

Physik - eine Perspektive der Realität

Probleme des Physikunterrichts

H. Joachim Schlichting Universität GH Essen

*Entschuldige! Wieso siehst du das nicht? Bist du denn blind?
Und er will und will es nicht sehen, was Sie sehen, und wo, wie Sie es sehen.
Er aber sieht es, wie er es sieht, für ihn sind Sie blind.*

Luigi Pirandello

Um klar zu sehen, solle der Suchende doch die Blickrichtung wechseln

Antoine de Saint- Exupéry

Physikalische Erkenntnis kommt nicht durch eine Beschreibung des Faktischen zustande, sondern macht selbst Altbekanntes, sofern wir damit leben, zur neuen Realität, indem sie es aus einer neuen, der physikalischen Perspektive sichtbar macht. Insofern zeigt uns Physik nicht nur das, was wir noch nicht kennen, sondern auch das, was wir kennen, wie wir es nicht kennen. Die Konsequenzen aus dieser Einsicht sind vielfältig. Einige besonders wesentliche Aspekte sollen im folgenden diskutiert werden.

Physik und Alltagserfahrung

Der Physikunterricht ist nicht nur unbeliebt, er ist auch ziemlich wirkungslos /1-11/. "Aus der Sicht der zum Ziel gesetzten... fachphysikalischen Unterweisung als Basis für eine allgemeine wissenschaftskulturelle Bildung der Schüler verlassen diese die Schule in ihrer übergroßen Mehrheit schlicht als physikalische Analphabeten" /10/. Da der Physikunterricht zu abstrakt, zu fachsystematisch, zu unverständlich und zu wenig auf die Lebenswelt der Schüler bezogen sei /7/, wird im Unterricht in den Köpfen der Schüler "ein kurioses Neben- und Miteinander sich mitunter diametral widersprechender Vorstellungen unterschiedlichster Provenienz, ein 'Amalgam' aus Physik- und Alltagswissen, Spekulation und Kenntnis, von buntgewürfelten Versatzstücken aus Schulbüchern, populärwissenschaftlichen Massenmedien und eigener Erfahrung" /10/ angerichtet. Fast alle Reformvorschläge zum naturwissenschaftlichen Unterricht sind sich darin einig, daß Physikunterricht sich nicht auf die Vermittlung von Physik beschränken dürfe. Der Physikunterricht habe vielmehr einen spezifischen Beitrag zum Verständnis der wissenschaftlich technischen und natürlichen Lebenswelt zu liefern und solle darauf aufbauend im Sinne alltagspraktischer Handlungsfähigkeit usw. wirken. Über die reine Fachdisziplin Physik hinausgehend ist hier das Verhältnis von Lebenswelt und Physik angesprochen. Dieses Verhältnis ist aber alles andere als geklärt.

Eines der größten Mißverständnisse und Probleme beim Lernen von Physik besteht m.E. darin, davon auszugehen, es komme auf eine Einebnung der Differenz zwischen Common sense und den Aussagen der Physik an. Physik greift zwar insbesondere über die naturwissenschaftlich geprägte Technik in nie gekannter Weise in die Lebenswelt ein und verwandelt das Leben des modernen Menschen auf grundlegende Weise. Dennoch entsteht die physikalische Erfahrung in der Regel geradezu im Kontrast zur Alltagserfahrung /12,13/. Die Tatsache, daß nicht selten mit der Physik befaßte Personen sich vehement gegen diese Ansicht wehren, ist Teil des Problems, um das es hier geht.

Nehmen wir als Beispiel den freien Fall. Die physikalische Aussage, daß alle Gegenstände gleich schnell fallen, ist aus der Sicht der neuzeitlichen Physik trivial. Daraus folgt jedoch nicht, daß es sich dabei auch für die Schüler um einen einfach nachzuvollziehenden Sachverhalt handelt. Ich stelle mir die Schüler vor, wie sie angesichts dieser Aussage vor ihrem geistigen Auge ein Blatt langsam vom Baum zum Boden torkeln, einen Dachziegel beim Aufprall auf dem Pflaster zerschellen und Löwenzahnsamen vom Wind weggetragen sehen. Beim besten Willen können sie solche Vorstellungen nicht verhindern, auch wenn sie zehnmal darauf hingewiesen werden, die Aussage gelte streng genommen nur bei Vernachlässigung des Luftwiderstands (Bild 1).

Die Schwierigkeit liegt weniger in der intellektuellen Anforderung, den luftleeren Raum als einen abstrakten Raum mit bestimmten Eigenschaften zu denken. Schüler müssen sich zuweilen mit sehr anspruchsvollen theoretischen Konstrukten auseinandersetzen. Man denke etwa an rein mathematische Konstruktionen, aber auch an literarische Fiktionen und künstlerische Visionen. Problematisch wird die Sache durch den Anspruch der Physik, Aussagen über die Wirklichkeit zu machen. Dadurch kommt implizit oder gar explizit die eigene Lebenswelt der Schüler ins Spiel. Hier prallen Reales und Gedachtes, sicheres Wissen und vage Vermutungen unversöhnlich aufeinander. Insbesondere muß aus Schülersicht befremden, daß die mit der physikalischen Beschreibung einhergehende Unterstellung, im luftleeren Raum, in dem kein Leben existieren kann (Bild 1), dem man sich allen-



Bild 1: Ausschnitt aus das „Experiment mit der Luftpumpe“ (1768), von Joseph Wright of Derby, auf dem die Wirkung des Vakuums auf eine lebende Taube dem gleichzeitig faszinierten wie entsetzten Publikum dargestellt wird.

falls mit technischem Aufwand (Vakuumpumpe oder Weltraumraketen) anzunähern vermag, gehe es gewissermaßen realer zu als in der luftgefüllten Welt, in der wir leben: "Der Sternenhimmel ist zum Lehrbuch für die Technik dessen geworden, was natürlicherweise auf der Erde nicht gefunden werden kann" /14/. Wenn dieses Problem leichtfertig beiseite geschoben wird, indem der Lehrer den Schülern versichert, daß im Grunde alles ganz einfach sei, müssen die Schüler ihre eigene Unzulänglichkeit als Ursache ihrer Verständnislosigkeit ansehen und beginnen, das Fach abzulehnen.

Man muß sich nur den horror vacui eines nicht Geringeren als Immanuel Kant angesichts eines in einem evakuierten Rezipienten vergeblich flatternden Vogels (Bild 1) vergegenwärtigen, um die meist unterschwelligen Vorbehalte auch unserer SchülerInnen zu verstehen. „Die leichte Taube, indem sie im freien Fluge die Luft teilt, deren Widerstand sie fühlt, könnte die Vorstellung fassen, daß es ihr im luftleeren Raum noch viel besser gelingen werde. Ebenso verließ Plato die Sinnenwelt, weil sie dem Verstande so enge Grenzen setzt, und wagt

sich jenseits derselben, auf den Flügeln der Ideen, in den leeren Raum des reinen Verstandes. Er bemerkte nicht, daß er durch seine Bemühungen keinen Weg gewönne, denn er hatte keinen Widerhalt, gleichsam zur Unterlage, worauf er sich steifen und woran er seine Kräfte anwenden könnte, um den Verstand von der Stelle zu bringen“ /15/.

"Wahrnehmung muß gelernt werden" (Kant).

Nicht erst unsere "dummen" SchülerInnen werden zu Opfern der Differenz zwischen verschiedenen Sehweisen. Die Geschichte der Physik legt besonders in den Phasen ihrer Umbrüche ein beredtes Zeugnis von Verständnis-

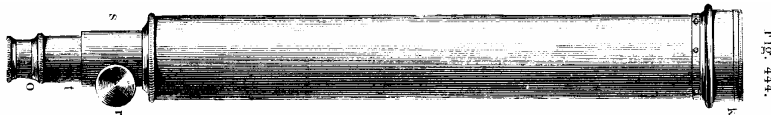


Bild 2: Das Fernrohr, ein „beidseitig verglastes Rohr“.

problemen zwischen den Anhängern verschiedener Sehweisen ab. Ein berühmtes Beispiel ist die viel zitierte Auseinandersetzung zwischen Galilei und der Kirche. Diese Angelegenheit wird normalerweise so dargestellt, daß die Kirche aus welchen

Gründen auch immer neue Erkenntnisse insbesondere solche, die in Widerspruch zum kirchlichen Weltbild erschienen, zu unterdrücken versuchte. Dies mag in der Tat ein Motiv gewesen sein. Wichtiger scheint mir, daß die Vertreter der aristotelischen Weltsicht Galileis Ansichten nicht wider besseres Wissen ablehnten, sondern die Dinge gar nicht so sehen konnten, wie Galilei sie sah /16/.

Auch die häufig in Lehrbüchern zu lesende, die Überlegenheit des heutigen Wissensstandes zum Ausdruck bringende Aussage: Früher wußte man noch nicht..., verkennt die Entwicklung der Wissenschaft als Folge von konzeptuellen Wechseln, Änderungen der Sehweise /17/. Galilei ließ bekanntlich die Vertreter der kopernikanischen

Physik durch das Fernrohr blicken, das er auf den Jupiter gerichtet hatte. Zu sehen war der Riesenplanet mit einigen seiner bis dahin unbekanntenen Monde. Doch was sah jemand, der nie zuvor einen Blick durch ein solches beidseitig verglastes Rohr getan hatte? Günstigstenfalls konnte er einige weiße Punkte erkennen, von denen einer etwas heller war als die anderen (Bild 2). Was aber hatten diese im Rohr auftauchenden Punkte mit dem am Himmel umlaufenden Planeten zu tun? Konnten diese Punkte für jemanden, der die Funktionsweise des Fernrohres nicht kannte, eine andere Qualität haben als optische Täuschungen? Jedenfalls mußten alle anderen Deutungen für die weißen Flecken im Rohr naheliegender erscheinen, als ausgerechnet Himmelskörper darzustellen. Mehr noch: Kann man jemanden der vom Sichtbarkeitspostulat der Naturbeobachtung überzeugt ist, übelnehmen, wenn er die Behauptung, der Blick durch ein profanes Rohr mit verglasten Öffnungen offenbare dem menschlichen Blick entzogene Dinge, als äußerste Zumutung empfindet? Muß ein aufrichtiger Mensch, dem die Wahrhaftigkeit in der Naturforschung heilig ist, nicht geradezu den Blick durch das Fernrohr verweigern? Die Geschichte der Auseinandersetzungen Galileis mit der Kirche ist geeignet, auf eindrucksvolle Weise deutlich zu machen, daß das, "was ein Mensch sieht,... sowohl davon ab(hängt), worauf er blickt, wie davon, worauf zu sehen ihn seine visuell begriffliche Erfahrung gelehrt hat" /17/. Und das gilt nicht zuletzt auch für unsere SchülerInnen. In vielen Fällen befinden sie sich in derselben Situation wie die Kirchenvertreter zur Zeit Galileis. So sehr sie sich auch bemühen mögen zu sehen, was der Lehrer oder die Lehrerin sieht, es gelingt ihnen nicht (vgl. eingangs zitiertes Motto).

Dazu ein Beispiel aus der Unterrichtspraxis /18/, bei dem es darum ging, die Fließvorstellung des elektrischen Stromes zu entwickeln. Um zu klären, wieso Wirkungen an entfernten Stellen im Stromkreis instantan auftreten, sollte nahegelegt werden, daß, wie bei einem gefüllten Wasserschlauch, der Strom sich sozusagen auf Kommando in Bewegung setzt. Dazu sollte das gleichmäßige Erglühen eines Drahtes nach Einschalten des Stroms als Beleg dienen. Vor Durchführung des Versuchs wurden die SchülerInnen gefragt, welchen Versuchsausgang sie erwarteten. Es wurden i.w. drei Meinungen vertreten:

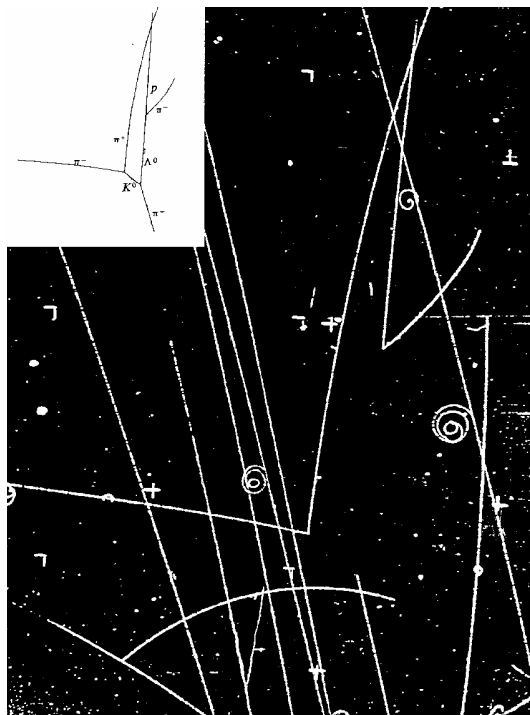


Bild 3: „Dort fliegt ein Lambda- Null- Teilchen.“

- Eine Gruppe erwartete, daß sich ein Erglühen des Drahtes von links nach rechts einstellen würde, je nach Richtung des Stroms.

- Eine zweite Gruppe sagte ein in der Mitte des Drahtes einsetzendes, sich nach den Enden fortpflanzendes Erglühen voraus. Sie stellte sich vor, zwei Ströme würden von beiden Polen kommend in der Mitte aufeinanderprallen, und der sich infolge des Zusammenpralls nach den Enden ausbreitende Rückstau würde das Glühen hervorrufen.

- Eine dritte Gruppe erwartete das "richtige" Ergebnis des gleichmäßigen Erglühens.

Nach Durchführung des Experiments mußte der Lehrer erstaunt zur Kenntnis nehmen, daß der Versuchsausgang die beiden "abtrünnigen" Gruppen offenbar nicht eines besseren belehrt hatte. Fast jeder sah das, was er zu sehen erwartete, auch wenn er so genau hinsah, wie es ihm möglich erschienen war. Die Tatsache, daß man auf dasselbe Phänomen blickt, aber je nach seinem jeweiligen Erwartungshorizont etwas anderes sehen kann, ist nicht so erstaunlich wie Lehrer zuweilen vermuten. Der oben beschriebene Blick durch das Fernrohr ist ein eindruckliches Beispiel dafür, daß dies nicht nur bei SchülerInnen anzutreffen ist.

Wie sehr der physikalisch Blick geeignet ist, visuell- gedanklich Strukturen zu erschaffen, die bei unbefangener (lebensweltlicher) Betrachtung nicht vorhanden sind, habe ich noch aus meinem Studium vor Augen. Es ging um die Interpretation von Blasenkameraaufnahmen innerhalb eines Fortgeschrittenenpraktikums. Der Versuchsleiter fragte uns angesichts unserer offensichtlichen Begriffsstutzigkeit: "Sehen Sie denn nicht, daß hier ein Lambda-Null Teilchen fliegt?" Dabei zeigte er auf ein Gebiet der Aufnahme, das überhaupt keine Linie aufwies (Bild 3). Denn elektrisch neutrale Teilchen hinterlassen keine Spur. Die Erfahrung mit solchen Bildern machte für ihn aus einem Liniengewirr konkrete Vorgänge, ja, im Kontext der Linien "sah" er selbst dort etwas, wo nichts war.

Physikalisches Sehen ist vor allem ein Übersehen.

Angesichts der "Seh-schwierigkeiten" der SchülerInnen fühlen sich Lehrer zuweilen in ihrer Auffassung bestätigt, daß SchülerInnen nicht genau genug beobachten. Die Fähigkeit zu genauer Beobachtung wird häufig als eine der Tugenden der mathematischen Wissenschaften angesehen, die es auch und vor allem im Physikunterricht zu entwickeln gelte. Physik wird als die genaueste Art und Weise angesehen, die Wirklichkeit zu beschreiben (exakte Naturwissenschaft).

Man sollte sich jedoch vor Augen führen, daß Genauigkeit im Sinne einer möglichst detailgetreuen Beschreibung in der Physik gerade nicht angestrebt wird. Unter den zahlreichen Aspekten, die die Welt bei unvoreingenommener Betrachtung aufzuweisen vermag, wird gerade nur einer ausgewählt. Der Physiker muß das meiste übersehen und darf nur das sehen, was die physikalische Theorie zu sehen erlaubt. Hat man die physikalische Sehweise erst einmal angenommen, so ist es allerdings möglich, das so Ausgewählte mit mathematischer Präzision zu erfassen. Aber bis die SchülerInnen dahin gelangen, müssen sie einen weiten Weg zurücklegen. Sie müssen den Kontext erfassen, in dem die physikalische Erfahrung erfolgt.

Was heißt genau beobachten? Die physikalische Sehweise gestattet es, davon abzusehen, was beim freien Fall fällt. Physikalisch ist es gleichgültig, ob es sich um eine Kugel, einen Stein, einen Blumentopf oder gar einen Menschen handelt. Beim vom Baume herabschwebenden Blatt muß man schon einige Worte machen, um darin einen freien Fall zu sehen. Und wie sieht es aus, wenn der betrachtete Gegenstand gar nicht fällt, sondern rollt?

Diese Frage trat in einem Unterrichtsversuch auf, in dem ein Referendar den technischen Aufwand bei der Bestimmung des Fallgesetzes dadurch vermeiden wollte, daß er auf die schiefe Ebene Galileis zurückgriff. Er ließ eine Kugel in einer Rinne hinabrollen, so daß man die ungleichförmige Bewegung mit Hilfe eines Bandmaßes und einer Stoppuhr erfassen konnte. Der Versuch verlief fast reibungslos im doppelten Sinne des Wortes. Bei der Diskussion des Ergebnisses wurde jedoch der Erfolg durch die Äußerung einer Schülerin in Frage gestellt. Die Schülerin wollte wissen, was die in einer schrägen Rinne rollende Kugel mit einem frei fallenden Gegenstand zu tun habe. Angesichts des etwas verständnislos blickenden Lehrers präziserte sie: "Ich meine, die fallende Kugel ist frei und völlig losgelöst. Die rollende Kugel berührt aber die Rinne und wird von ihr beeinflusst. Wenn die Rinne eine scharfe Kurve machen würde, müßte die Kugel sie mitmachen." Ein Schüler fragte außerdem, ob denn rollende Kugeln sich nicht anders verhielten als fallende.

Um die Bewegung auf der schiefen Ebene als experimentelle Möglichkeit zur Ermittlung des Fallgesetzes anzusehen, muß man sie als freien Fall mit reduziertem g begreifen. Hinzu kommt, daß auch physikalisch gesehen Gleiten etwas anderes ist als Rollen. Man muß also im Grunde in der Lage sein, einzuschätzen, ob der Fehler,

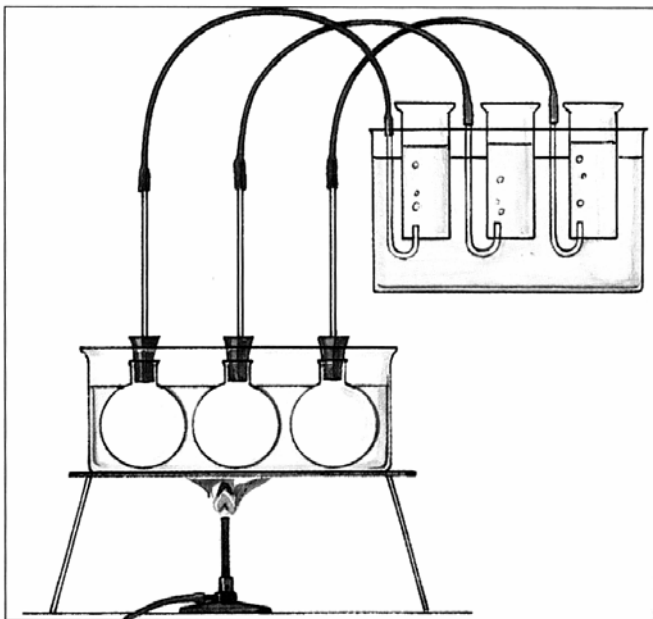


Bild 4: Versuch zur Bestimmung der Ausdehnung von Gasen.

den man in diesem speziellen Fall macht, unterhalb der interessierenden Meßgenauigkeit liegt. Kann man den SchülerInnen vermitteln, daß die an sich verschiedenen Situationen näherungsweise als gleich angesehen werden können? Und wenn man es kann: Ist es an einer solchen für die Konzeptualisierung wesentlichen Stelle sinnvoll, es zu tun?

In der experimentellen Praxis der exakten Naturwissenschaften ist es häufig unabdingbar, gewisse Unschärfen in der Beobachtung zuzulassen. Diese Unschärfen sind allerdings von sehr voraussetzungsvoller Art; sie verlangen, daß man bereits weiß, worauf ein Experiment hinausläuft. Vor allem bei der Einschätzung der Gleichheit von Meßwerten ist dies von Bedeutung.

Dazu ein weiteres Unterrichtsbeispiel: Es sollte das Ausdehnungsverhalten verschiedener Gase bei Erwärmung untersucht werden. Dazu wurden Luft, Kohlenstoffdioxidgas und Stadtgas ausgewählt. Man füllte sie in Behälter, die in ein heißes Wasserbad getaucht wurden. Das verdrängte Gas ließ man Wasser aus einem Auffanggefäß verdrängen und

konnte auf diese Weise unmittelbar die Volumenzunahme beobachten (Bild aus 5/6). Die Volumenvergrößerung war bei allen drei Gasen in etwa gleich. Daß es auf dieses "in etwa" ankommen würde, war dem Unterrichtenden nicht klar. Seine sehr allgemein gehaltene Frage: "Was beobachtet ihr, und was schließt ihr aus eurer Beobachtung?" wurde von einem Schüler - man möchte sagen - vorbildlich beantwortet. Er sagte nämlich: "Gase dehnen sich aus. Verschiedene Gase dehnen sich unterschiedlich stark aus". Dies Ergebnis erschien dem Schüler der Erwartung zu entsprechen. Bei der Untersuchung verschiedenen Festkörpern in einer der vorausgehenden Stunden war ein entsprechendes Ergebnis festgestellt worden.

Der Unterrichtende wollte natürlich auf ein ganz anderes Ergebnis hinaus. Um dies zu erreichen, erinnerte er die SchülerInnen an ein Unterrichtsgespräch über Meßfehler. Dort hatte er am Beispiel einer gemessenen Zahlenfolge 1, 4, 9, 15, 25 illustriert, daß ein Physiker trotz der 15 auf ein Bildungsgesetz n^2 schließen würde. Vollständige Exaktheit, so wurde richtig festgestellt, wäre für die Physik tödlich. Als Beobachter der Stunde konnte ich hören, wie eine Schülerin ihre Nachbarin fragte: "Was will er denn hören?". - "Na, was wohl, daß sie sich gleich stark ausdehnen", entgegnete die Nachbarin. Die Schülerin meldete sich und sagte: "Unterschiedliche Gase dehnen sich gleich stark aus". Richtig! Dem Lehrer war zwar nicht ganz wohl, als er diesen Merksatz an die Tafel schrieb. Dieses Gefühl konnte er jedoch später auch nicht weiter präzisieren als durch den Hinweis, das richtige (sic!) Ergebnis sei ihm etwas zu früh gekommen.

Auf Seiten der SchülerInnen, so muß man wohl folgern, wurde der Unterricht einmal mehr als für sie undurchschaubar erfahren, obwohl sie auch nicht recht wußten, worin diese Undurchschaubarkeit lag. "Mal sollen wir genau beobachten, mal nicht so genau", äußerte ein Schüler in einem anschließenden Auswertungsgespräch.

Physik macht selbst Altbekanntes zu einer neuen Realität

Wenn Erkennen zur Kunst wird.

Die SchülerInnen erwarten normalerweise, daß Physik die Natur so zu beschreiben habe, wie sie an und für sich ist. Ein künstlicher Eingriff wird als Mogelei empfunden, insbesondere dann, wenn der damit verbundene technische Aufwand dominiert. Dann erleben sie, daß die Wirklichkeit der Physik nach Maßgabe einer wie auch immer vorgefaßten Meinung (Theorie) konstruiert (Experiment) wird. (Auf diesen konstruktivistischen Aspekt wird in jüngster Zeit in zahlreichen Veröffentlichungen eingegangen. Genannt seien hier /19/, /20/).

Dieses Problem soll an einem Beispiel illustriert werden: In einer sehr gut vorbereiteten Lehrprobe hatte der Unterrichtende eine Vakuumapparatur besorgt, um zu demonstrieren, daß im luftleeren Raum einer evakuierten Glasröhre verschiedene Körper gleich schnell fallen.

Die SchülerInnen konnten zunächst den aufwendigen Vorgang miterleben, durch den die Röhre unter glucksenden und zischenden Geräuschen leergepumpt wurde, um dann an dem auch - oder besser: vor allem - für den eingeweihten Betrachter faszinierenden Schauspiel teilzuhaben, bei dem die Flaumfeder und die Papierschnitzel genauso schnell die Röhre hinunterfallen wie das Stück Holz und das Stück Blei (Bild 5).

Merkwürdigerweise erschienen einige SchülerInnen weniger beeindruckt, als man aufgrund des nicht alltäglichen Vorgangs hätte erwarten können. Durch Nachfragen des Lehrers brachte eine Schülerin das virulente Unbehagen auf den Punkt. Warum - so sinngemäß ihre Äußerung - sollte sie sich darüber wundern. Daß man mit Hilfe von Technik alles erreichen könne, sei doch klar. Man hätte ebenso gut die Gegenstände mit der Hand herunterdrücken können (sie machte eine entsprechende Handbewegung), dann wären sie auch alle gemeinsam unten angekommen.

Aus der lebensweltlichen Perspektive der SchülerInnen besagt das Experiment mit der evakuierten Röhre nur, daß man verschiedene Körper zwingen bzw. dazu bringen kann, gleich schnell zu fallen. Das empfinden sie nicht als besonders bemerkenswert. Das Experiment erscheint ihnen zwar im Sinne der Auflockerung des Unterrichts interessant. Es verfehlt aber die intendierte Wirkung zu beweisen, daß alle Körper "in Wirklichkeit" gleich schnell fallen. Eine "luftleere" Wirklichkeit ist aber nicht die Wirklichkeit, sondern etwas Hergestelltes, Konstruiertes (siehe oben).

Den SchülerInnen muß klar werden: Physikalische Ordnungen bzw. Gesetze werden weder in der Welt vorgefunden noch von den Forschern spontan gesetzt. Sie sind vielmehr das Ergebnis der Herstellung von Ordnung: Die forschenden PhysikerInnen legen sich aufgrund theoretischer Ideen,

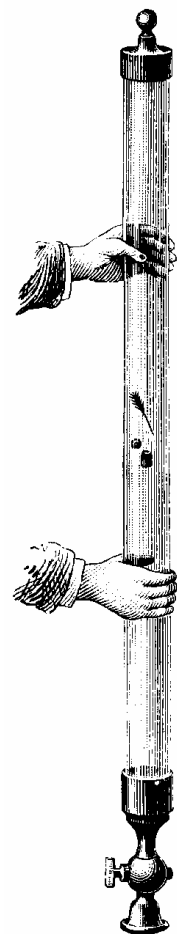


Bild 5: Alle Körper fallen gleich schnell.

allgemein akzeptierter Normen und einer ausgefeilten experimentellen Praxis die Sachverhalte so zurecht, daß sie am verständlichsten, einfachsten, überschaubarsten und plausibelsten erscheinen. Dabei fließen stillschweigende Voraussetzungen (implizites Wissen) /21/, Vorurteile, ästhetische und andere Anschauungen ein und reflektieren implizit das herrschende physikalische Paradigma, auch wenn es durch eben diese Ordnungsbemühungen überwunden werden /17/.

Dadurch daß die physikalischen Ordnungen wenigstens im Prinzip materiell realisierbar sein müssen, erscheinen - anders als in der den SchülerInnen vertrauten lebensweltlichen Praxis - physikalisches Erkennen und Technik untrennbar ineinander verwoben. Die SchülerInnen müssen erfahren, daß im Rahmen der Physik Erkennen zur Kunst wird /22/.

Die Realität wird konstruiert

Diese Kunst kennen alle PhysiklehrerInnen, die vielfach unter erheblichem zeitlichen Aufwand und großem Geschick am Nachmittag des Vortages ein Experiment aufbauen und das dann vielleicht - zur Schadenfreude der SchülerInnen - dennoch „mißlingt“.

Was heißt hier mißlingen? Wenn man nach der weit verbreiteten Auffassung geht, wonach ein Experiment "nur eine Frage an die Natur darstellt, (und) die Natur stets so zeigt, wie sie ist" /23/, kann es insofern nicht mißlingen, als der Ausgang für oder gegen die Theorie spricht, sie bestätigt oder widerlegt: "Fällt das Experiment anders aus, als wir uns vorher gedacht haben, dann müssen wir unsere Vorstellungen ändern und dem Ergebnis des Experimentes anpassen...oder durch eine ganz andere ersetzen" /24/. Wir wissen, daß die Praxis anders ist. Wenn ein Experiment die Theorie bzw. die Vorstellungen, die im Unterricht über einen Sachverhalt entwickelt worden sind, der hier im Experiment auf den Prüfstand gestellt wird, nicht bestätigt, dann erleben die SchülerInnen den Lehrer oder die Lehrerin nicht nach einer neuen Theorie, sondern nach Ausreden suchend. „Die hohe Luftfeuchtigkeit ist schuld“, war in meiner Schulzeit das geflügelte Wort angesichts eines misslungenen physikalischen Experiments. Genau das macht den Vorgang in den Augen der SchülerInnen so unglaublich und stellt das physikalische Vorgehen, das hier demonstriert werden soll, auf den Kopf. Wenn man schon die Metapher der Frage an die Natur bemüht, so müßte deutlich gemacht werden, daß das Experiment "von einer mathematischen Theorie geleitet ist, die eine Frage stellt und fähig ist, die Antwort zu deuten" /25/. Im übrigen gilt Goethes Wort: "Eine falsche Lehre läßt sich nicht widerlegen, denn sie ruht ja auf der Überzeugung, daß das Falsche wahr sei. Aber das Gegenteil kann, darf und muß man wiederholt aussprechen".

Die SchülerInnen sollten angesichts des Aufbaus eines Experiments erkennen, wie genau man bereits wissen muß, was man durch das Experiment zeigen will, und welcher Aufwand damit verbunden ist, es auszuführen. Statt die Aktivitäten der SchülerInnen auf die Auswertung der Beobachtungen nach dem bekannten Schema zu beschränken - was meist ohnehin auf das Auffinden einer Proportionalität oder quadratischen Abhängigkeit hinausläuft - sollte man sie bei der Planung und Durchführung des Experiments beteiligen. Ganz abgesehen davon, daß sie dann für ein Mißlingen mitverantwortlich sind, erfahren sie aus eigener Anschauung, daß physikalische Erkenntnisse gewissermaßen konstruiert werden. Ihnen wird außerdem klar, daß nicht nur die Technik von der physikalischen Erkenntnis abhängt, sondern auch umgekehrt die physikalische Erkenntnis von den technischen Möglichkeiten bestimmt ist, sowie ihren Gegenstandsbereich und ihre Mittel von der Technik zugewiesen bekommt. Wichtig ist, daß die Eingriffe des Menschen nicht nur nicht im Sinne einer idealistischen Weltauffassung verschleiert oder als störend angesehen, sondern als konstitutiv für das physikalische Erkennen erfahren werden. Dies kann der Ausgangspunkt für die Erfahrung der SchülerInnen dienen, daß sich Physik nicht auf etwas von einer gegebenen unveränderlichen Seinsordnung Vorgegebenes bezieht, sondern ein "menschliches Geschäft" darstellt mit allen seinen positiven und negativen Folgen, wie sie sich in der fortschreitende Technisierung unserer Welt offenbaren.

Diese Sehweise läßt das naive Verständnis der Wirklichkeit natürlich nicht unberührt. Ist real, was man sieht oder das, was sich konstruieren läßt, oder beides? Ohne diesen Punkt hier weiter zu vertiefen, dürfte nach den obigen Ausführungen eines klar geworden sein: Die Wirklichkeit, wie sie sich aus physikalischer Sicht darstellt, ist nicht die Wirklichkeit oder die Natur an und für sich, "sondern das Resultat einer Interaktion oder eines Austausches zwischen zwei recht ungleichen Partnern, winzigen Männern und Frauen auf der einen Seite und einem majestätischen Gebilde auf der anderen" /22/.

Verstehen setzt voraus, zwischen Sehweisen wechseln zu können.

Zwischen Lebenswelt und Physik

Solange man die Dinge rein lebensweltlich betrachtet, erscheint alles Gesehene immer schon benannt und in einem Sinne begriffen, und es gibt mehr Antworten als Fragen. Es findet sich eine Antwort auf alles. Deshalb kann der Common Sense seinen ersten Empirismus nicht verlassen und sich nicht weiterentwickeln. Er „hat immer mehr Antworten als Fragen. (Er)... hat eine Antwort auf alles" /26/. Keine dieser lebensweltlichen Anschauungen kann eine Technik anleiten. Außer in manchen Klassenräumen unserer Schulen ist es daher unmöglich, von rein lebensweltlichen Betrachtungen zu physikalischen Konzepten aufzusteigen, so als trügen die Dinge ihre physikalische Struktur gewissermaßen ablesbar an sich und würden sich einem jeden von selbst offenbaren, wenn er nur genau genug hinsähe. Jemand, der gut fangen kann, nimmt deshalb nicht schon eine physikalische Position ein, derart, daß er - wenn auch unbewußt - die Bewegungsgleichung des fliegenden Balls integriert. Auch die häufig zu lesende Darstellung, die Natur würde sich nach den Gesetzen der Physik verhalten, stellt die Dinge auf den Kopf. Erst unser physikalischer Blick macht aus natürlichen Phänomenen physikalische Vorgänge und projiziert dies vom erfindenden Menschen auf die Natur und macht den Menschen zum bloßen Entdecker der in der Natur verdeckt daliegenden Naturgesetze. Die physikalische Betrachtung und Beschreibung der Welt gelingt demgegenüber nur am Gängelband eines streng methodischen Vorgehens. Es wird ein Abstandnehmen von den Dingen vorausgesetzt, eine definierte Perspektive eingenommen. Erst die Distanz erlaubt es, das, was man beschreibt, auch anders zu denken, als es in der Beschreibung dargestellt ist, und es damit aus seinem Sosein zu lösen. Wenn man die Wirklichkeit (z.B. die Tatsache, daß etwas fällt, wenn man es los läßt [Gravitation]) auch nicht immer verändern kann, weil man nicht die Macht hat, eine bestehende Regularität (Gravitation) zu beeinflussen, so kann man doch in dem Moment, in dem eine Beschreibung der Regularität vorliegt, diese Beschreibung variieren und sich auf diese Weise Alternativen dazu ausmalen. Man kann sich z.B. fragen, wie sich der Stein verhielte, wenn die Gravitation vermindert oder gar „abgeschaltet" würde, oder was passierte, wenn die Brechung des Lichtes durch die Luft wesentlich stärker wäre.

Die durch die Beschreibung einer Regularität geschaffene Distanz ist eine Bedingung dafür, sie sich anders bzw. geändert vorzustellen und an Alternativen zu denken, auch wenn durch die Regularität nicht automatisch der Wunsch geschweige denn die Fähigkeit dazu hervorgebracht wird. „Derjenige, der jeden Morgen zuerst den linken und dann den rechten Schuh anzieht, ohne es zu wissen, ohne eine Beschreibung dieser Regularität zu haben, hat auch keine Möglichkeit, anders zu handeln, als es sich aus dieser Gewohnheit ergibt. Erst wenn ihm in einer Beschreibung dieser Regularität die Distanz gegeben ist, sich vorzustellen, daß er so oder auch anders die Schuhe anziehen könnte, besteht für ihn tatsächlich die Möglichkeit, es anders zu tun. /27/ Im Unterschied zum Common Sense, der von einer vorgegebenen Ordnung der Sichtbarkeit der Welt ausgeht, muß Physik als das Ergebnis der Herstellung von Ordnung im Sinne einer aktiven Erschließung differenter, abweichender Ordnungen der Sichtbarkeit angesehen werden. Das heißt aber, daß im physikalischen Blick das eigene Tun mitreflektiert werden muß. Für den tätigen Forscher mag das anders aussehen. Er lebt zumindest während des Forschens in der Welt der Physik. Die bewußte Kontrolle seines eigenen Tuns würde ihn eher befangen machen und in seinen forschersischen Fähigkeiten einschränken.

Physik ist daher nicht bloß eine besonders elaborierte Form des Common Sense. Keiner, der die Welt nur genau genug beobachtet, gelangt dadurch zu einer physikalischen Sehweise. Das gilt auch für die Unterrichtspraxis. Deshalb sollte die Selbsttätigkeit der SchülerInnen nicht dadurch in Anspruch genommen werden, auf der Grundlage ihres lebensweltlichen Vorverständnisses physikalische Zusammenhänge und Gesetze aufzufinden. Ein derartiger Versuch der Einebnung der Differenz zwischen Physik und Common Sense gelingt nur scheinbar, weil die LehrerInnen aus ihrer physikalischen Sicht der Dinge die Unterrichtsaktivität bestimmen. Es besteht die Gefahr, daß bei den SchülerInnen, die nicht wissen, „wohin die Reise geht", das Gefühl eines umfassenden Unverständnisses und schließlich die Ablehnung der Physik hervorgerufen wird. Um den SchülerInnen die physikalische Sehweise als solche nahezubringen und die Bereitschaft hervorzurufen, sich darauf einzulassen, sollte im Physikunterricht nicht suggeriert oder sogar ausdrücklich behauptet werden, die Dinge seien so (physikalisch) und nicht anders zu sehen, sondern sie sollten ermuntert werden, sich zunächst vorläufig auf den physikalischen Blick einzulassen: „Sieh es so an! - und das kann nun verschiedenerlei Vorteile und Folgen haben" /28/. Um den Dingen physikalisch, d.h. aus einer ihnen unvertrauten Perspektive nachzugehen, müssen sie zumindest für die Zeitdauer der Erarbeitung eines physikalischen Ergebnisses diese Sehweise fraglos anerkennen und den unhinterfragten und bis dahin unhinterfragbaren lebensweltlichen Rahmen, den Common Sense, suspendieren. Das kann nur allmählich gelingen, es muß eingeübt werden /29/ und kann auch nicht unabhängig von den Themen gesehen werden. Den SchülerInnen muß auf diese Weise klarwerden, daß die Physik keine besonders elaborierte Form des Common Sense ist, sondern gerade im Kontrast zu ihm entsteht, die Differenz zwischen beiden Sehweisen grundsätzlich nicht eingezogen werden kann. Wesentlich ist aber auch die Erkenntnis, daß die lebensweltliche Perspektive beim verständnisvollen Erlernen von Physik nicht überflüssig wird. Im Gegenteil,

erst im Blick auf den Common Sense kontrolliert sich das physikalische Erkennen, erst in der Alltagssprache kann über Physik als eine besondere Weise der Erkenntnisgewinnung gesprochen werden/30/,/31/.



Bild 6: Wie Bierdeckel verstreut beobachtet man unter dem Blätterdach von Bäumen Lochkameraaufnahmen der Sonne – Sonnentaler.

Die naiverweise als eng vorausgesetzten Beziehungen zwischen Common Sense und Physik, die Kontinuität beim Übergang vom Common Sense zur physikalischen Praxis wird durch eine Art Kontinuität der Bilder und Wörter vorgetäuscht, die hier und dort zur Anwendung kommen. Die lebensweltlichen Vorstellungen von sagen wir - Kraft, Geschwindigkeit, Masse, Wärme... erweisen sich merkwürdig resistent gegen Bemühungen des Unterrichts, im Sinne der Physik modifiziert zu werden. Die Wahrnehmung von Sonnentälern (Bild 6) unter Laubbäumen /32/, von geschleuderten oder geworfenen Gegenständen, des eigenen Schwitzens angesichts körperlicher Anstrengungen bleiben zunächst selbstverständliche Äußerungen der vertrauten Lebenswelt. Das heißt: Die Sonnentäler werden nicht ohne weiteres als Lochkamerabilder der Sonne, der geschleuderte Gegenstand nicht als träge und beschleunigt, das Schwitzen nicht als Ausdruck

von Energieumwandlungen angesehen. Vielmehr wird es nicht selten von SchülerInnen als langweilig und als Zumutung empfunden, dem Selbstverständlichen, dem bereits Geklärten, besondere Aufmerksamkeit zu widmen. So äußern sich in der Praxis stehende LehrerInnen immer wieder skeptisch über den Erfolg, im Unterricht Alltagsgegenstände zu behandeln.

Erst wenn sich die SchülerInnen darauf einlassen, die vertrauten Konzepte und Bilder bewußt in die Perspektive der physikalischen Theorien (physikalische Sehweise) zu versetzen, kann als selbstverständlich angesehenes (oder bloß auswendig gelerntes) Wissen plötzlich umschlagen und einen neuen, bislang nicht erfahrenen Aspekt hervorbringen. Es kommt zu einer echten Erweiterung des Horizonts. Darin ist aber wiederum eine Voraussetzung dafür zu sehen, daß Physik als interessant und spannend empfunden werden kann: „Wenn wir nicht einfach wiedererkennen, werden wir zu ausdrücklicher und selbstreflektierter Wahrnehmung veranlaßt. Schlagartig verwandelt sich Altbekanntes zum Unvertrauten, wird Realität in gesteigerter Weise sichtbar. Staunend öffnen wir die Augen, sind an jenen Auslösepunkt der Einsicht gelangt" /33/, an dem der Wunsch „zu verstehen" immer wieder beginnt.

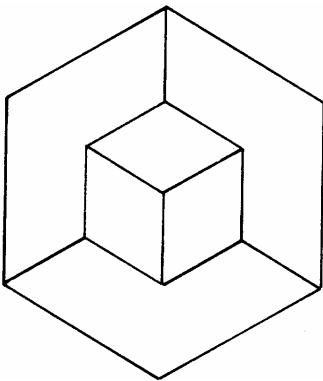


Bild 7: Es ist unmöglich, alle räumlichen Sehweisen dieses Gebildes gleichzeitig einzunehmen.

Eine typische lebensweltliche Selbstverständlichkeit ist die lebensweltlich geklärte Anordnung der Welt in „Oben" und „Unten", sowie die damit verbundene Erfahrung des Fallens, Werfens usw. Sie wird physikalisch in Form des Konzeptes der Schwerkraft aufgebrochen und damit hinterfragbar. Gerade an diesem Beispiel kann man immer wieder beobachten, daß die SchülerInnen nicht selten in die Situation geraten, nicht mehr zu wissen, was sie sehen. Auf diese Weise wird „das Problem der Schöpfung etwas merkwürdig Intermittierendes. Plötzlich wird das ‚Natürliche‘, das Gewohnheitsmäßige, als fremd wahrgenommen. Man dachte bisher nicht daran, daß der hochgeworfene Stein nicht wieder herunterfallen könnte, und plötzlich denkt man, daß er oben bleiben könnte" /34/.

Hier zeigt sich, daß physikalisches Verstehen keine konkret definierbare und arrangierbare Angelegenheit ist, sondern ein vielschichtiges, schwer faßbares Phänomen, das bei der Wahrnehmung von Wirklichkeit eine wesentliche Rolle spielt. Es ist darauf angewiesen, einen in Frage stehenden physikalischen Sachverhalt immer wieder aus verschiedenen Perspektiven in den Blick zu nehmen. Ohne einen Wechsel der Sehweise können die „auf der Straße liegenden" Selbstverständlichkeiten der Lebenswelt nicht als Problem gesehen werden, weil sie zum blinden Fleck der lebensweltlichen Optik gehören und mit dem Beobachtungsstandpunkt zusammenfallen.

Im Unterricht wird oft davon ausgegangen, daß lebensweltliche Erfahrungen schon deshalb einfach und marginal sind, weil sie selbstverständlich sind. Wenn sie jedoch nicht aus einer anderen (hier physikalischen) Perspektive wahrgenommen werden, stellen Selbstverständlichkeiten aber buchstäblich Allerweltsphänomene dar. Welcher Lehrer hat es nicht schon selbst erlebt, daß, angesichts einer vermeintlich präzisen physikalischen Frage

wie: Warum fällt das Stück Kreide, wenn ich es loslasse? entweder Interesselosigkeit zum Ausdruck gebracht wurde oder der Unterricht in eine Diskussion über Gott und die Welt abglitt.

Für das Verstehen von Physik sind also beide Sehweisen, und das heißt vor allem der Wechsel zwischen den Sehweisen, von Bedeutung, denn sie können nicht beide auf einmal eingenommen werden (Bild 7): „Es gibt kein Auge, das gleichzeitig das Gesicht und das Profil eines Menschen zu sehen vermag, in einem“ /34/. Ein wesentliches Ziel des Unterrichts besteht daher darin, die Sehweisenabhängigkeit des Erkennens bewusst zu machen. Auch in dieser Hinsicht muß im Physikunterricht viel mehr über Physik gesprochen werden, als es normalerweise der Fall ist, ein Punkt, auf den Walter Jung und Martin Wagenschein wiederholt hingewiesen haben.

Physik im lebensweltlichen Kontext

Verständnisvolles Physiklernen ist so gesehen von vornherein verknüpft mit der Lebenswelt der SchülerInnen. Allerdings betrifft dieser Bezug in der Regel isolierte Aspekte, wie beispielsweise die physikalische Beschreibung des freien Falls vor dem Hintergrund lebensweltlicher Vorgänge, die letztlich darunter subsumiert werden sollen. Hinzu kommt, daß die Auswahl in der Regel von der Zielsetzung der physikalischen Begriffsbildung vorgegeben wird und nicht notwendig den Interessen der SchülerInnen entspringt. Wenn wir im folgenden dafür plädieren, dem Physiklernen im lebensweltlichen Kontext größere Aufmerksamkeit zu widmen und im Unterricht mehr Zeit einzuräumen, dann meinen wir dies im umfassenderen Sinne, Gegenstandsbereiche des Alltags zum Ausgangs- und Endpunkt des Physikunterrichts zu machen.

Dabei geht es einerseits um solche Bereiche, zu denen die SchülerInnen eine unmittelbare Beziehung besitzen, weil sie ihre Freizeitaktivitäten berühren oder in anderer Hinsicht für sie interessant erscheinen, wie zum Beispiel:

- Physik sportlicher Freizeitaktivitäten,
- Physik im Urlaub (z.B. Strand, Gebirge),
- Physik des Jahrmarkts,
- Partyphysik,
- Physikalisches Spielzeug usw.

Andererseits geht es um Bereiche, die ihren thematischen Schwerpunkt nicht von der Fachdisziplin, sondern von den Phänomenen her erhalten, die hier zusammengefaßt werden, wie zum Beispiel:

- Physik des Menschen,
- Physik der natürlichen Umwelt,
- Naturphänomene (z.B. Wetter, Gewitter, atmosphärische Erscheinungen)
- Wachstum und Strukturbildung in der Natur
- Physik in der Küche,
- Physik in der Sauna,
- Physik und Kunst, usw.

Der zuerst genannte Bereich zeichnet sich dadurch aus, daß hier bereits von einer nicht physikalischen intrinsischen Anfangsmotivation ausgegangen werden kann: Aus der Sicht der SchülerInnen werden im Physikunterricht Themen behandelt, für die sie sich auch außerhalb der Schule interessieren. Sie werden zumindest von den Themen und Problemen persönlich angesprochen. Physik wird gewissermaßen in einem Sinn stiftenden Kontext erfahren und gelernt. Dieser Aspekt ist ausführlich von Heinz Muckenfuß behandelt worden und soll hier nicht weiter erörtert werden /7/. Wir wollen darüber hinaus insbesondere auf das Problem aufmerksam machen, daß der Physikunterricht auf Dauer die Besonderheiten der physikalischen Sehweise erarbeiten und insbesondere vermitteln muß, daß es sich lohnt, auch in der vertrauten Umwelt das so noch nicht Gesehene erfahrbar zu machen.

Dazu zwei Beispiele aus dem Unterricht:

- Aus lebensweltlicher Sicht war den SchülerInnen klar, daß ein Mensch in der Sauna ohne weiteres eine Zeitlang eine Temperatur von 100°C ertragen kann, während er in der Badewanne in Wasser von derselben Temperatur unweigerlich verbrühen würde. Die SchülerInnen hatten das Problem für sich so geklärt, daß sie

(aus ihrer lebensweltlichen Sicht) davon ausgingen, Temperatur sei für Flüssigkeiten und Gase etwas anderes. Erst als klar wurde, daß nicht die Temperatur, sondern die Energieströme zwischen Mensch und Umgebung entscheidend für Empfindung und Schädigung des körperlichen Gewebes seien, wurden zahlreiche andere Phänomene des Alltags (z.B. die Tatsache, daß sich Styropor „wärmer“ und ein Metallgegenstand „kälter“ anfühlt) zu Problemen, die vorher keine waren. Die SchülerInnen wurden sich auf diese Weise der Erschließungsmächtigkeit der physikalischen Sehweise bewußt.

- Den SchülerInnen wurden u.a. Fotos gezeigt, auf denen ein Lichtkreis mit einem Lichtkreuz auf einer Häuserwand zu sehen war (Bild 8). Zunächst wurde von ihnen gemutmaßt, es handele sich um kein



Bild 8: Wie kommen derartige, vielfach zu beobachtende Lichtkreuz in Lichtkreisen zustande?

„natürliches“, sondern um ein inszeniertes Phänomen. Als der Lehrer zum Beweis des Gegenteils behauptete, das Phänomen sei bei Sonnenschein relativ häufig zu sehen, und auch noch die (bekannte) Straße nannte, in der er die Aufnahme gemacht hatte, wurde die Skepsis eher noch größer. (Schüleräußerung: „Das hätte ich längst gesehen“). Als die SchülerInnen nach einiger Zeit das Phänomen selbst gesehen hatten, fiel es ihnen immer noch schwer zu akzeptieren, daß es auch früher schon dagewesen sei /35/.

- Die Beispiele zeigen, daß das Aufbrechen der lebensweltlichen Vertrautheit und die Einnahme einer physikalischen Perspektive zu überraschenden und interessanten Einsichten führen, die ihrerseits die Motivation für den Physikunterricht erhöhen können.

Die SchülerInnen müssen erfahren, daß es in der Physik nicht um die Fortführung der lebensweltlichen Wahrnehmung mit exakten Mitteln geht, sondern um Erkenntnisse, die außerhalb der Physik nicht zu erlangen sind. Darüber hinaus kann die physikalische Sehweise in vielen Fällen dazu beitragen, die Alltagswahrnehmung zu intensivieren und zu bereichern. Indem ansonsten kaum zugängliche Phänomene, Zusammenhänge, Einsichten in den Blick geraten, kommt es zu einer echten Horizonsweiterung.

Die Aussicht muß sich lohnen

Die obigen Ausführungen sollten eines deutlich gemacht haben: Was immer man unter physikalischer Erkenntnis versteht, sie besteht nicht in der Abbildung oder Repräsentation einer vom Erlebenden unabhängigen Welt. Nicht auf die Übereinstimmung (von physikalischem Wissen) mit einer vom Betrachtenden unabhängigen Wirklichkeit kommt es an, sondern auf den Dienst, den das Wissen uns leistet: Wissen heißt angemessen handeln können. Nur unter dieser Perspektive ist SchülerInnen zu vermitteln, daß es sich lohnt, die Welt (auch) physikalisch zu betrachten. Physik erlernen heißt also, in der Lage sein, die Welt aus einer besonderen, abstandnehmenden Perspektive zu betrachten. Um diese Perspektive einnehmen zu können, müssen die SchülerInnen zunächst die Bereitschaft aufbringen, gegen ihre lebensweltliche, selbstverständlich erscheinende Sehweise anzudenken und ein für sie zunächst unverstandenes physikalisches Handeln zu akzeptieren. Dazu sind philosophische, wissenschaftstheoretische und -historische Betrachtungen nötig. Das Unterrichtsgespräch gewinnt in dieser Phase eine große Bedeutung. Die Einübung in physikalisches Handeln ist ein weiterer wichtiger Aspekt auf dem Wege zur Physik: So wie es beispielsweise unmöglich ist, die Fähigkeit, Fahrrad zu fahren, aus bloßer Beobachtung oder Beschreibung des Fahrradfahrens zu erwerben, und unbedingt das eigene Üben und Trainieren voraussetzt, nähert man sich der physikalischen Sehweise nur durch Einüben in physikalisches Handeln (Beschreiben, Experimentieren, Fragen...) an /29/. Die Annahme der physikalischen Sehweise kommt daher fast einer Bekehrung gleich.

Die SchülerInnen erfahren die physikalische Beschreibung im Unterschied zum selbstvergessenen Erleben der Welt als einschränkende Betrachtung: Physik kann von einem einäugigen, farbenblinden Menschen betrieben werden. Die Physik reduziert einerseits die vielgestaltete, farbenprächtige, die Gefühle ansprechende Welt auf meßbare Zusammenhänge: Physikalisch ist eine Beethovensymphonie nur eine Luftdruckkurve (Einstein). Das ist das, was man üblicherweise Entzauberung der Welt durch die Physik nennt. Dieser physikalische Blick ist andererseits aber notwendig, um Phänomene hervorzuheben, die ohne Physik übersehen oder zumindest unverstanden und damit uninteressant bleiben müßten. Insbesondere ästhetisch ansprechende Phänomene, wie etwa das Spiel von Licht und Schatten unter Laubbäumen oder das kapriolenhafte Herunterfallen eines Blattes vom Baum, werden im Rahmen einer physikalischen Theorie auf eine Weise durchschaubar, daß die Konsequenzen zu staunenswerten Ergebnissen führen. Man könnte daher geradezu von einer Wiederverzauberung

durch die Physik sprechen. Anders als im technisch determinierten Alltag kommt im Lichte der Physik ein bemerkenswertes Phänomen nicht dadurch zustande, daß Technik alles kann, sondern umgekehrt, weil Technik nicht alles kann, da sie - wie man jetzt durchschaut - an naturgesetzliche Grenzen gebunden ist. Das physikalisch vermittelte Erstaunen ist nicht ein Gefühl, das uns anfällt angesichts eines Phänomens, sondern vielmehr das Ergebnis eines nicht selten anstrengenden Erarbeitungsprozesses. Wie man von anderen Aktivitäten der SchülerInnen (wie z.B. Bergsteigen, Leistungssport, Computer) weiß, schrecken sie im allgemeinen nicht vor Anstrengungen an sich zurück, sondern vor ziellosen Anstrengungen. Die Aussicht muß sich lohnen.

Literatur

- /1/ Born, G., Euler, M.: Physik in der Schule. Bild der Wissenschaft 15/2, 74 (1978)
- /2/ Hoffmann, L., Lehrke, M.: Eine Untersuchung über Schülerinteressen an Physik und Technik. Zeitschrift für Pädagogik 32, 189 (1986)
- /3/ Klein, A.: Ringen um die mathematisch naturwissenschaftliche Bildung.- Bonn, 1991
- /4/ Jung, W.: Über Schwierigkeiten, Physik zu lernen In: physica didactica 9(1982). S. 135
- /5/ Duit, R : Schülervorstellungen von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen In: Naturwissenschaften im Unterricht 16 (1993) 4. S.4
- /6/ Bruhn, J : Zur Schwierigkeit des Physikunterrichts - In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht. 36(1983)-S 321
- /7/ Muckenfuß, H.: Lernen im sinnstiftenden Kontext. Cornelsen. -Berlin, 1995
- /8/ Häußler, P. Frey, K., Hoffmann, L., Rost, J, Spada, H: Physikalische Bildung für heute und morgen. Ergebnisse einer curricularen Delphi-Studie (Beilage Naturwissenschaften im Unterricht). 12(1983)
- /9/ Häußler, P.: Eine Erhebung zu einer erwünschten physikalischen Bildung. In: Physica didactica 14 (1987)3 S.14; ders: Langzeitwirkungen von Physikunterricht - In: Physica didactica 14 (1987) 4. - S. 5
- /10/ Nolte- Fischer, G.: Bildung zum Laien. Zur Sozialisation des schulischen Fachunterrichts Weinheim, 1989
- /11/ Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 33 (1980) 8
- /12/ Redeker, B.: Zur Sache des Lernens. Am Beispiel des Physiklernens. - Westermann. Braunschweig, 1982
- /13/ Giel, K.: Operationelles Denken und sprachliches Verstehen.- ZfPäd. 7. Beiheft 1968. -S. 111-124
- /14/ Blumenberg, H.: Die Genesis der kopernikanischen Welt - Suhrkamp. - Frankfurt, 1981 S 784
- /15/ Kant, I.: Kritik der reinen Vernunft
- /16/ Schlichting, H. J.: Galilei und der physikalische Blick - In: Physik in der Schule 32 (1994) 4. S. 154
- /17/ Kuhn, T.S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Suhrkamp. Frankfurt, 1976
- /18/ Dieses und die folgenden Unterrichtsbeispiele stammen aus Unterrichtsprotokollen, die ich im Rahmen der unterrichtspraktischen Ausbildung von Studierenden gesammelt habe oder aus selbst erteiltem Unterricht an allgemeinbildenden Schulen.
- /19/ Watzlawick, P (Hrsg): Die erfundene Wirklichkeit - Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben. Beiträge zum Konstruktivismus. Piper. München, 1984
- /20/ Schmidt, S J.: Der Diskurs des radikaler Konstruktivismus. -Suhrkamp. Frankfurt. 1987; ders: Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus 2 – Suhrkamp. - Frankfurt, 1992
- /21/ Polanyi, M: Implizites Wissen Suhrkamp. - Frankfurt, 1985
- /22/ Feyerabend, P.: Natur als Werk der Kunst. Fiktiver Vortrag über die wachsende Bedeutung der Ästhetik. In: Lettre International. 25(1994), -S 40
- /23/ Bergmann, L, Schäfer, C.: Lehrbuch der Experimentalphysik. -de Gruyter. - Berlin, 1990 S VIII
- /24/ Kuhn, W: Physik, Bd. I Westermann.- Braunschweig. 1975
- /25/ Weizsäcker, C.F.V.: Zur Tragweite der Wissenschaft. Hirzel.- Stuttgart 1966 S 107
- /26/ Bachelard, G.: Epistemologie. Fischer. - Frankfurt, 1993 -S 57f.
- /27/ Hampe: Neue Hefte für Philosophie. - 32 (1992)33. S. 45f
- /28/ Wittgenstein, L: Bemerkungen über die Philosophie der Psychologie Suhrkamp. - Frankfurt S 159
- /29/ Schlichting, H J :Üben als Einüben - In: Praxis der Naturwissenschaften Physik-42(1993)1 S11
- /30/ Wagenschein, M: Naturwissenschaftliche Bildung und Sprachverlust In: Sprache - Brücke und Hindernis. Piper. - München. 1973

/31/ Heisenberg, W.: Physik und Philosophie. Stuttgart, 1978. S.194f

/32/ Schlichting, H. J.: Sonntaler- Abbilder der Sonne. - In: Praxis der Naturwissenschaften Physik. 43(1994) 4. S 19

/33/ Böhm, G.: Sehen. Hermeneutische Reflexionen - In: Intern Zeitschrift für Philosophie. -1(1992). -S. 54

/34/ Valery, P.: Cahiers 2. Fischer. Frankfurt, 1988. -S.50

/35/Schlichting, H. J., Nordmeier, V: Alltägliche Reflexionen. In: Physik in der Schule. 35 (1997) 3