

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

K. Luchner

Genese von Einsichten — Jugenderinnerungen

Auch heute noch, schon fast am Ende einer lebenslangen Beschäftigung mit Physik, empfinde ich eine gewisse Aufregung, wenn sich eine physikalische Problemfrage abzeichnet. Die Aufregung gilt aber meist weniger den Details der Beantwortung, sondern eher zunächst der Ausschärfung des Problems, der Zuordnung zu schon vorhandenem Vorwissen, und der sich dann vielleicht auch einstellenden neuen Einsicht. Manchmal erlaube ich mir dabei ein besonderes Vergnügen: Ich beobachte an mir selbst die einzelnen Gedankengänge und wie sie aufeinanderfolgen, fast etwa so, wie ein Lehrer seinen Schüler beobachtet und dabei dessen Gedanken nachzuempfinden versucht. Ähnliche persönliche Erfahrungen zur Genese von Einsichten und zu Lernprozessen hat wohl auch mancher Leser, und vielleicht wird er daraus auch einigen Nutzen für seine Unterrichtstätigkeit ziehen.

In dieser Absicht möchte ich hier einige physikorientierte Erinnerungen aus meiner frühen Schüler- und Studentenzeit skizzieren, dabei die damaligen Gedankengänge und Einsichten gewissermaßen nachträglich beobachten und aus der Perspektive des Erwachsenen diskutieren: Beobachtungen, Gedanken und Überlegungen, die dem Erwachsenen zwar unausgereift und unbeholfen erscheinen mögen, die aber den Leser vielleicht anregen, auch eigene Jugenderinnerungen zu aktivieren und damit die Sensibilität für typische Lernprozesse im Jugendalter zu pflegen und den Fundus von typischen modellhaften Beispielen zu bereichern.

Die geheimnisvolle Blumenvase

Im Wohnzimmerschrank meines Elternhauses, wo das besondere Porzellengeschirr aufbewahrt war, befand sich auch eine merkwürdige Blumenvase, die manchmal zur Tischdekoration verwendet wurde, aber nur bei ganz besonderen Anlässen. Eigentlich war sie eher ein Dekorationsstück und sah bei weitem nicht aus wie eine normale Blumenvase, sondern sie bestand aus einem ringförmigen Bodenkörper und vier daraufstehenden oben offenen Röhren, siehe Figur 1 (schematisch, die Verzierungen sind nicht dargestellt). Einmal, ich war damals etwa sieben bis neun Jahre alt, beobachtete ich die Köchin, wie sie kleine Blumen in die vier Röhren hineinrichtete, aber sie goß das Wasser für die Blumen nur in eine einzige der vier Röhren. Ich meinte, sie hätte vergessen, auch die anderen drei Röhren aufzufüllen und wollte dies dann selbst besorgen; aber mit Erstaunen sah ich, daß wider Erwarten doch schon Wasser in allen Röhren drin war. Die Köchin schimpfte und sagte: „Das ist doch klar, das geht doch von selbst“. Einige Tage später gelang es mir, diese Vase nochmal in die Hände zu bekommen und natürlich füllte ich Wasser in eine der Röhren, langsam, sehr langsam,

um gleichzeitig die anderen Röhren beobachten zu können. Tatsächlich, wie „von selbst“ gelangte das Wasser in alle anderen Röhren, und - was mir nicht besonders geheimnisvoll, sondern eher ein wenig belustigend vorkam- es stand immer in allen Röhren gleich hoch (wenn man nicht z.B. bössartigerweise alles schüttelte). Natürlich merkte ich bald, daß zwischen den Röhren eine Verbindung bestand: Der ringförmige Bodenkörper mußte hohl sein, so daß das Wasser von einer Röhre zu den anderen fließen konnte. Mein größerer Bruder sagte mir: „Das nennt man kommunizierende Röhren“.

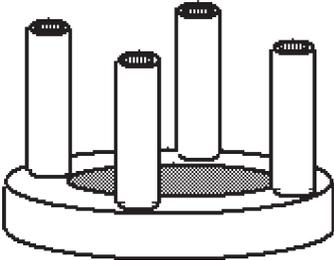


Abb. 1: Die merkwürdige Blumenvase (schematisch, ohne Verzierungen)

Erst viel später, als im Studium der hydrostatische Druck besprochen wurde, erinnerte ich mich wieder an dieses Erlebnis mit der geheimnisvollen Blumenvase, und ich sah sehr wohl ein, daß das Wasser in kommunizierenden Röhren gleich hoch stehen muß, da ja sonst eine der Wassersäulen im Bodenkörper einen einseitigen Überdruck bewirken würde. Aber nun hatte ich ein anderes Problem: Beim hydrostatischen Druck ist immer die Rede vom „Gewicht der über einer Fläche stehenden Flüssigkeitssäule“, und in der Blumenvase von damals sah man diese Flüssigkeitssäulen, nämlich das in den vier Röhren stehende Wasser - aber nun ging es um Flüssigkeitssäulen als gedankliches Konstrukt, man durfte sich in einem beliebigen Wasservolumen eine beliebige, z.B. schmale Flüssigkeitssäule vorstellen, nur durch zwei gestrichelte senkrechte Linien angedeutet! Die Antwort darauf, „dies ist so, weil in der Flüssigkeit keine Schubspannung übertragen werden kann“, kannte ich natürlich, aber ich konnte sie eigentlich nur mit einer achselzuckenden Ergebnisheit hinnehmen: Ich war mir nicht wirklich sicher, daß in einer Flüssigkeit, die ja überhaupt keine Formbeständigkeit hat, gerade ein so scharf definiertes Gebilde wie eine gedachte senkrechte Flüssigkeitssäule eine echte Bedeutung haben sollte!

Wieder viel später fand ich einen natürlichen Weg zur Hinführung auf den Begriff „Flüssigkeitssäule“; ein Lernpsychologe wird hierin wahrscheinlich ein typisches Beispiel für die Anwendung der sogenannten „Überbrückungsstrategie“ (z.B. C. v. Rhöneck, Phys. Bl. 48, 3, 1992, p. 177) sehen: Man stelle sich zunächst vor, auf eine am Boden stehende Waage werde ein Haufen großer Felsbrocken geschüttet (Figur 2, linkes Teilbild); wie groß wird die auf der Waage liegende Last sein?

Die Antwort hängt offensichtlich stark davon ab, wie die einzelnen Felsbrocken zu liegen kommen: Es kann sich ergeben, daß die Waage überhaupt nicht belastet wird, wenn sie zufällig in einem Hohlraum steht, der durch die übereinanderliegenden und vielleicht sich gegeneinander verkeilenden Felsen gebildet hat.

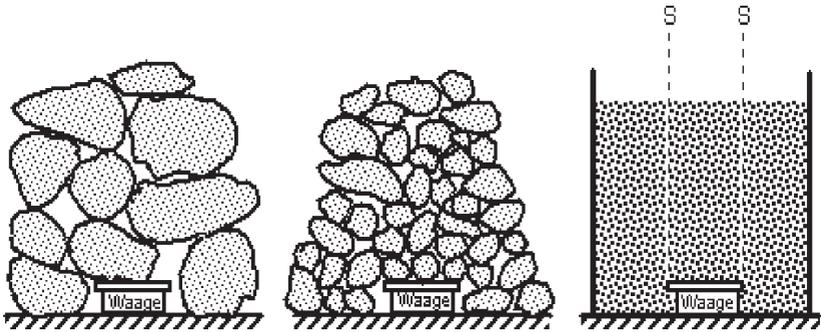


Abb. 2: Zur Deutung des Begriffes Flüssigkeitssäule:

Linkes Teilbild: Eine kleine Waage unter einem Haufen großer Felsbrocken - das auf ihr lastende Gewicht hängt stark von der gegenseitigen Lage der Felsbrocken ab.

Mittleres Teilbild: Bei kleineren Steinen ist die angezeigte Last schon nicht mehr so stark von Zufälligkeiten abhängig, aber immer noch haben die durch Verzahnung übertragenen Vertikalkräfte einen Einfluß auf die Anzeige.

Rechtes Teilbild: In der Flüssigkeit spielt die gegenseitige Verzahnung keine Rolle mehr, deshalb resultiert die angezeigte Last nur noch aus der über der Wägefläche liegenden Materie (Flüssigkeitssäule)

Es kann aber auch sein, daß ein (breiter) Felsen voll auf der (viel schmaleren) Wägefläche aufliegt, und daß auf ihm oben noch verschiedene andere Lasten aufliegen. Bei der Suche nach mehr Durchblick verspürt man wahrscheinlich bald den stillen Wunsch „wenn die Steine doch erheblich kleiner wären...“. Mit kleineren Steinen (Figur 2, Mitte) entwickelt sich die Vorstellung, daß die Waage ungefähr das Gewicht aller Steine anzeigen wird, die senkrecht über der Wägefläche liegen; aber genauer als „ungefähr“ möchte man sich wohl nicht festlegen, da man nicht sicher sein kann, ob sich manche Steine seitlich irgendwie verkeilen, und dadurch die Last auf der Waage kleiner oder größer werden wird. Wie könnte man das gegenseitige Verkeilen ausschalten? Man nehme erheblich kleinere Steine und Sorge dafür, daß zwischen nebeneinanderliegenden keine vertikal gerichteten Kräfte übertragen werden können (glatte Oberfläche, Schmierflüssigkeit); die auf der Waage liegende Last besteht dann aus dem Gewicht aller Steine, die innerhalb einer gedachten senkrechten Säule über der Wägefläche liegen (Figur 2, rechtes Teilbild; die beiden gestrichelten Linien S

sollen die Säule andeuten). Nimmt man als Last nun nicht geschmierte Steinen, sondern Wasser (wobei man natürlich aufpassen muß, daß das Wasser nur von oben, nicht aber auch von unten gegen die Wägefläche drückt), so bleibt das Bild vom Gewicht der darüberliegenden Säule erhalten, denn auch im Wasser können zwischen nebeneinanderliegenden Volumenbereichen keine vertikal gerichteten Kräfte übertragen werden: Im Wasser kann keine Schubspannung übertragen werden, was auch der Grund dafür ist, daß sich eine Wasseroberfläche unter dem Einfluß der vertikalen Schwerkraft immer horizontal einstellt und deshalb keine Formbeständigkeit hat.- Allerdings haben nicht alle Studenten die Geduld, einer längeren Argumentation wie dieser zu folgen, wenn sich eine einfachere Alternative bietet, also z.B. „die Flüssigkeitssäule“ ohne Frage zu akzeptieren und basta; leider ist aber dann nur noch „das Ziel“ das Ziel, und nicht mehr auch „der Weg“.

Die elterliche Bauernstube als Himmelsmodell

Etwa als 14-jähriger kannte ich schon einige wenige Sternbilder, echt am Nachthimmel, nicht nur im Atlas. In unserer Bauernstube war, in Schrankhöhe umlaufend, eine Konsole angebracht, auf der zur Dekoration u. a. auch Zinnteller aufgestellt waren, und einige davon hatten ein Sternbild eingraviert. Natürlich hörte ich auch öfters Redewendungen wie „die Sonne steht im Sternbild Stier“, oder „jetzt steht die Sonne schon im Sternbild Krebs“. Allmählich fiel mir auf, daß ich mir hiervon kein rechtes Bild machen konnte: Woher weiß man, daß die Sonne „in einem bestimmten Sternbild steht“, wo man doch am Tag zwar die Sonne, aber keine Sterne sieht? Und, vielleicht noch weniger vorstellbar, wieso wandert die Sonne von einem Sternbild zum nächsten, und noch dazu auf die gleiche Weise wie im Jahr zuvor?

Eine Antwort auf diese (wohl eher mehr diffus an die nächsten Familienmitglieder gestellten) Fragen erhielt ich damals nicht, aber etwa im selben Alter hörte ich von meinem älteren Bruder, daß die Erde die Sonne umkreist, und wir machten uns beide ein einfaches Modell davon: Die in der Mitte der Bauernstube herabhängende Lampe war die Sonne, und einer von uns beiden, langsam darumerumgehend, war die sie umkreisende Erde, und wir stellten uns vor, daß eine Umkreisung ein Jahr zu dauern hätte.

Dieses Spiel war aber bald nicht mehr attraktiv; ein wenig später versuchte ich, zu der den Jahreslauf darstellenden Umkreisung noch die tägliche Erdrotation „dazuzumachen“: Mein Kopf war die Erde, meine Augen waren der auf der Erde stehende und ins Weltall hinausblickende Mensch. Es war irgendwie lustig, bei sich drehendem Kopf zu sehen, wie der auf der Erde stehende Mensch zunächst auf die Sonne (Lampe) blickt, und wie nach einer halben täglichen Umdrehung die Sonne nicht mehr sichtbar war, sondern statt dessen ein anderer Teil des Himmels ohne Sonne (die Zimmerwand, die Sternbilder auf den Zinntellern). Die Überlagerung beider Bewegungen, Jahreslauf und Tages-

lauf, war nun zunächst weniger eine intellektuelle, sondern eher eine artistische Herausforderung und ein bißchen mühsam - aber dabei geschah spontan, nicht geplant, die entscheidende Erkenntnis: Im Verlauf des Jahresumlaufes ergibt es sich, daß die Sonne (Lampe) vor immer wieder anderen Sternbildern (Zinntellern) steht (man müßte also eigentlich sagen: „die Sonne steht *vor* dem Sternbild“, und nicht: „steht *im* Sternbild“), und weiterhin, daß sie so im Verlauf der Jahresbewegung von einem Sternbild zum nächsten zu wandern scheint, und schließlich, daß man im Jahresverlauf nachts nach und nach auf immer wieder andere Sternbilder blickt. Sehr bald war das reale Modell (die körperlich-reale rotierende Umkreisung der Lampe) nicht mehr nötig um weitere Überlegungen anzustellen, sondern es war gut möglich, weitere Beobachtungen einfach im Kopf, gewissermaßen mit geschlossenen Augen zu machen: Das reale Spiel hatte sich zum Denkmodell entwickelt.

Aber auch die dazu gewissermaßen komplementäre Sichtweise, die reale, möglichst unmittelbare Naturbeobachtung (wie sie bekanntlich von M. Wagenschein empfohlen wird), wurde mir damals bald zum vertrauten Bedürfnis, und auch heute noch fühle ich mich dadurch erfreut oder sogar inspiriert: So z.B. stelle ich mir beim Anblick der Sonne real vor, wo im Weltall die Erde ein Vierteljahr oder auch ungefähr ein halbes Jahr später sein wird, zu welchen Tageszeiten sie dort von hier aus zu sehen wäre, und wie von dort aus der Taghimmel und der Nachthimmel aussieht. Wenn ich auch gelernt habe, dies mit Hilfe von Koordinaten auszudrücken - das Aufregende für mich sind nicht die Koordinaten, sondern die Intuition.

Besonders gerne hänge ich folgender Vorstellung nach: Ich beobachte im Hochsommer den Sonnenuntergang im Nordosten und sehe, wie die scheinbare Sonnenbahn den Horizont unter spitzem Winkel schneidet; dann stelle ich mir vor, wie nach dem Sonnenuntergang die Bahn unterhalb des Horizonts ungefähr weiterverlaufen wird bis zum Sonnenaufgang im Nordosten. Zugleich bewege ich mich in Gedanken schnell auf der gekrümmten Erdoberfläche nach Norden; dabei bildet die jeweilige horizontale Vorwärtsblickrichtung und die anfängliche horizontale Blickrichtung einen Winkel nach unten, und dieser Winkel wird umso größer, je weiter ich nach Norden komme. Wie verändert sich während dieser Bewegung nach Norden die unterhalb des jeweiligen Horizonts liegende scheinbare Sonnenbahn? Sie liegt immer weniger weit unterhalb des jeweiligen Horizonts, Sonnenuntergang und Sonnenaufgang rücken immer näher zusammen, bis, bei noch weiter fortgesetzter Bewegung nach Norden, die Sonnenbahn schließlich den Horizont nicht mehr erreicht - Mitternachtssonne. Am Tag der Sommersonnenwende ist die Sonnenbahn am weitesten vom Horizont entfernt: Midsommar! (Fast eine Art Zauberwort in Skandinavien) Hier aber beginnen Erinnerungen anderer Art sich der naturwissenschaftlichen Intuition zu überlagern.

Kieselsteine sind billiger als Benzin

Den ersten Physikunterricht erfuhr ich als etwa Vierzehnjähriger. Die Erwartung zu Beginn des neuen Schuljahrs war groß, wie bei jedem neuen Fach, und aus den ersten Wochen, vielleicht Monaten, habe ich noch konkrete Erinnerungen: Am Anfang stand das Urmeter („es besteht aus ... und wird aufbewahrt in ...“), dann kam der Satz „wo ein Körper ist, kann nicht zugleich ein zweiter sein“, im Buch sah ich die Bilder vom überschlächtigen und unterschlächtigen Wasserrad, und schließlich wurde das „Melde-Rohr“ durchgenommen. Eine ganz bestimmte schulische Erfahrung ist mir im Zusammenhang mit dem Melde-Rohr erstmals richtig nahe gegangen: Daß der Lehrer etwas macht, wovon man als Schüler nicht nur nichts aufzunehmen imstande ist, sondern daß man dabei auch noch Abneigung und ein im Magen sitzendes flaues Gefühl verspürt. Es wurde viel skizziert, gerechnet, ins Heft eingetragen, auswendig gelernt - aber mir blieb nur die verständnislose und schüchtern zurückgehaltene stumme Frage: „Und was wird mit dem Melde-Rohr gemeldet“?

Vielleicht ein oder zwei Jahre davor war mein Interesse natürlich auch auf Autos gerichtet. Obwohl es recht verschieden aussehende Autos gab, so hatte ich doch die deutlich ausgeprägte Meinung, daß die „Erfinder“ der verschiedenen Autos sich gegenseitig immer alles nachmachten, denn die Autos waren ja eigentlich alle sehr ähnlich: vier Räder, der Fahrer vorne links, der Motor vorne, und alle benötigten Benzin. Bald war mir klar, ich mußte selbst ein anderes, neues Auto erfinden, und ich trug verschiedene Ideen mit mir herum. Auch eine Idee für einen Motor, der kein Benzin braucht, war dabei: Ein im Auto mitgeführter großer Kieselstein drückt auf einen Zahn eines Zahnrades (Drehachse horizontal), welches dadurch in Drehbewegung versetzt wird; mit Hilfe einiger passend dazugeschalteter anderer Zahnräder mußte auch ein Rad des Autos in Bewegung gesetzt werden können.- Einige der darumherumliegenden Gedanken und Erfahrungen kann ich noch ungefähr rekonstruieren:

Eigentlich erwartet man einen Hinweis auf die Ähnlichkeit dieses Kieselsteinmotors mit dem überschlächtigen Wasserrad; diese Assoziation blieb aber aus, auch einige Jahre später, als ich das entsprechende Bild im Physikbuch sah (erst sehr viel später, als ich mehrere alte Physikbücher durchblätterte, erinnerte ich mich). Sehr wohl aber kam damals sofort der abwinkende Einwand meines Vaters: „Das geht doch nicht“. Ich war mir aber sicher, daß es gehen mußte, wenigstens (wie ein Erwachsener sagen würde) prinzipiell; die Analogie zum Radfahrer, der sein Körpergewicht auf eines der Pedale verlagert, sah ich damals noch nicht.

Aber bald kamen mehr und mehr praktische Bedenken: Auch bei noch so schlauer Zahnradübersetzung wird der Kieselstein sich nach unten bewegen, sobald das Auto fährt (eine deutlichere Vorstellung zur Zahnradübersetzung stellte sich aber nicht ein; die Gangschaltung beim Fahrrad war damals noch nicht weit verbreit-

tet). Um die Fahrt fortsetzen zu können, müßte ein Mitfahrer im Auto den so allmählich nach unten verlagerten Kieselstein wieder hochheben und in das Zahnrad einlegen, oder noch besser, man müßte gleich von Anfang an viele Kieselsteine ins Auto einladen, dort hoch lagern und diese der Reihe nach automatisch ins Zahnrad einlegen; jeder so verwendete Kieselstein war hernach nur noch Ballast und konnte also hinausgeworfen werden auf die Straße, und von anderen Autos auch wiederverwendet werden. Die (höhnische) Reaktion des in diese Überlegungen eingeweihten großen Bruders war: „Das ist wie ein Lastauto, das seine Kiesladung auf die Straße kippt!“ Ich war beleidigt, denn meine Erfindung war besser als ein Kies abkippendes Lastauto - immerhin wurde bei mir dadurch ein Zahnrad usw. angetrieben!

Auch der Einwand „anstatt sich abzumühen, die Steine auf die Ladefläche des Autos hochzuheben, kann man doch auch gleich das Auto unmittelbar anschieben“ fand noch einige Erwiderung: Erstens bilden die eingeladenen Steine einen Vorrat für später, d.h. anstelle eines einmaligen starken Anschießens kann man durch die mitgenommenen Steine den Antrieb besser dosieren (eine Dampflokomotive verbrennt ihre Kohlen ja auch nicht alle am Anfang der Reise, sondern erst später nach Bedarf), und zweitens gibt es in der Landschaft ja auch Stellen, an denen die Steine schon in einiger Höhe oberhalb der Straße bereitliegen, so daß man sie nicht mehr mühevoll hochheben muß, sondern sie fast mühelos auf die Ladefläche des Autos schieben kann.

Allmählich kamen mir aber mehr und mehr Bedenken, in denen sich quantitative Fragestellung andeutet: Das Auto sollte ja auch bergaufwärts fahren können, und so stellte sich die Frage, welcher Höhengewinn für das ganze Auto überhaupt möglich wäre, während einer der Steine sich im Auto von oben nach unten verlagert. Ein wenig diffus, aber doch erkennbar war mir die Vorstellung, daß der Höhengewinn nicht größer sein konnte als die Absenkung des Steins innerhalb des Autos, denn sonst würde der Stein ja am Ende höher liegen als am Anfang, und das konnte ich mir nicht vorstellen. Das Wort „perpetuum mobile“ kannte ich zwar, aber nur als Titel eines Musikstückes (ich glaube, es war eine Geläufigkeitsübung auf dem Klavier), nicht jedoch als Aussage zur Mechanik. Daß bei der Bergfahrt nicht nur der antreibende Kieselstein, sondern auch noch das ganze Auto mitsamt seinem Kieselsteinvorrat anzuheben ist, war nicht mehr in meinem Blickfeld, soweit ich mich erinnere; vielleicht habe ich diesen sehr störenden Einwand auch nur verdrängt.

Später im Studium - im Stillen war ich wohl manchmal ein wenig geschockt, mit welcher Selbstverständlichkeit, glatt, kurz und elegant, uns die wichtigen Einsichten serviert wurden - kam natürlich u.a. auch die Aufgabe „Ein stehender Schlittschuhläufer wirft einen Stein nach hinten, ...“, und da erinnerte ich mich an meinen Kieselsteinmotor: Es wäre auch möglich gewesen, den Kieselstein nicht auf ein Zahnrad zu legen, sondern ihn in eine senkrecht stehende Röhre

hineinfallen zu lassen, wobei die Röhre am Auto befestigt und an ihrem unteren Ende so gebogen sein muß, daß sie eine Umlenkung des fallenden Steins nach hinten vornimmt. Dabei wurde mir sehr wohl bewußt, daß die Masse des Vorrats an Steinen sich ungünstig auswirkt, was aber bei laufendem Antrieb immer weniger ausmacht, und ferner, daß jeder ausgeschleuderte Stein Energie mitnimmt. Eigentlich würde man erwarten, daß hier schon genügend Problembewußtsein gegeben war, um selbständig „etwas zu rechnen“ - aber dazu kam es damals nicht. Ich war zwar eifrig im Lösen von fertig formulierten Rechenaufgaben, aber eigene Probleme zu einer Aufgabenstellung auszuschärfen (mit Ausnahme von einfachen quantitativen Gegenüberstellungen, s.u.) lag noch außerhalb meiner Reichweite. Die Raketengleichung war damals noch nicht Anfängerstoff.

Den spezifischen Heizwert von Benzin - normalerweise eigentlich ein eher nur am Rande der Physikeinführung vorkommender Tabellenwert - habe ich natürlich sehr wach wahrgenommen und mit der spezifischen potentiellen Energie einer halbwegs vernünftigen Kiesbeladung für meinen Kieselsteinmotor verglichen. Das Aha-Erlebnis daraus zeigte mir nicht nur den praktischen Wert von Benzin, sondern es machte mir auch bewußt, daß eine vorläufige Abschätzung sehr praktisch und nützlich sein kann.

Schlußbemerkungen

Die hier skizzierten Erinnerungen sind speziell ausgewählt und sie mögen sich im Lauf der Zeit vielleicht auch ein wenig geglättet oder geschönt haben, aber immerhin zeigen sie einige typische, jedem Didaktiker vertraute Aspekte; weil dabei gegenüber der experimentellen Seite eher der gedankliche Hintergrund dominiert, sei hier nur hingewiesen auf die Bedeutung des „Problemgrundes“, auf die „innere Anschauung“, und auf die „qualitative Vorstufe“.

Der „Problemgrund“ ist in allen drei Beispielen deutlich erkennbar: Die Besonderheit der Vase und das Handeln einer Bezugsperson, die provozierend unverständlichen Redewendungen über Sonne und Sternbilder, der Wettbewerb um das interessanteste Auto. Der Abstand zwischen dem „Problemgrund“ und der im unterrichtlichen Sinn üblichen „Problemstellung“ ist deutlich; letztere würde z.B. lauten: „Wie verhält sich Wasser in verbundenen Gefäßen?“, „Welche Sterne beobachten wir im Jahreslauf?“, „Kraftwandler und Bewegungswandler“. Leider ist es bei vielen Unterrichtsvorhaben zeitlich nicht möglich, die Problemstellung aus einem vorher angelegten Problemgrund in natürlicher Weise herauswachsen zu lassen; übrig bleibt oft nur die (demonstrativ fröhliche) Feststellung des Lehrers „Wir interessieren uns heute für ...“. Dem Laien erscheint der Problemgrund natürlich; die eigentliche physikalische Problemstellung aber, wenn sie nicht aus einem Problemgrund heraus erreicht wurde, erscheint ihm eher gekünstelt, fachgeprägt, und er kann diese wohl erst nach einiger Konditionierung glatt hinnehmen. Ohne Konditionierung kann es zu Abwehrreaktionen

kommen (ich denke an die Erinnerung zum Melde-Rohr). Ob eine derartige Konditionierung durch den Unterricht bewußt angestrebt wird, oder ob sie sich in individuell günstigen Fällen allmählich von selbst einstellt, gewissermaßen als Strategie zur Selbsterhaltung, sei dahingestellt.

Das Auftreten der „inneren Anschauung“ zeigt, wie wichtig zunächst die „äußere Anschauung“, die reale praktische Beobachtung ist; es zeigt aber auch wie wichtig es ist, die praktische Beobachtung nicht einfach hinzunehmen (gewissermaßen wie eine fertige Fotografie, die man in eine Schublade legt), sondern sie geistig weiter zu verarbeiten. Alle Bestrebungen in Ehren, die den Physikunterricht durch Verwendung möglichst vieler Experimente attraktiv zu machen versuchen — aber bleibt dabei nicht manchmal das Potential, über ein Experiment vorher und nachher nachzudenken, ungenutzt? Das Experiment soll nicht nur als Attraktion, als Kunststück, als singuläre Fotografie gesehen werden, sondern (wenigstens manchmal) auch als sicherer Stützpunkt für die innere Anschauung und deren Erweiterung.

Die „qualitative Vorstufe“ wird im Unterricht oft übersprungen. Aber man macht es sich zu einfach wenn man sagt, richtige Physik beginne ja ohnehin erst mit der mathematischen Formulierung. Es ist eher umgekehrt: Das Primäre ist die physikalische Vorstellung, oder auch die neue physikalische Idee; diese läßt sich (meist) in verbaler Form und mit qualitativen Aussagen gut darlegen und dann auch auf die erforderliche Ausschärfung, experimentell und mathematisch, hinführen. Man sollte also nicht meinen, daß z.B. bei Experimenten allein die Apparatur und der Meßwert, und bei Rechenaufgaben allein der Lösungsweg und das Ergebnis die Botschaften an den Schüler sind — auch die Genese der Aufgabenstellung und qualitative Vorbetrachtung sind Physikunterricht. Idee, vorläufiges Abwägen und schließlich Ausschärfung gehören zusammen.

Wollte man einen Schüler in seinen, wie z.B. oben skizzierten, Gedankengängen auch individuell fördern (was normalerweise nur unter besonders günstigen Umständen möglich sein dürfte), so würde man es wohl kaum für nötig halten, ihm dazu viel Faktenwissen aufzubürden, sondern man würde eher eine sanfte Steuerung versuchen und ihm dabei gelegentlich weitere Anregungen angedeihen lassen: selbständig sich entwickelndes Lernen (nicht „pauken“), das aus der Sicht des Schülers erscheint als „selbst etwas erforschen“ oder „selbst etwas erfinden“. Eine ähnliche Vorstellung als Idealform des Lernens im Bereich der Anfängerphysik im Studium vertritt D. Hestenes: „The student should get the feeling to reinvent physics himself“. Sanfte Steuerung durch eine Bezugsperson kann sich dazu auch persönlichkeitsprägend auswirken: So z.B. meine ich noch heute manchmal eine bestimmte Stimme mit der leise mahnenden Ermunterung zu hören, wie sie mir seit dem Studium immer wieder geholfen hat: „... ich glaube schon, daß Sie das noch besser machen können, ...“; aber das gehört natürlich nicht mehr zu den Jugenderinnerungen.