15μm, also dort, wo man das Minimum erwarten würde.

Gegen die Wellenvorstellung spricht, dass die Fullerenmoleküle immer als Ganzes detektiert werden. Im Wellenmodell müsste auch ein einzelnes Molekül gemäß der I(x)-Kurve verschmiert auf der Detektionsfläche aufkommen.

Kommentar:

Betont werden in dieser Aufgabe

- die moderne Physik,
- die Interpretation von Schaubildern
- das Verstehen eines Fachtextes

Voraussetzung für diese Aufgabe ist Abiturwissen in den Bereichen Einzelspalt-, Doppelspaltbeugung und Quantenphysik. Teilaufgabe a) wiederholt noch einmal die optischen Grundlagen, die zum Verständnis von Teilaufgabe c) nötig sind. Teil b) ist für einen heutigen Abiturienten wahrscheinlich der schwerste Teil, da er sich bereits etwas am neuen Lehrplan orientiert. Allerdings müsste er mit dem Wissen aus der Mathematik Klasse 10/11 lösbar sein, da man mit Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten argumentieren und dementsprechend Vorhersagen machen muss.
Teil c) schließlich basiert auf einem Text aus der aktuellen Forschung und ist mit quantenphysikalischen Grundkenntnissen und der Vorbereitung durch die Aufgabe a) sicherlich machbar.

Nachwort: Danksagung an Niels Bohr

Wer daran zweifelt, dass Niels Bohr uns bei der Erarbeitung der offen(er)en Aufgaben geistigen Beistand geleistet hat, dem sei diese kleine Anekdote gewidmet:

Die folgende Frage wurde in einer Physikprüfung, an der Universität von Kopenhagen gestellt: “Beschreiben Sie, wie man die Höhe eines Wolkenkratzers mit einem Barometer feststellt.“

Ein Kursteilnehmer antwortete: „Sie binden ein langes Stück Schnur an den Ansatz des Barometers, senken dann das Barometer vom Dach des Wolkenkratzers zum Boden. Die Länge der Schnur plus die Länge des Barometers entspricht der Höhe des Gebäudes.“

Diese in hohem Grade originelle Antwort entrüstete den Prüfer dermaßen, dass der Kursteilnehmer sofort entlassen wurde. Er appellierte an seine Grundrechte, mit der Begründung dass seine Antwort unbestreitbar korrekt war, und die Universität ernannte einen unabhängigen Schiedsrichter, um den Fall zu entscheiden. Der Schiedsrichter urteilte, dass die Antwort in der Tat korrekt war, aber kein wahrnehmbares Wissen von Physik zeige. Um das Problem zu lösen, wurde entschieden, den Kursteilnehmer nochmals herein zu bitten und ihm sechs Minuten zuzugestehen, in denen er eine mündliche Antwort geben konnte, die mindestens eine minimale Vertrautheit mit den Grundprinzipien von Physik zeigte.
Für fünf Minuten saß der Kursteilnehmer still, den Kopf nach vorne, in Gedanken versunken. Der Schiedsrichter erinnerte ihn, dass die Zeit lief, worauf der Kursteilnehmer antwortete, dass er einige extrem relevante Antworten hätte, aber sich nicht entscheiden könnte, welche er verwenden sollte. Als ihm geraten wurde, sich zu beeilen, antwortete er wie folgt:

“Erstens könnten Sie das Barometer bis zum Dach des Wolkenkratzers nehmen, es über den Rand fallen lassen und die Zeit messen die es braucht, um den Boden zu erreichen. Die Höhe des Gebäudes kann mit der Formel $h = ½ g t^2$ berechnet werden. Das Barometer wäre allerdings dahin!
Oder, falls die Sonne scheint, könnten Sie die Höhe des Barometers messen, es hochstellen und die Länge seines Schattens messen. Dann messen Sie die Länge des Schattens des Wolkenkratzers, anschließend ist es eine einfache Sache, anhand der proportionalen Arithmetik die Höhe des Wolkenkratzers zu berechnen.
Wenn Sie aber in einem hohem Grade wissenschaftlich sein wollten, könnten Sie ein kurzes Stück Schnur an das Barometer binden und es schwingen lassen wie ein Pendel, zuerst auf dem Boden und dann auf
dem Dach des Wolkenkratzers. Die Höhe entspricht der Abweichung der gravitationalen Wiederherstellungskraft. [Zugang über $T = 2 \pi (l/g)^{1/2}$]
Oder, wenn der Wolkenkratzer eine äußere Nottreppe besitzt, würde es am einfachsten gehen, da hinauf zu steigen, die Höhe des Wolkenkratzers in Barometerlängen abzuhaken und oben zusammenzuzählen.

Wenn Sie aber bloß eine langweilige und orthodoxe Lösung wünschen, dann können Sie selbstverständlich das Barometer benutzen, um den Luftdruck auf dem Dach des Wolkenkratzers und auf dem Grund zu messen und den Unterschied bezüglich der Millibare umzuwandeln, um die Höhe des Gebäudes zu berechnen.

Aber da wir ständig aufgefordert werden, die Unabhängigkeit des Verstandes zu üben und wissenschaftliche Methoden anzuwenden, würde es ohne Zweifel viel einfacher sein, an der Tür des Hausmeisters zu klopfen und ihm zu sagen: „Wenn Sie ein nettes neues Barometer möchten, gebe ich Ihnen dieses hier, vorausgesetzt Sie sagen mir die Höhe dieses Wolkenkratzers."

Der Kursteilnehmer war angeblich[5] Niels Bohr, der erste Däne, der den Nobelpreis für Physik bekam.