Arbeitskreis Bayerischer Physikdidaktiker

Beiitrag aus der Reihe:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

Anmerkung:

K. Luchner

Physikalische Aufgaben - nicht nur Rechnereien !

Um es gleich vorweg klarzustellen: Rechenbeispiele gehören unbedingt zu einem anspruchsvollen Physikunterricht. Sie demonstrieren den Sachgehalt eines Unterrichtsthemas, die Anwendbarkeit des Gelernten, die Vorhersagbarkeit des Naturgeschehens im Quantitativen, und sie dienen als Übungsstoff zum Erlangen leicht abprüfbarer, justiziabler Leistungen. Natürlich liegt es in der Hand des Lehrers, den Rechenbeispielen einen größeren oder kleineren Stellenwert gegenüber anderen Unterrichtsphasen einzuräumen; gerade aber bei Hausaufgaben stehen die Rechenaufgaben üblicherweise weit im Vordergrund [1].

Besonders für den Referendar und den jungen Lehrer scheint es oft ein Qualitätsmerkmal anspruchsvollen Physikunterrichts zu sein, daß selbstverständlich viele Rechenaufgaben vorzukommen haben; meist wird eine Aufgabe umso höher geschätzt, je mehr verklausuliert sie ist und je mehr kreuz und quer eingesetzt werden muß. Wie könnte es auch anders sein nach den Erfahrungen im Studium? Der Lehrer-Anfänger sollte sich darüber klar werden, daß der Bildungsauftrag der Schule und die Fachausbildung der Universität nicht gewissermaßen zueinander proportional sind; die an der Universität gewonnenen Eindrücke müssen also nicht alle unmittelbar auf den Schulunterricht übersetzt werden. Vielleicht sieht er, daß es einen großen Unterschied bedeutet, aus welcher Perspektive man einen Lehr- und Übungsstoff betrachtet: Aus der des erfahrenen Kenners oder aus der des Anfängers, des Schülers, der noch nicht aus einem Erfahrungsfundus schöpfen kann und der auch noch nicht sieht, wohin der Weg führt. Kurz gesagt: Für den Schüler erscheinen die Übungsaufgaben primär als automatisch ablaufende Rechnereien, an die er sich gefälligst zu gewöhnen hat; er kann die Meinung entwickeln, man dürfe gewissermaßen desinteressiert mit den Achseln zucken, sobald man nur die richtige Formel hat: Physik - eine Sammlung von Formeln. Wird diese Vorstellung dominant, so ist Physik leider zum Lernfach degeneriert; der Schüler hat ein verzerrtes Bild von dem, was der Physikunterricht eigentlich bieten will: Zusätzlich zum zweifellos erforderlichen Lern- und Übungsstoff ist es das, was man als die physiktypische Denk- und Arbeitsweise bezeichnet. Nicht allein im Ergebnis, sondern auch im dorthin führenden Weg liegt die Unterrichtsabsicht.

Auch die Übungsaufgaben sollten, neben den Rechnereien, physiktypische Komponenten enthalten. Es ist nicht sehr schwer, Aufgaben zu erfinden, welche solche Komponenten beinhalten, wenn man darauf sensibilisiert ist; das Folgende *) soll dazu verhelfen. Allerdings darf man nicht erwarten, hier eine Aufgabensammlung vorzufinden. Beabsichtigt ist nur eine Anregung zur Diskussion und zur Entfaltung der persönlichen Kreativität des angehenden Lehrers.

1. Die äußere Form

Eine physikalische Aufgabe kann

a) kurz, nüchtern, neutral formuliert sein

b) in eine interessante Situationsbeschreibung eingebunden sein.

Die erstgenannte Möglichkeit ist der angehende Lehrer vom Studium her gewöhnt, und sie ist die leichter realisierbare; für den Schüler ist sie aber wohl meist nur eine Aufforderung zum formalen und vielleicht auch unreflektierten Anwenden eines vorher im Unterricht erzielten Ergebnisses. Die zweitgenannte Möglichkeit ist weniger leicht zu realisieren, kann aber für den Schüler verbunden sein mit Anregung und bewußtem Betrachten des physikalischen Gehaltes oder des Ergebnisses. Ein Beispiel für die beiden Möglichkeiten, jedesmal mit dem genau gleichen physikalischen Gehalt, soll dies verdeutlichen:

a) Welche Zeitspanne ist erforderlich, um bei der konstanten Beschleunigung $a = 2{,}3\ m/s^2$ ausgehend von der Anfangsgeschwindigkeit Null die Geschwindigkeit 100 km/h zu erreichen? Wie groß ist die dabei durchfahrene Strecke?

b) Du sitzt im Flugzeug und liest kurz vor dem Start im Bordbuch folgende Daten: "Bei vollem Schub der Triebwerke wird in der Startphase eine (praktisch) konstante Beschleunigung $a = 1{,}9\ m/s^2$ erreicht und das Abheben vom Boden erfolgt bei Erreichen der Geschwindigkeit $v = 300$ km/h ". Nun beginnt der Start; Du blickst auf die Uhr und vertraust darauf, daß die Triebwerke den vollen Schub entwickeln.
Nach wieviel Sekunden muß das Abheben erfolgen? Wie lang muß die Startbahn mindestens sein?

Der Vergleich zeigt, daß in b) der Schüler sich persönlich angesprochen, ja sogar sich emotionell beteiligt fühlen kann (Lernprozesse sind mit Emotionen verbunden!), während man ihm in a) praktisch anonym etwas hinwirft und so das vielbeklagte "automatisch in die Formel einsetzen" direkt provoziert. Weiterhin sieht man, daß die Realsituation in b) (für bessere Schüler) die Anregung zur natürlichen Meinungsäußerung und Fortsetzung beinhalten kann ("... aber die Startbahn ist doch wesentlich länger ..., z.B. sicherheitshalber als Bremsstrecke, falls der volle

---

*) Einige Beispiele sind entnommen aus einer Sammlung physikalischer Betrachtungen
(K. Luchner, Ehrenwirth-Verlag, 1994)

Schub aufgrund eines technischen Fehlers nicht erreicht werden sollte ..., der Pilot muß ein bestimmtes Kriterium haben, um zwischen Startfortsetzung und Startabbruch entscheiden zu können ..., was könnte man dazu noch rechnen?"), während in a) eine vergleichbare Anregung nicht zu finden ist. Eine solche Anregung ist natürlich primär aus inhaltlicher Sicht wertvoll, aber auch die dadurch möglich werdende sprachliche Kommunikation ist beachtlich und auch erwünscht: Man sollte - inhaltlich orientiert - auch "darüber reden können".

Aber nicht nur die mit einer Aufgabe vielleicht erzielbare allgemeine Anregung des Schülers sollte man bedenken, sondern auch die Botschaft an den Schüler, die im Ergebnis steckt: Aufgaben sollen nicht immer nur "Übung" sein und ein "ödes" Ergebnis liefern! Man kann bei einigem Suchen genausogut, zumindest manchmal, Aufgaben finden, deren Ergebnis "unglaublich", "überraschend", "verwunderlich" ist! Der Schüler wird sich damit leichter daran gewöhnen, sein Rechenergebnis bewußt und kritisch zu betrachten:

- Wie groß ist die Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Jahresbahn um die Sonne (Bahnradius: 150.000.000 km)? Ergebnis: 107.000 km/h .

- Wieviel Liter Wasser kann aus einer wasserdampfgesättigten, 300 m dicken Luftschicht auf 1 m^2 Bodenfläche maximal abregnen? Vereinfachte Daten: Die gesamte Luftschicht habe vor Beginn des Regens die Temperatur 25°C; der Sättigungsdampfdruck des Wassers beträgt 32 hPa. Ergebnis: 7,0 Liter/m^2 .

- Eine nicht fixierte Eisenbahnschiene zieht sich von ihrer ursprünglichen Länge 20,000 m zusammen auf 19,985 m, wenn sie um 50 °C abgekühlt wird. Weil aber die Schiene an ihren Enden fixiert ist (verschweißt mit den angrenzenden Schienen), kann sie sich bei Abkühlung nicht zusammenziehen; sie ist dann also um 15 mm gedehnt. Wie groß ist die Kraft, welche diese Dehnung hervorruft? (Wenn die Begriffe Elastizitätsmodul und Zugspannung nicht zur Verfügung stehen, wäre ein Hinweis zur Lösung: "Die Schiene verhält sich wie eine Feder der Federhärte $D = 6 \cdot 10^4$ N/mm ."). Ergebnis: $9 \cdot 10^5$ N.

In diesem Kapitel war die Rede von "Rechenaufgaben", "Einsetzen in gegebene Formeln", also vom üblichen Typ der Hausaufgaben, wobei aber die äußere Gestaltung der Aufgabe, die Art der Aufgabenstellung und des Ergebnisses beleuchtet wurde. Man sollte nicht meinen, daß allzu nüchterne (und vielleicht auch verquere, manchmal weltfremd erscheinende) Fragestellungen unbedingt ein Markenzeichen für anspruchsvollen Unterricht sind!

2. Der physikalische Durchblick

Jeder, der ein Physikstudium absolviert hat, weiß, daß es folgende Situationen gibt: Selbst wenn man einer Herleitung oder einem Rechenbeispiel gut folgen kann, so kann einen trotzdem bisweilen das Gefühl beschleichen, den physikalischen Gehalt vielleicht nicht ganz durchschaut zu haben. Es gibt aber auch die gewissermaßen komplementäre Situation: Man hat eine Idee, versteht einen physikalischen Sinngehalt, aber es fehlt ein Schritt zur formalen mathematischen Beschreibung. Es ist die physikalische Intuition, die hier angesprochen ist. Um alle Einwände gleich vorwegzunehmen: Natürlich muß, im Sinn einer strengen Wissenschaftlichkeit, das Ziel immer die nachprüfbare Aussage sein; aber "sich etwas vorstellen zu können", die Intuition, ist ein wichtiger Schritt, eine typische Komponente auf dem Weg zum Ziel (wie man vielleicht aus eigener Erfahrung, sicher aber aus der Geschichte berühmter naturwissenschaftlicher Entdeckungen weiß). Auch der Schüler soll die Möglichkeit haben, seine Intuition einzubringen oder zu kultivieren; allerdings bei prädominantem Druck durch Rechenaufgaben wird sich seine Fähigkeit zur Intuition kaum entwickeln, sondern eher ersticken oder verkümmern.

Um die Intuition zu pflegen kann man Aufgaben stellen, die sich unmittelbar beantworten lassen, wenn nur der zu betrachtende Vorgang richtig verstanden, durchschaut worden ist: Z.B. multiple choice - Aufgaben mit verschiedenen Antworten, wobei die richtige zu identifizieren ist. Natürlich ist es erlaubt, die richtige Antwort allein durch Rechnung zu finden (was aber viel länger dauert); auch derjenige, der die richtige Antwort intuitiv sieht, mag sich provoziert fühlen, seine Intuition rechnerisch nachzuprüfen.

Beispiele:

a) Eine Schallquelle, die einen Ton der Frequenz 1,00 kHz emittiert, bewegt sich mit der Geschwindigkeit 0,7 c (c = Schallgeschwindigkeit) auf einen ruhenden Empfänger zu. Dieser hört einen Ton der Frequenz

A) 0,30 kHz B) 1,30 kHz C) 1,70 kHz D) 0,59 kHz E) 3,33 kHz

Dem "Kenner" (der das Bild der ineinanderlaufenden Kreiswellen vor sich sieht) ist sofort klar, welche Antwort die richtige sein muß: Schon bei 0,5 c wäre die Empfängerfrequenz genau 2,0 kHz; bei 0,7 c muß sie noch höher sein! Natürlich findet auch der nüchterne Formelanwender die richtige Antwort, braucht aber länger und läuft Gefahr, sich in den verschiedenen Fällen der Relativbewegung zu verheddern.

b) In einem Haushalt sind vier elektrische Geräte gleichzeitig eingeschaltet: Zwei Glühbirnen (je 450 Ω), eine Kochplatte (50 Ω) und ein Kleingerät (2.000 Ω). Welchen Gesamtwiderstand bilden diese vier parallel geschalteten Widerstände?

A) 2.950 Ω B) 2.500 Ω C) 40 Ω D) 50 Ω

c) Betrachte die folgende Skizze (Fig. 1):

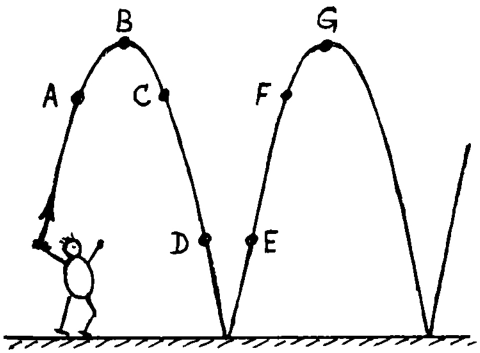


Fig. 1 :
Idealisierte Wurfbahn eines springenden Balles

Sie zeigt die Bahn eines schräg nach oben geworfenen Balles, der nach dem Auftreffen auf den Boden wieder hochspringt, usw. Die Bahn besteht aus aufeinanderfolgenden gleichen Parabelbögen (d.h. der Luftwiderstand spielt keine Rolle). Auf der Bahn sind verschiedene Stellen gekennzeichnet (A bis G): Zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet sich der Ball an der Stelle A, zu einem späteren Zeitpunkt an der Stelle B, usw. Welche Kraft wirkt auf den Ball, wenn er sich in A, in B, in C, usw. befindet?

Verschiedene Möglichkeiten zur Bearbeitung:

Entweder: Geben Sie Ihre Antwort mit Worten!

Oder: Geben Sie Ihre Antwort, indem Sie Kraftpfeile (Größe und Richtung!) in die Skizze eintragen!

Oder: Multiple Choice:

- ❑ In keinem der Punkte wirkt eine Kraft, weil der Ball die Hand schon verlassen hat.
- ❑ Die in jedem Punkt wirkende Kraft zeigt in Richtung der Bahn (also: schräg nach oben, dann horizontal, dann schräg nach unten, usw.).
- ❑ Die Kraft in jedem Punkt wirkt in horizontaler Richtung (nach rechts).
- ❑ Die Kraft in jedem Punkt wirkt in vertikaler Richtung nach unten.
- ❑ Die Kraft wirkt in vertikaler Richtung abwechselnd nach oben (A, E, F) und nach unten (C, D).
- ❑ Die von der Hand schräg nach oben ausgeübte Kraft wirkt, solange der Ball sich bewegt, also in jedem Punkt schräg nach oben.
- ❑ Die Kraft in jedem Punkt wirkt senkrecht zur Bahn (in Bewegungsrichtung gesehen nach rechts).

Wenn Sie vielleicht auch meinen, daß hier nur richtige Antworten kommen können: Sie werden sich wundern. Wichtiger aber ist folgende Einsicht: Aufgaben dienen nicht nur dazu, etwas einzuüben, sondern sie können dem Lehrer auch zeigen, welche Fehlvorstellungen beim Schüler vorliegen; suchen Sie auch die in a) und b) sich möglicherweise aufweisenden Fehlvorstellungen! Gerade das Beispiel c) (es ist ein Standardfall der didaktischen Forschung und in der Literatur oft beschrieben) wird Ihnen zeigen, daß die aristotelische Vorstellung vom Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeit immer wieder vorkommt. Eine Strategie zur Behandlung von Fehlvorstellungen scheint zu sein: Zunächst die Fehlvorstellung aufzudecken (z.B. eine solche Aufgabe oder ein entsprechendes Unterrichtsgespräch vor die eigentliche Stoffbearbeitung zu stellen), diese als solche bewußt zu machen und dann zu überführen in die richtige Aussage. Ein Unterricht ohne Rücksichtnahme auf das gegebene Vorwissen des Schülers ("Präkonzepte", die "Mißkonzepte" sein können) ist weniger erfolgreich als das bewußte Aufgreifen eines Präkonzepts und die entsprechende Weiterführung.

Eine andere Möglichkeit zur Pflege der Intuition besteht darin, an anspruchsvollere Erklärungsmuster anzuknüpfen und den Schüler zu einer Fortsetzung anzuregen. So ist z.B. ein bekannter Inhalt des Physikunterrichts das Hebelgesetz. Es wird üblicherweise experimentell erarbeitet und dann Anwendungen davon besprochen. Leider wird dabei kaum die Frage gestellt, "warum ist das Hebelgesetz so und nicht anders?"

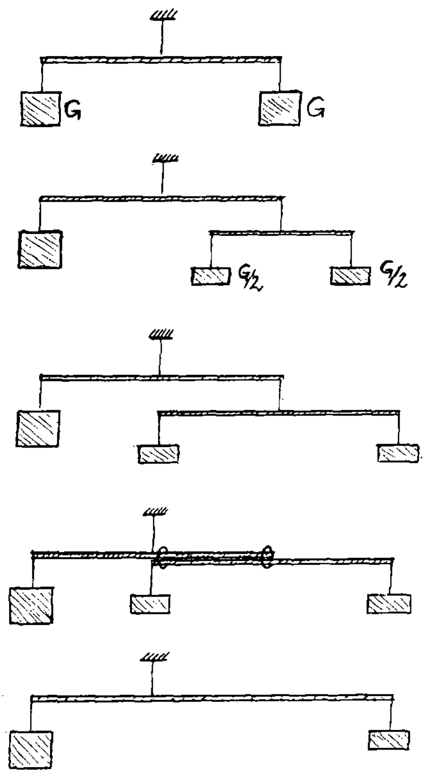


Fig. 2 :
Archimedes' Gedankengang zur Erklärung des Hebelgesetzes. Die im oberen Teilbild dargestellte Situation ist der Ausgangspunkt, gewissermaßen das Axiom für "Gleichgewicht". Die darauffolgenden darunter dargestellten Situationen sind nur hinsichtlich der Anordung der Gewichte verändert, wobei aber offensichtlich immer das vorherige Gleichgewicht erhalten bleibt. Das genau unterhalb der Aufhängung positionierte Gewicht kann für die Hebelbetrachtung weggelassen werden, denn es hängt am Hebelarm Null und wird von der Aufhängung unmittelbar getragen.
Ergebnis (unterstes Bild): Gleichgewicht beim Verhältnis der Hebelarme 1:2; dabei ist das Verhältnis der Gewichte 2:1.

Sehr oft im Physikunterricht kann die Frage nach dem Warum nicht beantwortet werden und darum ist es besonders schade, wenn man die wenigen Möglichkeiten dazu nicht ergreift. Das Hebelgesetz bietet eine solche Möglichkeit; man kann sehr wohl verständlich machen, warum es gerade diese Form hat: Schon Herr Archimedes hat hier seine Intuition spielen lassen (ein noch berühmteres Beispiel seiner Intuition bezieht sich auf die Königskrone). Anhand Fig. 2 ist dargestellt, wie sich Archimedes das Hebelgesetz plausibel gemacht hat. Und damit bietet sich eine ideale Abrundung zur Thematik Hebelgesetz: Zuerst die experimentelle Erarbeitung, dann Anwendungen aufzeigen (und auch von den Schülern beibringen lassen), dann, gewissermaßen als Erklärung, den Gedankengang des Archimedes erläutern und schließlich (Hausaufgabe!) diesen Gedankengang wiederholen lassen, wobei dieser aber so zu variieren ist, daß nicht (wie in Fig. 2) das Verhältnis der Hebelarme von 1:2 herauskommt, sondern 1:3 oder 1:5. Man erreicht dies leicht, wenn man diesen Gedankengang verstanden hat: Physikalische Überlegungen und Pflege der Intuition ohne Rechnerei! Eine komplette Antwort könnte aussehen wie die in Fig. 2 dargestellte Sequenz, eben nur mit einem anderen rechts anzubringenden Hebel; auch eine verbalisierende Antwort wäre förderlich.

3. Kreativ nachdenken, auch eine Aufgabe

Auch hier zeigt sich, daß Physik nicht primär das Anwenden von Formeln ist. Allerdings ist kreatives Nachdenken oft zunächst mit vorläufigen Betrachtungen, qualitativen Abschätzungen, Erkennen von Tendenzen u.a. verknüpft, alles Aspekte, die durch konkret gestellte Rechenaufgaben meist schon übersprungen werden. Es ist nicht trivial, Aufgaben zu stellen, die einerseits genügend konkret und nicht allzu schwer, andererseits aber genügend offen sind für kreatives Nachdenken. Man wird dabei zweckmäßigerweise natürlich auch hier an einen vorher im Unterricht bearbeiteten Sachverhalt anknüpfen.

<u>Beispiel 1</u>: Im Unterricht ist das Wechselspiel zwischen potentieller und kinetischer Energie bearbeitet worden, z.B. auch am Fadenpendel.
Aufgabe: "Ein Fadenpendel der Länge l ist ausgelenkt (Höhe h über dem tiefsten Punkt) und wird losgelassen. Schätzen Sie ab, nach welcher Zeitspanne es zum Ausgangspunkt zurückkehrt (machen Sie dabei die Annahme, daß die mittlere Geschwindigkeit des Pendels etwa 2/3 der Maximalgeschwindigkeit ist)." In dieser Form ist die Aufgabe sehr schwer. Ein Ausweg bei zu schweren Aufgaben ist meistens, die Aufgabe in kleinere Teilschritte zu zerlegen, wobei auch noch gezielte Hilfsaussagen dazugemacht werden können.
Die Aufgabe könnte dann lauten:

> Ein Fadenpendel der Länge l ist ausgelenkt (Höhe h über dem tiefsten Punkt) und wird losgelassen.
>
> a) Wie groß ist die Maximalgeschwindigkeit v* (im tiefsten Punkt)?
>
> b) Welche Wegstrecke L durchläuft der Pendelkörper während einer Schwingung? Berechnen Sie nicht die Länge des Kreisbogens, sondern - näherungsweise - (unter Anwendung des

Satzes von Pythagoras) die Länge der Sehne zwischen beiden Umkehrpunkten! (Näherung: $h^2 << 2\,l\,h$)

c) Nehmen Sie an, daß die mittlere Geschwindigkeit des Pendelkörpers $2\,v^*/3$ ist (der genaue Wert ist $2\,v^*/\pi$) und berechnen Sie damit den Zeitbedarf für eine Schwingung T.

d) Wie hängt T ab von der Anfangshöhe h? Erklären Sie dieses Ergebnis!

Lösung: a) $v^* = \sqrt{2\,g\,h}$

b) $l^2 = x^2 + (l-h)^2; \qquad x \approx \sqrt{2\,l\,h}$

$L \approx 4\,x; \qquad L \approx 4\sqrt{2\,l\,h}$

c) $$T \approx \frac{L}{\frac{2}{3}v^*} \approx \frac{4\sqrt{2\,l\,h}}{\frac{2}{3}\sqrt{2\,g\,h}} = 6\sqrt{\frac{l}{g}}$$

d) h geht in dieser Näherung nicht ins Ergebnis T ein, denn es bestimmt v^* und L in gleicher Weise, fällt also im Quotienten für T weg.

Dieses Beispiel ist als Schüleraufgabe wohl immer noch zu schwer. Wenn Ihnen aber der Inhalt attraktiv erscheint: Sie können diese Aufgabe ja auch im Unterricht behandeln und als Schüleraufgabe dazu die analoge Betrachtung am Federpendel durchführen lassen (was leichter ist, weil die Näherung Kreisbogen $\rightarrow$ Sehne nicht vorkommt).

Beispiel 2: Kreativ nachdenken kann man auch, ohne zu rechnen: Betrachten Sie die in Fig. 3 dargestellte Situation: Körper B kann die Strecke L im freien Fall zurücklegen, Körper A ist an einem Faden der Länge L befestigt und als Fadenpendel um 90° ausgelenkt. Beide werden gleichzeitig losgelassen: Kommen beide gleichzeitig unten an, oder kommt einer von beiden früher an (ggfs. welcher)?

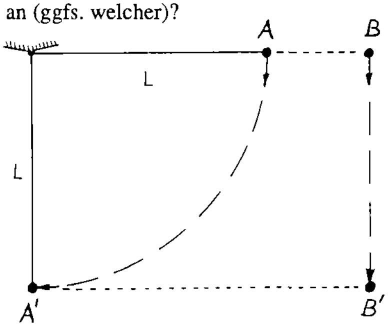


Fig. 3 :
Ein Gedankenversuch: Körper A (Pendel) und Körper B werden gleichzeitig losgelassen. Wie vergleicht sich deren Zeitbedarf zum Erreichen des tiefsten Punktes (A' bzw. B') qualitativ?

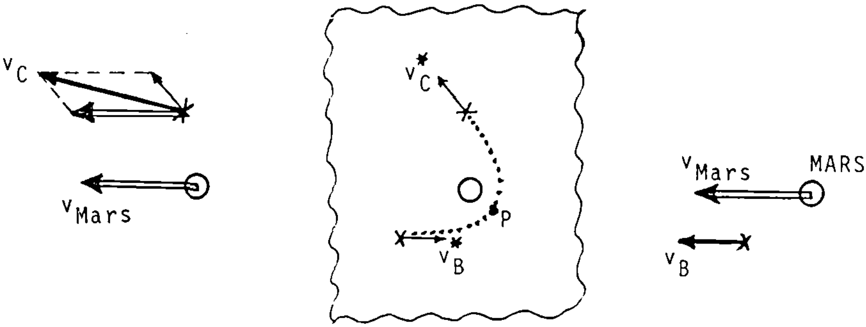
Die Reaktion auf diese Aufgabe (besonders von fortgeschrittenen Studenten) ist oft: "Wenn man das ausrechnen will, braucht man die Formel für die Schwingungsdauer des Pendels bei großer Auslenkung ...". Aber man soll eben nicht rechnen, sondern einfach physikalisch nachdenken! Man sieht rasch, daß beide Körper in gleicher Höhe die gleiche Bahngeschwindigkeit haben (die Fadenkraft steht senkrecht zur Bahn, erbringt also keine Arbeit), daß aber die Wegelemente beim Pendel größer sind; also wird das Pendel zurückbleiben (es gibt noch andere Erklärungen, z.B. den Vergleich der Kraftkomponenten und der Beschleunigungskomponenten).

Beispiel 3: Auch dieses soll zeigen, daß physikalisch nachzudenken eine erstrebenswerte und erkennbare Leistung ist, auch wenn dabei nur qualitativ, also ohne Rechnereien, argumentiert wird. Vielleicht kommen Sie einmal in die Zwangslage, einem neugierigen Schüler das sogenannte "swingby", also die Beeinflussung der Bahn einer Raumsonde durch Annäherung an einen Planeten, genauer erklären zu müssen; vielleicht sehen Sie darin auch ein ungewohntes, aber attraktives Beispiel für das erste Keplersche Gesetz (Kegelschnitte). Eine einfache, aber korrekte qualitative Beschreibung des "swingby" finden Sie in Fig. 4 (nächste Seite). Stellen Sie sich vor, eine unterrichtliche Behandlung nach diesem Muster vorgenommen zu haben. Die mögliche Aufgabe für den Schüler: Überlegen (nicht rechnen, das Ergebnis der Überlegung verbal formulieren!), wie sich die Bahn der Sonde ändert, wenn der asymptotische Abstand (Stoßparameter!) vor der Begegnung größer oder kleiner ist, und wie sich dabei die Relativgeschwindigkeit auswirkt. Wer vorher die Erklärung verstanden hat, wird die Antwort (vielleicht mühsam, aber auch das Verbalisieren will geübt sein) geben können.

4. Daten auswerten

Wenn aus einem im Unterrichtsverlauf vorgenommenen Experiment Meßdaten hervorgehen, die natürlich ausgewertet werden müssen, so braucht dies nicht unbedingt vollständig im Unterricht durchgeführt zu werden; die Datenauswertung kann auch - nach einem im Unterricht erarbeiteten Muster - im Rahmen einer Hausaufgabe zu vervollständigen sein.

Stehen z.B. die optische Abbildung und ihre Gesetzmäßigkeiten im Blickfeld einer Unterrichtsstunde, so wird man mit einer Linse gegebener Brennweite verschiedene Möglichkeiten zur Abbildung eines Gegenstandes (Größe G) aufsuchen und dabei eine Meßtabelle von zusammengehörigen Größen g (Gegenstandsentfernung), b (Bildentfernung), B (Bildgröße) aufstellen. Man kann in dieser Tabelle eine Spalte für den Wert B/G und eine Spalte für den Wert b/g anlegen und als Hausaufgabe stellen, diese Spalten entsprechend den Meßwerten auszufüllen und eine Aussage daraus zu formulieren. Man kann auch je eine Spalte mit (g - f), mit (b - f) und mit (g - f)(b - f) anlegen.



c) Nach der Begegnung

b) Vom MARS aus gesehen

a) Vor der Begegnung

Fig. 4 :
Erklärung des "Swingby-Verfahrens" (von rechts nach links zu betrachten). Eine Raumsonde (im Bild durch Kreuz dargestellt) kommt - z.B. auf einer Hohmann-Bahn - nahe an einen Planeten (hier Mars) heran und soll durch diese Begegnung einen Energiegewinn und eine Richtungsänderung erfahren.

a) Geschwindigkeitsangaben bezüglich eines in der Sonne ruhenden Koordinatensystems: Vor der Begegnung ist die Bahngeschwindigkeit v_B der Sonde geringer als die des Planeten (Folge der Hohmann-Bahn); die Bahn der Sonde ist aber ein wenig nach innen (zur Sonne hin) versetzt.

b) Wechsel des Bezugssystems: Geschwindigkeit der Sonde, vom Mars aus gesehen, ist $v_B{}^* = v_B - v_{Mars}$! Die Sonde nähert sich dem Mars, wird mehr und mehr angezogen und abgelenkt (Kegelschnitt, hier Hyperbel, da die Sonde genügend Anfangsenergie hat). In großer Entfernung vom Mars ist die Geschwindigkeit $v_C{}^*$, (wenn man annimmt, daß Mars in b während der ganzen Begegnung ruht, was wegen der großen Masse in guter Näherung erfüllt ist, dann ist $/v_C{}^*/ = /v_B{}^*/$). Die Sonde verhält sich wie eine Kugel, die von oben in eine Mulde hineinrollt, beim Abwärtsrollen schneller wird, beim Aufwärtsrollen wieder langsamer wird und so aus der Mulde mit der kinetischen Energie vom Anfang wieder herauskommt, aber mit einer anderen Bewegungsrichtung.

c) Wieder im Koordinatensystem von a). Die Geschwindigkeit der Sonde ist $v_C = v_C{}^* + v_{Mars}$. Vergleichen Sie nun v_B (vorher) und v_C (nachher). Wie ändert sich das Ergebnis der Bildsequenz, wenn der Stoßparameter (Abstand der parallel versetzten Bahnen) in a) verändert wird?

Die ebenfalls im Rahmen einer Hausaufgabe zu verifizierende Beziehung $(g - f)(b - f) = f^2$ kann, z.B. evtl. in der nächsten Stunde durch den Lehrer, mit Hilfe der bekannten Konstruktionsstrahlen und den dabei vorkommenden ähnlichen Dreiecken erklärt werden, mindestens daraus aber die Abbildungsformel $1/g + 1/b = 1/f$ ersehen werden.

Ein anderes Beispiel für "Datenauswertung im Rahmen einer Hausaufgabe" ist die Auswertung von stroboskopischen Aufnahmen (z.B. wird im Unterricht eine stroboskopische Aufnahme einer halben Pendelschwingung hergestellt, diese vervielfältigt und begonnen, daraus ein Weg-Zeit-Diagramm anzufertigen, das im Rahmen einer Hausaufgabe fertigzustellen ist). Ein anderes Beispiel hierzu ist eine stroboskopische Aufnahme der Bewegung zweier Massestücke auf der Fahrbahn, die inelastisch zusammenstoßen (siehe Fig. 5), woraus das dazugehörige Weg-Zeit-Diagramm (mit der Möglichkeit auch nach dem Verhältnis der Massen zu fragen) zu erstellen ist. (Deutlich schwieriger wird die Auswertung, wenn es sich um einen elastischen Stoß handelt.)

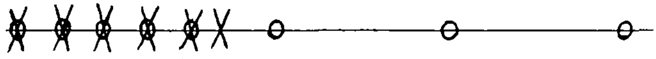


Fig. 5:
Stroboskopische Aufnahme eines inelastischen Stoßes auf der Fahrbahn (schematisch). Einer der Körper (zunächst ruhend) ist durch Kreuze gekennzeichnet, der andere (von rechts hereinkommend) durch Kreise.
Auswertung: Massenverhältnis feststellen oder (nach Angabe von Längen- und Zeitmaßstab) Weg-Zeit-Diagramm zeichnen.

5. Offene Aufgaben

"Physik machen" oder "ein physikalisches Problem bearbeiten" wird üblicherweise und auch berechtigt als der Standardfall von Physikunterricht betrachtet und die Hausaufgabe als das Anhängsel daran. Man sollte aber nicht vergessen, daß zum "Physik machen" vorher ein wichtiger Schritt erforderlich ist, die Problemstellung. Gerade auch die Problemstellung ist physiktypisch, denn um ein Problem zu erkennen, um eine unbeantwortete Frage zu sehen, um "etwas Bestimmtes wissen zu wollen", braucht man einen gewissen physikalischen Spürsinn; man ahnt, daß es etwas gibt, was man untersuchen könnte und konkretisiert diese Ahnung auf eine bestimmte Frage hin. Es erscheint also sinnvoll, dem Schüler nicht nur im Verlauf des Unterrichts, sondern gelegentlich auch als Hausaufgabe, eine offene Frage zu stellen, die bewirken soll, daß er selbständig zu konkreteren Vorstellungen über weitere durchzuführende Schritte kommt.

Beispiele:

- Welche Daten braucht man, um einen Ballonaufstieg physikalisch beschreiben zu können?
- Beschleunigung im Straßenverkehr: Welche Beobachtungen könnte man dazu machen?
- Der Verbrauch elektrischer Leistung verschiedener Geräte im Haushalt: Wie könnte man den Leistungsverbrauch direkt beobachten?
- Wie könnte man die Entfernung des Mondes abschätzen?
- Wie könnte man den Wirkungsgrad eines Automotors abschätzen?

Natürlich muß sich der Lehrer darüber klar sein, daß es zeitlich sehr aufwendig ist, sich mit den Antworten oder Vorstellungen der Schüler auseinanderzusetzen. Man sollte aber - natürlich wohldosiert - sich manchmal die Zeit nehmen, denn es lohnt sich, die damit verbundene Anregung zum Gespräch, zur Meinungsäußerung, zum eigenen Nachdenken des Schülers wahrzunehmen. Projektstudien sind die natürliche Fortsetzung dieser Absicht.

6. Schlußbemerkung

Sie sehen natürlich, daß "Aufgaben stellen" schwerer ist als "fertige Aufgaben passend heraussuchen". Wenn Sie auch oft nicht selbst die Zeit oder die Ideen haben, eigene Aufgaben passend zu Ihrer Unterrichtsabsicht zu erfinden, so können Sie wenigstens beim Auswählen aus Aufgabensammlungen selbst einige Kriterien anwenden:

- Kann sich der Schüler persönlich angesprochen fühlen?
- Ist eine Situation beschrieben, die einen Bezug zur Erfahrungs- und Interessenslage des Schülers bietet?
- Ist das Ergebnis in irgendeiner Weise anregend, überraschend, merkwürdig?
- Ergeben sich weiterführende Fragen?
- Kann der Schüler sein Leistungspotential damit zeigen?
- Ist eine Anregung zur verbalen Kommunikation enthalten?

Vielleicht finden Sie noch weitere positive Kriterien. Zweifellos gibt es viele Aufgaben, auf die kein einziges dieser Kriterien zutrifft. Versuchen Sie, Ihre Aufgaben so auszuwählen, daß wenigstens manchmal mindestens eines dieser Kriterien realisiert ist!

---

[1] H. Dittmann, H. Näpfel, W.B. Schneider: "Die zerrechnete Physik"

in: Wege in der Physikdidaktik, Band 1 (Hrsg. W.B. Schneider)
Palm & Enke, Erlangen 1989

und in: Physik und Didaktik 4, 1990