

# 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<sup>1</sup>. Ich stelle mir die Schüler vor, wie sie angesichts dieser Aussage vor ihrem geistigen Auge ein Blatt langsam vom Baum zum Boden tokeln, 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 zehnmals 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



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.

Beschreibung einhergehende Unterstellung, im luftleeren Raum, in dem kein Leben existieren kann (Bild 1), dem man sich allenfalls mit technischem Aufwand (Vakuumpumpe oder Weltraumraketen) anzunähern vermag, gehe es gewissermaßen realer zu als in der luffterfüllten 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 unerschwelligen Vorbehalte auch unserer SchülerInnen zu verstehen. „Die leichte Taube, indem sie im freien Fluge die Luft teilt, deren Widerstand sie fühlt, könnte die Vor-

stellung 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 Verständnisproblemen zwischen den Anhängern verschiedener Sehweisen ab.

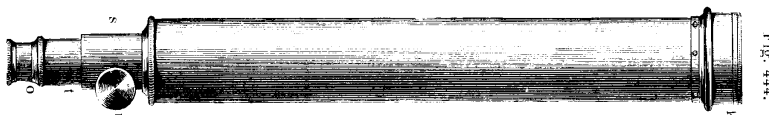


Bild 2: Das Fernrohr, ein „beidseitig verglastes Rohr“.

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 unbekanntten 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:

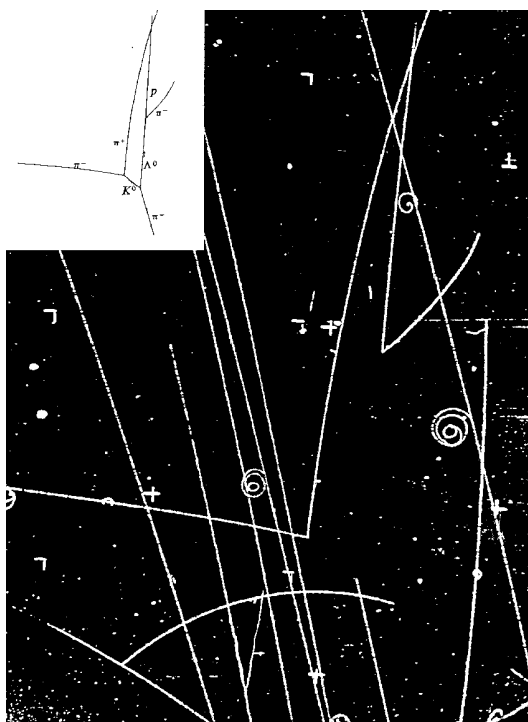


Bild 3: „Dort fliegt ein Lambda- Null- Teilchen.“

- 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 blicken, 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 Blasenkammeraufnahmen 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 "Sehschwierigkeiten" 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 präzisierte 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, 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 SchülerInnen - man möchte sagen - vorbildlich beantwortet. Er sagte nämlich: "Gase dehnen sich aus. Verschiedene Gase dehnen sich unterschiedlich stark aus". Dies Ergebnis erschien dem SchülerInnen der Erwartung zu entsprechen. Bei der Untersuchung verschiedenen Festkörpern in einer der vorausgehenden Stunden war ein entsprechendes Ergebnis festgestellt worden.

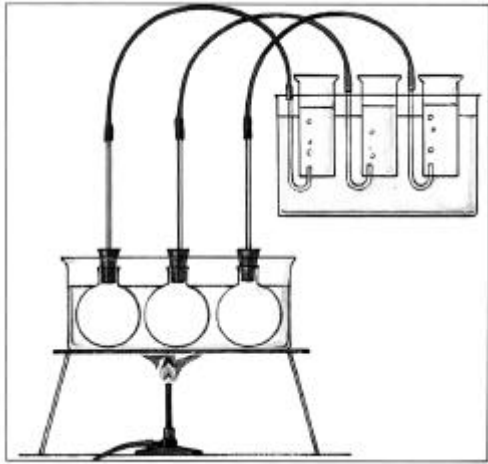


Bild 4: Versuch zur Bestimmung der Ausdehnung von Gasen.

schaubarkeit lag. "Mal sollen wir genau beobachten, mal nicht so genau", äußerte ein Schüler in einem anschließenden Auswertungsgespräch.

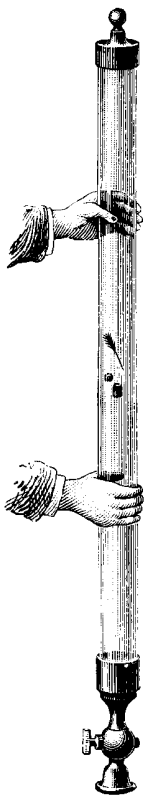
Der Unterrichtende wollte natürlich auf ein ganz anderes Ergebnis hinaus. Um dies zu erreichen, erinnerte er die SchülerInnen an ein Unterrichtsgespräch über Meßfehler. Dort hatte er am Beispiel einer gemessenen Zahlenfolge 1, 4, 9, 15, 25 illustriert, daß ein Physiker trotz der 15 auf ein Bildungsgesetz  $n^2$  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 Schüler, so muß man wohl folgern, wurde der Unterricht einmal mehr als für sie undurchschaubar erfahren, obwohl sie auch nicht recht wußten, worin diese Undurch-

## 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, so 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).

Merwürdigerweise 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).

Bild 5: Alle Körper fallen gleich schnell.

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, 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, der vielfach unter erheblichem zeitlichen Aufwand und großem Geschick am Nachmittag des Vortages ein Experiment aufbaut 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, daß der Lehrer nicht nach einer neuen Theorie, sondern nach Ausreden sucht. 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 Naturwürde 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 forscherschen 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. Des halb 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 Dif-

ferenz zwischen beiden Sehweisen grundsätzlich nicht einbezogen 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 Sonnentaler werden nicht ohne weiteres als Lochkameraabilder 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.

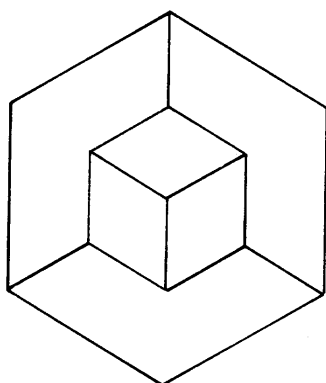


Bild 7: Es ist unmöglich, alle räumlichen Sehweisen dieses Gebildes gleichzeitig einzunehmen.

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 Interesslosigkeit 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,
- Physikalischer 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 1000 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

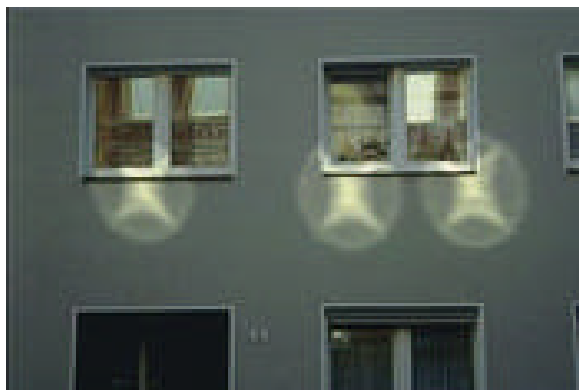


Bild 8: Wie kommen derartige, vielfach zu beobachtende Lichtkreuz in Lichtkreisen zustande?

„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 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 hervorzubringen, 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.

Bild 7 Es ist unmöglich, beide räumlichen Sehweisen dieses Gebildes gleichzeitig einzunehmen

- /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. 1 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(1984)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

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 weiterentwickeln. Keine dieser lebensweltlichen Anschauungen kann eine Technik anleiten [24]. 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 in sich und würden sich einem jeden von selbst offenbaren, wenn er nur genau genug hinsähe!

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 auch die Wirklichkeit (z.B. die Tatsache, daß etwas, das man losläßt, fällt (Gravitation)) 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 so Alternativen zu der bestehenden Regularität ausmalen (z.B. wie würde sich der Stein verhalten, wenn die Gravitation "ausgeschaltet" würde, was würde passieren, wenn die Brechung des Lichtes durch die Luft stärker wäre). Die durch die Beschreibung einer Regularität geschaffene Distanz ist eine Bedingung ihrer Veränderung, denn sie macht Alternativen denkbar. Sie führt allerdings nicht automatisch zu dem Wunsch, geschweige denn der Fähigkeit, an einer bestehenden Regularität etwas zu ändern. "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" [25].

Physikalisches Sehen muß gelernt und erworben werden (Einübung) im Sinne einer aktiven Erschließung differenter, abweichender Ordnungen der Sichtbarkeit. Dadurch gelingt es, aus der physikalischen Sehweise gestalterische Konsequenzen zu ziehen:

Indem die Physik über die bloße Beobachtung hinausgehend verändernd in die Welt eingreift, wird zwangsläufig die Lebenswelt betroffen; und man muß sich mit den Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen der Physik vertraut machen. Das heißt aber: Verständnisvolles Physiklernen setzt den bewußten Wechsel zwischen verschiedenen Sehweisen voraus.

Um den Schülern die physikalische Sehweise als solche nahezubringen und die Bereitschaft hervorzurufen, sich darauf einzulassen, darf der Physiklehrer nicht suggerieren oder sogar ausdrücklich behaupten, die Dinge seien so (physikalisch) und nicht anders zu sehen, sondern es sollte die Schüler ermuntern, sich auf den physi-

kalischen Blick einzulassen: "Sieh es so an! - und das kann nun verschiedenerlei Vorteile und Folgen haben" [26]. 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, der Common Sense suspendieren. Das kann nur allmählich gelingen und muß eingeübt werden [27]. Wesentlich ist aber, daß die Bereitschaft dazu aufgebaut wird. Das setzt u.a. voraus, daß die Schüler immer wieder darin bestätigt werden, daß es normal ist, wenn sie zunächst nicht "verstehen", was sie tun.

Den Schüler 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 einer besonderen Weise der Erkenntnisgewinnung gesprochen werden [28,29].

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 unter Laubbäumen [30], 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 (Bild 6), der geschleuderte Gegenstand nicht als träge und beschleunigt und das Schwitzen nicht als Ausdruck von Energieumwandlungen angesehen.

Erst wenn sich die Schüler auf einen Wechsel der Sehweisen einlassen, indem sie die Konzepte und Bilder bewußt in die Perspektive der physikalischen Theorien versetzen, kann verständnislos akzeptiertes oder bloß auswendig gelerntes Wissen plötzlich umschlagen und einen neuen bislang nicht erfahrenen Aspekt hervorbringen. Die übliche Verständnislosigkeit wird dann als Erweiterung des Horizonts begriffen, die wiederum eine Voraussetzung dafür darstellt, 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 jenem Auslösepunkt der Einsicht gelangt," [31] an dem der Wunsch "zu verstehen" immer wieder beginnt.

Selbstverständlichkeiten hinterfragen

Bei jungen Schüler kann das mit der Einführung der Schwerkraft beginnen, durch die eine handfeste Selbstverständlichkeit, nämlich die lebensweltlich geklärte Anordnung der Welt in "Oben" und "Unten", sowie den damit implizierten Vorgängen des Fallens, Werfens usw. aufgebrochen und damit hinterfragbar wird. Die Schüler geraten dadurch oft in die Situation, nicht mehr zu wissen, was sie sehen. Auf diese Weise wird "das Problem der Schöpfung etwas merkwürdig Intermitterendes. 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 obenbleiben könnte" [32].

Hier zeigt sich, daß physikalisches Verstehen keine konkret definierbare Angelegenheit ist, sondern ein vielschichtiges, kaum faßbares Phänomen, das bei der Erzeugung 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 Selbstverständlichkeiten deshalb einfach und marginal sind, weil sie selbstverständlich sind. Ohne sie aus einer anderen (hier physikalischen) Perspektive wahrzunehmen, stellen Selbstverständlichkeiten in aber buchstäblich Allerweltsphänomene dar, in denen es um nicht weniger als Gott und die Welt geht. Welcher Lehrer hat es nicht schon selbst erlebt, wie der Unterricht angesichts einer vermeintlich präzisen physikalischen Frage wie: Warum fällt das Stück Kreide nach unten? in tiefschürfende philosophische Fragen abgeglitten ist.

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

aufeinmal eingenommen werden: "Es gibt kein Auge, das gleichzeitig das Gesicht und das Profil eines Menschen zu sehen vermag, in einem." [32]. Ein wesentliches Ziel des Unterrichts muß daher in der Übung bestehen, zwischen den Sehweisen zu wechseln.

Ein wesentlicher Aspekt eines solchen Perspektivwechsels offenbart sich in der häufig von Schüler gestellten Frage, warum wir uns überhaupt mit diesem oder jenem Sachverhalt befassen sollten. Dieser strategische Zugang zu den physikalischen Gegenständen sollte neben dem ontologischen und methodischen Zugang, also der Frage nach dem was und dem wie, größere Berücksichtigung finden. Letzlich heißt

daß, man sollte im Physik sehr viel mehr über Physik reden, als es zur Zeit der Fall ist.

Anschauungen sind ein Ergebnis des Wechsels der Sehweise

Die sinnliche Anschauung ist unhintergebar

Anschauungen spielen in der Physik eine zwiespältige Rolle: Man kann einerseits nicht anders, sich angesichts physikalischer Zusammenhänge Anschauungen zu machen. Andererseits muß jede Anschauung scheitern, wenn sie als erschöpfende

Repräsentation des angeschauten Sachverhaltes genommen wird: Für Anschauungen gilt m.E. sinngemäß dasselbe wie für den Common Sense. Physikalisches Phänomen

und Anschauung sind (in der Regel) nicht aufeinander reduzierbar. Solange man aber eine Anschauung als das ansieht, was sie ist, nämlich eine spezielle Anschauung eines Gegenstandes im Sinne von Ansicht, die aus einer bestimmten Perspektive unter bestimmten Voraussetzungen gemacht wird, lassen sich derartige Probleme entschärfen. Indem man sich der Differenz bewußt bleibt, kann der Zugang und das

Verständnis physikalischer Phänomene durch absichtsvoll aktualisierte Anschauungen gefördert werden. Die Schüler müssen dann nicht mit einem schlechten Gewissen herumlaufen, wenn sie sich ein Atom anschaulich vorstellen.

Die Physik ist insofern von Anfang an mit dem Problem der Anschauung konfrontiert, als die Erfassung der Daten aus der Natur direkt oder heute fast nur noch indirekt über die auf Anschauung beruhende sinnliche Wahrnehmung erfolgt. „... In der Physikgeschichte beobachtet man schon bei den Griechen das paradox erscheinende Bemühen, die sinnliche Seite der Physik auszugrenzen. Dahinter steckt die Vorstellung, daß die mit den subjektiven Merkmalen menschlicher Wahrnehmungen versehenen Sinne unzuverlässig und irreführend sind und daher die objektive Erkenntnis zunichte machen könnten.

Ein berühmter - ich möchte hinzufügen: und berüchtigter - Versuch, die Sinne zu diskreditieren, um an ihre Stelle objektive physikalische Meßmethoden zu stellen, steht häufig am Beginn der Wärmelehre. Schüler werden veranlaßt, zunächst eine

Hand in heißes, die andere in kaltes und dann beide gleichzeitig in lauwarmes Wasser zu halten. Man möchte demonstrieren, daß sich die Sinne täuschen, ein Thermometer aber nicht.

Ich habe in diesem Zusammenhang eine Unterrichtsstunde vor Augen, bei der ein Schüler die Hände sehr lange im lauwarmen Wasser ließ und dann befriedigt sagte:

Ich empfinde das Wasser als lau. Die Mitschüler wollten das Ergebnis nicht gelten lassen und schrien unisono: "Das gilt nicht". Ich hätte am liebsten mitgeschrien. Der Schüler verteidigte sich damit, daß er nur das getan hätte, was man auch mit dem Thermometer machte: "Beim Fiebermessen muß man sogar fünf Minuten warten." Die Diskussion verlief so, daß der Schüler schließlich recht bekam, wohl auch deshalb, weil ich - stark verunsichert - weil ich nicht versucht habe, zu Gunsten der üblichen Auffassung einzugreifen.

Die physikalische Wahrheit ist mathematisch

Abgesehen von direkten Angriffen auf die sinnliche Wahrnehmung wird das Problem

der Anschauung in dem Maße virulent, wie die Phänomene, mit denen sich der Physikunterricht befaßt, "unsichtbar" werden. Die These Fontenelles, daß die Physik nur auf zwei Dingen beruhe, "darauf, daß man einen neugierigen Geist besitzt und schlechte Augen" [33], bringt das Bemühen der Physik zum Ausdruck, für unsere Sinne "Unsichtbares" durch Geräte und Vorstellungen (Begriffe und Theorien) in einem Sinne "sichtbar" zu machen. Dabei spielen Anschauungen eine wesentliche Rolle, auch wenn das, was da indirekt "angeschaut" wird, im ursprünglichen Sinne gar nicht anzuschauen ist.

So spricht man bekanntlich vom elektrischen Strom, obwohl man nichts fließen sieht. Dennoch erweist sich die Vorstellung des Fließens beim elektrischen Strom als äußerst erschließungsmächtig. Vergegenwärtigt man sich beispielsweise den elektrischen Widerstand ganz anschaulich als Engstelle, durch die der Strom fließen muß, so wird verständlich, daß in einem verzweigten Stromkreis der

Gesamtwiderstand kleiner ist als der kleinste Einzelwiderstand. Damit erfährt aber der mathematische Ausdruck

$$R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

eine anschauliche und verständliche Interpretation.

Das soll nicht heißen, daß die Interpretation bereits in der Formel enthalten ist. Weder knüpft die Formel direkt an die Welt an (Ludwig Wittgenstein):

"Wasser ist ungleich H<sub>2</sub>O" (Ivan Illich [34]),

noch gibt es von der Formel einen direkten Weg zum

Verständnis. Die zum Verständnis führende Interpretation wird vielmehr nahegelegt durch die experimentellen Erfahrungen mit den Phänomenen, die dann kürzelnhaft in der Formel niedergelegt werden können. Kurzum: Die Welt erschließt sich uns nicht aus der Formel, aber die Welt kann im Rahmen eines physikalischen Verständnisses in Formeln (Theorien) untergebracht werden. Andererseits sollte betont werden, daß mathematische Formeln, allgemeiner: Theorien, gewissermaßen den Rahmen dessen abstecken, was physikalisch zugänglich ist. Außerhalb dieses Bereiches gibt es physikalisch nichts zu finden, auch

wenn dies zuweilen versucht wird. Ein bekanntes Beispiel ist der Versuch, menschliche Gefühle und Empfindungen auf physiko-chemische Vorgänge zu reduzieren.

Das erinnert an das Verhalten des Hodscha in der folgenden kleinen Geschichte: "Einmal verließ der Hodscha sein Haus und begann auf der Straße nach etwas zu suchen. Seine Frau sah das und fragte ihn: "Was suchst du, Hodscha?" Er antwortete: "Ich habe meinen Ring verloren, jetzt suche ich ihn." Sie fragt weiter: "Wo hast du ihn verloren?" Der Hodscha antwortete: "Drinne im Haus habe ich ihn fallen lassen."

"Ja, aber, warum suchst du dann draußen?" "Drinne ist's finster und draußen licht. Wollte Allah, daß ich ihn nur schon wieder gefunden hätte!" [35].

Obwohl die Mathematik die Struktur des physikalischen Gegenstandsbereiches festlegt, kann man aber über die Gegenstände, so weit es eben möglich erscheint, anschaulich sprechen: Die Mathematik eines physikalischen Gegenstandes kann sich in einer qualitativen Idee manifestieren, ohne daß es zu einer wie auch immer gearteten Verwässerung des physikalischen Gehaltes kommen muß.

Anschauliche Darstellungen sind allerdings nicht kohärent und auch nicht immer eindeutig durchführbar. Man spricht daher auch von Modellvorstellungen. Vor dem Hintergrund der Sehweisenabhängigkeit muß dies nicht verwundern. Denn eine

kohärente, eindeutige Repräsentation des Unsichtbaren würde bedeuten, daß dieses abbildbar wäre auf das Sichtbare und somit nichts Neues offenbarte.

Anschaulich heißt nicht lebensweltlich

Etwas veranschaulichen muß nicht bedeuten, es in ein konkret wahrnehmbares (lebensweltliches Ding zu verwandeln). Ein solcher Anspruch macht es unmöglich, physikalische Gegenstände zu veranschaulichen. Beschränkt man sich auf eine perspektivische oder kontextuelle Anschauung, so gelingt es, auch von den abstraktesten Gegenständen an anschauliche Ansichten zu erhalten.

Unter perspektivisch verstehe ich, daß der physikalische Gegenstand aus einem bestimmten Blickwinkel heraus ein bestimmtes "Aussehen" hat, aus einer anderen möglicherweise aber ein ganz anderes, so daß allgemein nicht gesagt werden kann, wie der Gegenstand als solcher aussieht. Der Wellen- und der Teilchenaspekt quantenmechanischer Objekte sind Ansichten, die aus der jeweiligen Perspektive heraus anschaulich sind.

Kontexturale Anschaulichkeit kann erreicht werden, wenn man mit physikalischen Objekten in speziellen anschaulich zugänglichen Kontexten umgeht und auf diese Weise eine Anschauung gewinnt. Dies beispielsweise der Fall, wenn man Energieumwandlungen am eigenen Körper erfährt und schließlich mit einem Energiefluß von 75 W ein bestimmtes Gefühl verbindet (körpereigener Maßstab physikalischer Konzepte).

In vielen Fällen lassen sich anschauliche lebensweltliche Vorstellungen zur

Veranschaulichung physikalischer Konzepte heranziehen. Dies bedeutet jedoch nicht, daß hier die lebensweltliche und physikalische Perspektive zusammenfallen. Es handelt sich lediglich um eine anschauliche Rekonstruktion eines physikalisch gewonnenen Konzepts. Das soll am Beispiel des Auftriebs erläutert werden:

Die normalerweise nicht hinterfragte Selbstverständlichkeit, mit der ein unter das Wasser gedrückter Ball, unter Wasser ausgeatmete Luft, der Rauch einer Zigarrette nach oben steigen, wird physikalisch zum Phänomen des Auftriebs. Der Auftrieb wird dabei häufig als eine der Schwerkraft entgegengesetzte Kraft angesehen die durch das Archimedische Prinzip erfaßt wird. "Hier zeigt sich das spezifische Gewicht als Leichtigkeit" (Adolf Muschg). Eine solche Konzeptualisierung ist lerntheoretisch problematisch. Sie birgt einerseits die Gefahr, daß es zu Interferenzen zwischen der Schwere der unter dem Einfluß des Auftriebs aufsteigenden Gegenstände kommt.

Schüler lösen dieses Problem für sich häufig dadurch, daß sie einem Ball, von dem sie natürlich wissen, daß er "normalerweise", d.h. in Gegenwart der Luft, der Schwerkraft unterliegt, ein Ausnahmeverhalten in Anwesenheit von Wasser zuschreiben. Auftriebsphänomene in der Luft werden meist ganz anders Konzeptualisiert. Das zeigt das Erstaunen der Schüler, wenn sie erfahren, daß auch das Helium im aufsteigenden Luftballon ein Gewicht besitzt. Andererseits ist es unökonomisch und im Sinne eines physikalischen Verstehens kontraproduktiv, von zwei verschiedenen Kräften

auszugehen. Aus diesem Grund ist es vorteilhafter, den Auftrieb als das Ergebnis eines "Wettstreits" aufzufassen, der durch die aufgrund unterschiedlicher Dichten unterschiedliche Stärke der Schwerkraft zustandekommt. Dem Ball bleibt deshalb nichts anderes übrig als trotz seiner Schwere nach oben zu gehen, weil das Wasser sehr viel stärker von der Erde angezogen wird. Mit anderen Worten: Die Schwerkraft kann auch Bewegungen entgegen der Richtung zum Erdmittelpunkt bewirken. Dies ist aber nichts besonderes. Von zwei unterschiedlich starken Schülern, die an den beiden Enden eines Seils, das an einer Umlenkrolle an der Wand angebracht ist, in dieselbe

Richtung ziehen, wird sich der schwächere trotz Aufbietung "aller Kraft" entgegen der Krafrichtung zur Wand hin bewegen.

Diese Darstellung könnte so aufgefaßt werden, daß der physikalische Vorgang eine einfache lebensweltliche Erklärung erfährt. Dabei wird jedoch verkannt, daß diese Darstellung erst eine anschauliche Interpretation des durch physikalische Argumentation gewonnenen Archimedischen Prinzips darstellt. Lebensweltliches

Denken ist vielmehr situativ gebunden. Ein im Wasser aufsteigender Ball wird gar nicht im Kontrast zu einem außerhalb des Wassers herunterfallenden Ball gesehen. Daher kann auch keine entsprechende Fragestellung resultieren, die in einem physikalischem Prinzip einmünden könnte. Veranschaulichen heißt zwar vielfach mit lebensweltlich vertrauten Vorstellungen zu operieren. Umgekehrt geht der veranschaulichte Sachverhalt aber erst aus einem physikalischen Phänomen hervor. Auch wenn für ältere Schüler und Studenten die Grenzen zwischen Lebenswelt und Physik bei solchen Phänomenen zu verschwimmen scheinen, ist es wichtig, auf den Unterschied aufmerksam zu machen, um das Wesen des physikalischen Zugangs auch hier zu erkennen.

"Alles sollte so einfach wie möglich gemacht werden, aber nicht einfacher"<sup>1</sup>

Veranschaulichungen, qualitative Beschreibungen und Abschätzungen sollten nicht mit Popularisierungen im Sinne eines terrible simplificateur gleichgesetzt und damit mißverstanden werden, die auf uns und schlimmer noch auf die Schüler seitens der Massenmedien und anderer Publikationen einströmen. Die Popularisierungen "geben sich dazu her, daß die Neugier der Leute im Hinblick auf die Wunder der Wissenschaft angestachelt wird, ohne daß sie etwas von der wirklich harten Arbeit

leisten müssen, die nötig ist, um zu begreifen, worum es in der Wissenschaft geht" [36]. Gegenüber Schülern, die ihr "Wissen" beispielsweise aus dem Fernsehen haben, muß man zeigen, wie brüchig das Fundament dieses



Wissens ist. "Der Lehrer muß sie

intellektuell anspruchsvoll machen, sie mit den Instrumenten ausstatten, die sie in die Lage versetzen, gegenüber der überwältigenden Autorität des Mediums (Fernsehen,

Buch) auf kritische Distanz zu bleiben, Mängel und Fragwürdigkeiten aufzudecken, Fragen zu stellen" [37].

Ohne die Herausarbeitung der grundlegenden physikalischen Ideen vor dem Hintergrund der speziellen physikalischen Sehweise lassen sich popularisierende Darstellungen von Märchen nicht unterscheiden. Die dargestellten physikalischen Erkenntnisse können vielfach nicht anders als technische Zaubereien verstanden werden, in denen Worte nicht durch nachvollziehbare Bedeutungen sondern allenfalls durch ihren bedeutungsvollen Klang auf die Adressaten wirkt, ein Effekt, den Lewis Carroll seiner Alice erkennen läßt: "Alice had no idea what Latitude was, or Longitude either, but thought they were nice grand words to say." [38]

Physik und Magie rücken in gefährliche Nähe, wodurch gerade die "aufklärerische" Potenz der Physik zunichte gemacht wird. Ganz abgesehen davon, daß - wie Wagenschein es bereits betont - Einstellungen wie Wissenschaftsgläubigkeit und - feinlichkeit geradezu herbeigeführt werden. Ludwig Wittgenstein nennt daher die

popularisierende Physik eine Art Götzenverehrung bei der der Götze die Wissenschaft oder der Wissenschaftler sei. Eine Wissenschaftsgläubigkeit wird zum Aberglauben, denn sie tut so, als gäbe es Mittel, das, was uns geheimnisvoll erscheint, durch eine Theorie weniger geheimnisvoll zu machen, so als wären die kausalen Beziehungen z.

B. etwas, was wir in der Realität vorfinden und durch Korrelation mit einer Theorie erklären können [39]. Auch nach Wittgenstein gibt es keine Alternative zu einer bewußten Auseinandersetzung mit dem konstruktivistischen Charakter der Physik, was auf eine die physikalischen Aktivitäten begleitende Diskussion und Reflexion des physikalischen Vorgehens hinausläuft.

Für einen Schüler bleibt das schwebende Wasser im Sieb auch dann ein

faszinierendes Phänomen, wenn er es als Wirkung des äußeren Luftdrucks erklären kann. Das läßt sich u.a. daran ablesen, daß gerade mit der physikalischen Theorie vertraute Fachleute immer wieder und meist noch stärker selbst durch einfache physikalische Phänomene zu beeindrucken sind. In manchen Fällen ist die physikalische Perspektive Voraussetzung dafür, daß ein Phänomen als solches erkannt wird (Sonntaler, Mondphasen) und zur Bereicherung der Erlebnisdimension beitragen kann (z.B. auch mikrophysik. z.Beugung an Vogelfeder).

Worauf es ankommt ist, und das macht den Unterschied zur Populärwissenschaft aus, daß die Schüler den oft beschwerlichen Weg von einem Phänomen zu einer physikalischen Rekonstruktion des Phänomens aus einfachen, im Sinne von

elementaren Prinzipien nachvollziehen lernen und gewissermaßen als Belohnung für ihre Arbeit auf Dinge aufmerksam werden, die sie bisher übersehen mußten bzw. dazu gebracht werden, ihre Welt mit neuen Augen zu sehen.

Die physikalische Sehweise kann nur durch Einübung erworben werden.

Die "tiefere" Einsicht der Physik besteht darin, daß Gegenstände eine zusätzliche Dimension erhalten. Die Ausbildung des physikalischen Blicks und die das Verstehen begleitende Aha- Erlebnis lassen sich durch Bild x veranschaulichen.

Die Bedeutung der physikalischen Sehweise wird im Kontext lebensweltlicher Handlungsfelder erfahren.

Aus systematischen Gründen ist bislang nicht von speziellen Inhalten des Physikunterrichts die Rede gewesen. Ich möchte auch nicht in eine der leidigen Diskussionen eintreten, in der physikalische Inhalte gegeneinander ausgespielt werden. Man kennt das Ergebnis solcher Diskussionen: Mal ist die Akustik im Lehrplan vertreten, mal fliegt sie wider hinaus. Und die Entscheidung darüber, was wichtig

oder unwichtig ist, treffen die Lehrer oder ihre Funktionäre. Ich denke, daß nicht leicht eine Übereinkunft darüber hergestellt werden kann, welchen Unterrichtsinhalten der Vorzug gegeben werden soll.

Als Kriterium für eine Auswahl muß jedoch gelten, daß die Unterrichtsgegenstände für die Schüler in konkreter Weise bedeutungsvoll sein müssen. Bedeutungsvoll nicht in dem Sinne, daß die Welt verbessert wird oder durch Deutschlands technologische Spitzenstellung gefördert wird. Es muß bedeutungsvoll sein, indem es die

eigene Weltsicht vertieft und neue Welten erschließt. Das heißt konkret, daß den Schülern Gelegenheit gegeben werden muß, zu dem im Unterricht behandelten Inhalten eine persönliche Beziehung zu haben bzw. aufbauen zu können. Diese These wird

unterstützt durch die Beobachtung, daß vor allem solche Schüler am Physikunterricht interessiert sind, die sich auch im außerunterrichtlichen Alltag für physikalische Fragestellungen interessieren. Ihr Interesse sorgt für einen gewissen Vorschub an Bemühen, dem Unterricht zu folgen. Oft wird dieser Vorschub verbraucht. Manchmal reicht er für eine länger dauernde extrinsische Motivation aus. Extrinsisch nicht im Sinne von Belohnung oder Bestrafung etwa durch Zensuren, sondern durch die

Verheißung eines Umschlags in wahres Interesse. Vor diesem Hintergrund gewinnt die These Gewicht, den Physikunterricht dadurch für möglichst viele Schüler interessant zu gestalten, daß man eine persönliche Beziehung herstellt und die Anstrengung, die für die Ausschärfung der physikalischen Sehweise notwendig ist, sinnvoll erscheinen zu lassen. Das geht m.E. (Muckenfuß) nur über Kontexte, in denen die Schüler in irgend einer Weise heimisch sind, und die daher nicht unabhängig von speziellen vom jeweiligen Kontext abhängigen Themen gesehen werden.

Darüberhinaus bietet die Einbettung physikalischer Inhalte in Kontexte bzw. umgekehrt, das Bemühen, physikalische Aspekte aus Kontexten heraus zu erarbeiten

die Möglichkeit, die Differenz zwischen Physik und Lebenswelt konkret erfahrbar werden zu lassen. Physikalische Bedeutung entsteht durch den wechselseitigen Übergang zwischen Text und Kontext.

Kontexte (Auswahl):

Physik des Sports

Physik der natürlichen Umwelt -- Naturphänomene

-- Wetterkunde

Physik und Biologie Physik in der Sauna Physik am Strand Physik in der Küche Partyphysik

Physikalisches Spielzeug

#### Konsequenzen für den Unterricht

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

Schülern zu vermitteln, daß es sich lohnt, die Welt (auch) physikalisch zu betrachten.

M.a.W.: Physik erlernen heißt, in der Lage sein, die Welt aus einer besonderen abstandnehmenden Perspektive zu betrachten. Um diese Perspektive einnehmen zu

können, müssen die Schüler zunächst die Bereitschaft aufbringen, gegen ihre lebensweltliche, selbstverständlich erscheinende Sehweise anzudenken und ein für sie zunächst unverstandenes physikalisches Handeln zu akzeptieren. Dazu sind einerseits 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, sondern unbedingt

das eigene Üben und Trainieren voraussetzt, nähert man sich der Physikalischen Sehweise nur durch Einüben in physikalisches Handeln (Beschreiben, Experimentieren, Fragen...) an. Die Annahme der physikalischen Sehweise kommt daher fast einer Bekehrung gleich.

Die Schüler erfahren die physikalische Beschreibung im Unterschied zum selbstvergessenen Erleben der Welt als einschränkende Betrachtung: Physik ist von einem einäugigen, farbenblinden Menschen möglich. Dies ist durchaus als Entzauberung zu verstehen. Ein weiterer Aspekt der Entzauberung durch die Wissenschaft besteht darin, daß das durch die wissenschaftliche Technik geprägte Bewußtsein einer grenzenlosen Machbarkeit die

Sinne vieler Menschen insbesondere auch unserer Schüler desensibilisiert hat. Dennoch glaube ich behaupten zu können, daß der physikalische Blick eine Wiederverzauberung möglich macht. Wenn Schüler Phänomene - und seien sie noch so unscheinbar wie das Licht- und Schattenspiel unter Laubbäumen oder vertraut wie das Fallen eines Blattes vom Baum - im Rahmen einer physikalischen Theorie auf eine Weise durchschaubar werden, daß die Konsequenzen zu staunenswerten Ergebnissen führen. Ein bemerkenswertes Phänomen kommt Lichte der physikalischen Blicks nicht dadurch zustande, daß Technik alles kann, sondern umgekehrt, weil Technik nicht alles kann, sondern - wie man jetzt

durchschaut - an naturgesetzliche Grenzen gebunden ist. Das physikalisch vermittelte Erstaunen ist nicht ein Gefühl, das uns anfällt angesichts des Phänomens, sondern das Ergebnis eines nicht selten anstrengenden Erarbeitungsprozesses. Wie man von

anderen Aktivitäten der Schüler (wie z.B. Bergsteigen, Leistungssport) weiß, schrecken die Schüler nicht vor Anstrengungen an sich zurück, sondern vor ziellosen Anstrengungen. Die Aussicht muß sich lohnen. Damit wird aber der Weg zum Ziel. Weniger ist mehr

Eigenaktivitäten

Kommunikation: Nicht Antworten sondern Fragen lernen.

Rätselsituation des Unterrichts

In der Praxis des PU deutet wahrhaftig nicht viel darauf, daß Formeln, Experimente und Beschreibungen immer noch von Meschen stammen.

Bilder: Mensch im Profil und von der Seite

komplexer Gegenstand im Profil und von der Seite

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)

[2] Klein, A.: Ringen um die mathematisch- naturwissenschaftliche Bildung. Bonn 1991

[3] Jung, W.: Über Schwierigkeiten, Physik zu lernen. physica didactica 9, 135 (1982)

[4] Duit, R.: Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. Naturwissenschaften im Unterricht 16/4, 4 (1993)

[5] Bruhn, J.: Zur Schwierigkeit des Physikunterrichts. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 36, 321 (1983)

[6] Muckenfuß, H.: Orientierungswissen und Verfügungswissen. Zur Ablehnung des Physikunterrichts durch die Mädchen

[7] 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)

[8] Häußler, P.: Eine Erhebung zu einer erwünschten physikalischen Bildung. Physica didactica 14/3, 13 (1987); ders.: Langzeitwirkungen von Physikunterricht. Physica didactica 14/4, 5 (1987)

[9] Nolte- Fischer, G.: Bildung zum Laien. Zur Sozialisation des schulischen Fachunterrichts. Weinheim 1989.

[10] Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 33/8 (1980)

[11] Niedersächsisches Kultusministerium: Grundsätze für eine reformpädagogische Neugestaltung des naturwissenschaftlichen Unterrichts April 1993

[12] Weizsäcker, C. F.v.: Zur Tragweite der Wissenschaft. Stuttgart: Hirzel 1966, S.107

[13] Giel, K.: Operationelles Denken und sprachliches Verstehen. Z.f.Päd. 7. Beiheft 1968, S. 111- 124

[12] Redeker, B.: Zur Sache des Lernens. Am Beispiel des Physiklernens.

Braunschweig: Westermann 1982

- [13] K. Meyer- Drawe, Redeker, B. (Hrsg.): Der physikalische Blick. Ein Grundproblem des Lehrens und Lernens von Physik. Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1985
- [15] Schlichting, H.J.: Galilei und der physikalische Blick. Physik in der Schule 32/4, 154 (1994)
- [16] Kuhn, T.S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt: Suhrkamp 1976
- [17] Watzlawick, P. (Hrsg.): Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben. Beiträge zum Konstruktivismus. München: Piper 1984.
- [18] Schmidt, S. J.: Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus. Frankfurt: Suhrkamp 1987, sowie: ders. Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus 2. Frankfurt: Suhrkamp 1992
- [19] Polanyi, M.: Implizites Wissen. Frankfurt: Suhrkamp 1985
- [20] Feyerabend, P.: Natur als Werk der Kunst. Fiktiver Vortrag über die wachsende Bedeutung der Ästhetik. Lettre International 25, 40 (1994)
- [21] Bergmann, L., Schäfer, C.: Lehrbuch der Experimentalphysik. Berlin: de Gruyter 1990, S. viii
- [22] Kuhn, W.: Physik, Bd.I. Braunschweig: Westermann 1975.
- [23] Pastior, O.: Zit. nach: Hörisch, J.: Eine gemeinse Sense gegen den Common sense. Die Zeit 46, vom 12.11.93, S.19
- [24] Bachelard, G.: Epistemologie. Frankfurt: Fischer 1993, S.57f.
- [25] Hampe: Neue Hefte für Philosophie 32/33,45ff (1992)
- [26] Wittgenstein, L.: Bemerkungen über die Philosophie der Psychologie. 1 | 159 [27] Schlichting, H. J.: Üben als Einüben. Praxis der Naturwissenschaften- Physik. Praxis der Naturwissenschaften 42/1, 11 (1993)
- [28] Wagenschein, M.: Naturwissenschaftliche Bildung und Sprachverlust. In: Sprache- Brücke und Hindernis. München: Piper 1973
- [29] Heisenberg, W.: Physik und Philosophie. Stuttgart: Hirzel 1978, S.194f
- [30] Schlichting, H. J.: Sonnentaler- Abbilder der Sonne. Praxis der Naturwissenschaften- Physik 43/4, 19 (1984)
- [31] Böhm, G.: Sehen. Hermeneutische Reflexionen. Intern. Zeitschrift für Philosophie 1, 54 (1992)
- [32] Valéry, P.: Cahiers 2. Frankfurt: Fischer 1988, S.50
- [33] Fontenelle, B.: Entretiens sur la pluralité des mondes. In: Oevres Choisies. Paris: Larousse o.J., S.32f, (Übersetzung, HJS)
- [34] Illich, I.: H2O und dieie Wasser des Vergessens. Reinbek: Rowohlt 1987
- [35] Geschichten um Nasreddin Hodscha: zit. nach: Freese, H-L.: Gedankenreisen. Reinbek: Rowohlt 1992, S. 62
- [36] Wittgenstein, L.: Zit. in Rhees, R. (Hg.): Ludwig Wittgenstein. Porträts und Gespräche. Frankfurt a. M.: Suhrkamp 187, S. 167f
- [37] Jung, W.: Optik für die Sekundarstufe I. Frankfurt: Dieserweg 1979, S. 10
- [38] Carroll, L.: Alice in Wonderland. Ware: Wordsworth 1992, p. 5
- [39] Schulte, J.: Chor und Gesetz. Wittgenstein im Kontext. Frankfurt: Suhrkamp 1990, S. 48

Noch berücksichtigen: Aporetische, Paradoxe Situationen:

- Korke schwimmt bergauf
- Styropor dreht sich

Die exakte Sprache der Naturwissenschaften ist für Wittgenstein nicht mehr die eine, ideale Sprache als Abbild der Wirklichkeit, sondern nur eine von verschiedenen "Sprachspielen". Grundsätzlich gebe es nicht den EINEN, idealen Begriffskern im

Sinne Platons, sondern jeweils nur VIELE verschiedene "Sprachspiele" im Zusammenhang mit verschiedenen Tätigkeiten. Wittgenstein, Ludwig: z.n. Martens, S.88

[1] Born, G, Euler, M.: Physik in der Schule. Bild der Wissenschaft 15/2, 74 (1978)

[5] Wagenschein, M.: Ursprüngliches Verstehen und exaktes Denken, I und II. Stuttgart: Klett 1970 (Sammlung zahlreicher Aufsätze)

[6] Wagenschein, M.: Verstehen lehren: genetisch- sokratisch- exemplarisch.

Weinheim: Beltz 1991

[7] Natur physikalisch gesehen. Frankfurt: Diesterweg 1960

Quantitativ, Physik, Sehweise, Die Welt ist einfach komisch, wenn man sie vom technischen Standpunkt ansieht; unpraktisch in allen Beziehungen der Menschen zueinander, im höchsten Grade unökonomisch und unexakt in ihren Methoden; und wer gewohnt ist, seine Angelegenheiten mit dem Rechenschieber zu erledigen, kann einfach die gute Hälfte aller menschlichen Behauptungen

nicht ernst nehmen. Musil, R.: Der Mann... S.37+

Wiederverzauberung ---> S 2.11. 91

Bedeutung durch und im Kontext

Gadamer über Erfahrung Sprüche 3

Das Ritual der Unterrichtsstunde und sein Widerhall bei den Schülern werden beide von festen Gewohnheiten erlernten Wiedererkennens gelenkt (begleitet), Steiner S. 224

Was erwarten wir von der Wissenschaft? Sie soll Eindeutigkeit herstellen, Komplexität abbauen, für Sicherheit sorgen. Aber was für die SS im Unterricht erreicht wird, ist nicht selten das Gegenteil. Das Problem ist, daß die Zuständigkeit für das Erkennen und Tun immer mehr auf nicht durchschaute Apparate abgetreten wird.

Erkenntnis soll erleichtern, die Dinge kräftefrei machen.