

Rettet die Phänomene!

Martin Wagenschein

Die Deutschen, und nicht sie allein, besitzen die Gabe,
die Wissenschaften unzugänglich zu machen.

Goethe

Wenn wir wissen wollen, was die Naturwissenschaft Physik uns zu sagen hat (jedem von uns), so fragen wir am besten Physiker, und zwar solche, die nicht nur neue Erkenntnisse suchten und fanden, sondern auch über ihr eigenes Tun nachdenklich waren (oder wurden). Man kann schon Demokrit zu ihnen rechnen, den Griechen, der vor vierundzwanzig Jahrhunderten die Atome erdachte. Es ist von ihm ein innerer Dialog überliefert - vielleicht zwischen zwei Seelen in seiner Brust.

Erst spricht der Verstand zu den Sinnen und sagt¹: »Die Leute meinen zwar, es gebe euch: das Bunte, das Süße, das Bittere..., aber in Wirklichkeit« (da steht schon das schillernde Wort) »gibt es nur die Atome und leeren Raum.« - Darauf kehren die Sinne den Spieß um und erwidern: »Du armer Verstand. Von uns nahmst du doch die Beweisstücke, wie kannst Du uns damit besiegen wollen!«

So scheint es also schon ganz früh gegen die Physik den Vorwurf gegeben zu haben, sie habe es darauf angelegt, uns die Sinne zu verleiden.

Es fällt auf, dass diese Meinung auch heute nicht selten ist. Wenn man irgendeinem eindringlich sagt: »Musik, nicht wahr, ist ja doch in Wirklichkeit nichts anderes als Lufterschütterung, Wärme an sich nur Molekularbewegung, Farbe eigentlich nichts als elektromagnetische Wellenlänge«, so kommt es oft vor, dass der so Angesprochene, nickt, wenn auch etwas trübsinnig.

Dieser Verzicht kann allerdings auch ins Heroische umschlagen: Max Frisch², in seinem Roman »Homo Faber«, lässt seinen Helden nach einer Notlandung in der mondbeschiedenen mexikanischen Wüste stehen. Während ein Mitreisender diese Landschaft als schön erlebt, sagt sich der »homo faber«: »Ich bin Techniker und gewohnt, die Dinge zu sehen wie sie sind. Ich sehe: den Mond über der Wüste, klarer als je, mag sein, aber eine errechenbare Masse, die um unseren Planeten kreist, eine Sache der Gravitation, interessant, aber wieso ein Erlebnis??«

Dabei denken die Physiker selber ganz anders: Max Born³, im Alter: »Mein einstiger Glaube an die Überlegenheit der naturwissenschaftlichen Denkweise über andere Wege zum Verstehen und Handeln, scheint mir jetzt eine Selbsttäuschung«. C. F. v. Weizsäcker⁴: »Das physikalische Weltbild hat nicht unrecht mit dem, was es behauptet, sondern mit dem, was es verschweigt«. - Einstein⁵, Freund von Born und Geigenspieler, wird gefragt: »Ja, glauben Sie denn, dass sich einfach alles auf naturwissenschaftliche Weise wird abbilden lassen?« Er antwortet: »Ja, das ist denkbar, aber es hätte doch keinen Sinn. Es wäre eine Abbildung mit inadäquaten Mitteln, so als ob man eine Beethoven-Symphonie als Luftdruckkurve darstellte«. Beachten wir das Wort »Abbildung«. Was ist gemeint mit »Luftdruckkurve«?

Horchen wir dazu in eine ganz andere Menschengruppe hinein. Neunjährige Buben in der Versuchsschule der Tübinger Universität⁶; ein meist schweigender Lehrer (er redet ihnen nichts ein) hat sie gelehrt, miteinander zu sprechen und nur zur Sache; alles zu sagen, was sie denken, und alles zu denken, was sie sagen. Sie reden mehrere Stunden lang darüber, warum der Schall eines entfernten Presslufthammers oder einer Trommel dem Anblick ihrer Bewegungen so nachhinkt. Sie untersuchen

das Fell der Trommel mit Auge, Finger und Zunge, sie merken und sagen (laut Tonband): »es hoppelt so zittrig, das zittert so kitzlig, und es brennt beinahe« (auf der Zunge).

Sie finden schließlich: das Späterkommen, das liegt an der Luft; die »trägt« den Schall zu uns; das braucht Zeit. - Aber wie »trägt« sie? Ergebnis nach langem Gespräch und Experimenten: »Wenn ich an das Trommelfell schlage, dann wackelt es. Die Luft wird weggeschubst. Da wackelt sich die Luft so hin und her, die da ist... Die Luft schubst die andere Luft und die wieder weiter... Da wackelts durch die Luft bis zu meinem Ohr.«

Später werden diese Kinder lernen, das Gewackel an einem Ort zwischen Trommel und Ohr durch einen mechanischen Schallempfänger aufzeichnen zu lassen, eine Membran, ein Pinsel daran und ein an ihm vorbeigleitendes Papierband etwa. Das gibt dann so etwas wie die »Luftdruckkurve«.

Was haben sie, was haben wir damit gewonnen?

Die Antwort liegt zwar auf der Hand, aber ich habe sie seltsamerweise in keinem Schulbuch gefunden, nämlich: Wir haben genau das gewonnen, was vom Schall bliebe für einen Gehörlosen.

Würde nun der Lehrer zu dieser Kurve sagen: Seht ihr, der Schall ist »also« »in Wirklichkeit« nichts als diese Lufterschütterung, so wäre das absurd. Denn warum sollte ausgerechnet das Ohr für den Schall weniger Wirklichkeitswert haben als die anderen, weniger zuständigen Sinne?

Ich behaupte nicht, dass Lehrer jenen »nichts-als«-Satz aussprechen. Aber ich vermisse, dass die Schulbücher ihn ausdrücklich dementieren. Denn er scheint in der Luft zu liegen, zwischen den Zeilen. Es ist, als würde er mitgelernt.

Der Lehrer kann nur und er muss es hier sagen, was wahr ist: In der Physik hat man sich entschlossen, sich allein um das Mechanische, die Luftdruckkurve, zu kümmern. Die »physikalische Akustik« enthält dann also in der Tat das, was bleibt vom Schall, von Musik, für einen, der taub ist.

Er muss, der Lehrer, dann freilich auch bewusst machen, woher dieser Entschluss kommt: An der Luftdruckkurve kann man messen; an dem, was wir unmittelbar hören, nicht.

So kann er hier schon vorbereiten auf die grundlegende Einsicht: Physik ist eine sich selbst beschränkende, eine auf kluge Weise verzichtende Wissenschaft. -

Woher aber diese Lust am Messen? - Das Messen hat es den Naturforschern angetan, seit Galilei damit die Mechanik eröffnen konnte, indem er das Fallgesetz fand. Es heißt so: Die Strecke, die der Stein im leeren Raum während der ersten (beliebigen) Zeiteinheit gefallen ist, die erscheint in der zweiten verdreifacht, in der dritten verfünffacht, in der fünften kommt ihr Siebenfaches, und so weiter.

Das bedeutet, dass die Natur auf die von uns ihr vorgeschlagenen ganzen Zahlen 1, 2, 3... sozusagen »eingeht« und, höchst überraschend, von selber antwortet mit wieder ganzen aber anderen Zahlen 1, 3, 5, 7... Das konnte niemand vorauswissen! (Galilei konnte nur hoffen, dass überhaupt eine zahlenhafte einfache Antwort kommen werde; er wusste nicht welche.)

Für die Mechanik haben wir zwar kein besonderes Organ. Dafür können wir selbst mit unseren Körpern fallen, stehen, gehen, springen, laufen, tanzen. Wir sind hier ganz vertraut. (Und doch kenne ich keine Schule und keine Didaktik, die Mechanik darauf aufbaute oder vorbereitete. Man denke etwa an die »Pirouette«.)

Übrigens müssen wir noch zweierlei bedenken: Erstens, dass wir mit dem Rückzug auf das Messbare den Sinnen nicht entgehen: Wir schätzen, wir messen mit Auge und Hand, mit dem ganzen Körper, wir messen Ab»stände«, Zeit»spannen« und Muskel»kräfte«.

Wir müssen uns zweitens darüber klar sein, dass der Rückzug vom gehörten Schall zur Luftdruckkurve eine Einbahnstraße ist: Wir können dem Gehörlosen aus der Luftdruckkurve auf keine Weise ganz mitteilen, wie sich ein Ton, eine singende Stimme, ein Gong anhört.

Gerade der Gong erregt freilich nicht nur das Ohr, sondern den ganzen Organismus, er geht uns durch Mark und Bein, und insofern bleibt auch dem Tauben wohl ein Rest. Wie aber er »sich anhört«, ist mit Worten nur zu umschreiben. In der Luftdruckkurve, in einer anderen Weise, ist er nur, wie Einstein sagte: »abzubilden«, beschränkt abzubilden.

Wenn der Lehrer bei den Schall-Forschungen seiner Neunjährigen das »Gewackel« der Luft kritisch in solcher Weise bedenken lässt, und wenn er bei dieser Lehrweise bleibt, dann kann er sie früh empfänglich machen für das, was sie später über moderne Physik lernen oder lesen werden:

Physik ist, nach der Meinung der heute führenden Forscher, nur einer - wenn auch der mächtigste - der möglichen Natur-Aspekte; nicht voraussetzungslos, sondern von vornherein sich selbst beschränkend auf das mit Maßstab, Waage und Uhr messbare, soweit wir so Gemessenes in mathematisierten Strukturen miteinander in Beziehung setzen, einander zuordnen können. Es entsteht so ein besonderes »Natur-Bild«, eine »Denkwelt« können wir auch sagen. (Ein vor kurzem erschienenes authentisches Sammelwerk führt den Titel »The Physicist's Conception of Nature«.⁷) Nach Vergleichen, die von Physikern selbst herrühren, bildet es die uns umgebende sinnenhafte Wirklichkeit der Phänomene so ab, wie eine Landkarte die Landschaft⁸, wie die Partitur eine Symphonie, wie der Schatten seinen Gegenstand.

Dabei aber bildet es so scharf und so richtig ab, wie eben der Schatten eines Blütenbaumes an der Mauer sich abzeichnet. Nur: der Baum selber kann der Schatten nicht sein wollen. Von nur seiner Struktur, seiner Geometrie, ist etwas geblieben, aber es fehlen Farbe und Duft, Räumlichkeit und das Rauschen seiner Blätter.

Physiker sehen es also nicht so, wie die eine (die mechanistische) Stimme Demokrits es darstellt, als sei hinter den Phänomenen Atombewegung, allgemein Teilchenmechanik, das »Eigentliche«, was es »wirklich gibt«⁹.

Die erste Stufe zu dieser Einsicht kann in der Schule, wie ich zu zeigen versuchte, bei der Akustik gelegt werden. Die nächste, wesentlich steilere, bei der Wärmelehre.

Denn die physikalische Abbildung auf Bewegung gibt es, wie beim Schall, nun auch hier. Das Phänomen Wärme erlebt jeder, der in der Sonne sitzt. Die physikalische Betrachtungsweise hat zur Wärme nun etwas sehr Merkwürdiges und Sehenswertes herausgefunden: Dass nämlich jedes Ding, sei es Stein oder Wasser oder Luft, eine unaufhörliche, unsichtbare, sehr feine, zitternde (nicht strömende) Bewegung in sich hat. - Und nun erst kommt die Beziehung zur Wärme: dass diese innere Unruhe sich steigert, wenn der Körper wärmer wird.

Man kann dieses heimliche Fiebern sozusagen sehen. Nicht unmittelbar, aber seine Auswirkung auf feinste Staubkörnchen. Man mischt sie ins Wasser, betrachtet eine dünne Schicht solchen Wassers durchs Mikroskop, bei starker seitlicher Beleuchtung vor dunklem Hintergrund. Am schönsten wird der Anblick bei Mikroprojektion. Man sieht dann auf dem Schirm in einem Kreis von etwa 1 Meter Durchmesser etwas Unvergessliches: Auf dunklem Hintergrund erscheinen diese Staubkörnchen wie Sterne des Nachthimmels, aber in einer unaufhörlichen, durcheinander irrenden, torkelnden, ziellosen Bewegung: die kleinen Sterne sind schnell, die größeren munter, die ganz großen zittern nur, wie an-

geseilt. Die Beziehung zur Wärme: die sieht man nicht so ohne weiteres, man muss die Zickzackwege ausmessen. Das Ergebnis: Diese innere Unruhe steigert sich, wenn der Körper, hier das Wasser, wärmer wird, und flaut ab mit dem Erkalten.

Das Allerunheimlichste ist aber folgendes: Wenn man diese Wasserschicht so von der Außenwelt abschließt, versiegelt, dass sie nicht verdunsten kann, so hält die Bewegung an, und zwar für immer. Man kommt nach Monaten von einer Reise zurück, blickt wieder hinein: dieselbe Geschäftigkeit! Man muss das gesehen haben! Es ist schwer begreiflich, dass nicht alle Schulen allen Kindern dieses fundamentale Labor-Phänomen zeigen, statt ihnen voreilig Atom- und Elektronen-Märchen zu erzählen. Man setze sie vor den Schirm und sage möglichst nichts. Sie sehen hier etwas Wirkliches¹⁰.

Sollen wir hier nun wieder der Nichts-als-Philosophie verfallen und sagen: Wärme ist in »Wirklichkeit« nichts als innere Bewegung?¹¹ - Wir dürfen nur sagen: Zunehmende Wärmeempfindung ist immer begleitet von sichtbar zunehmender innerer Unruhe des warmen Körpers und umgekehrt. Oder: Die innere Bewegung ist das, was von der Wärme für einen Menschen bliebe, der Wärme nicht fühlen könnte. Oder noch deutlicher: Physik entschließt sich auch hier zum Verzicht. Sie beschränkt sich auf die »Abbildung« der Wärme, auf das Messbare: Bewegung.

Hier bei dieser sogenannten Brownschen Bewegung - so genannt nach dem Entdecker, dem englischen Biologen Brown (1827) - nähern wir uns einer Grenze. Diese torkelnden Lichtpunkte sind der letzte optische Reflex, den wir aus der innersten Kleinwelt gewöhnlicher Materie noch herauslocken können.

Für die Vorgänge, die noch tiefer dringen, in den winzigsten Räumen ablaufen, da ist es nun nach den überraschenden Einsichten der letzten 50 Jahre mit der Anschaulichkeit grundsätzlich schlecht bestellt. Sie können nur noch in mathematischen Symbolen abgebildet werden.

Wenn man den folgenden Satz Heisenbergs¹² bedenkt:

»Das Atom ist seinem Wesen nach nicht ein materielles Gebilde in Raum und Zeit, sondern gewissermaßen nur ein Symbol, bei dessen Einführung die Naturgesetze eine besonders einfache Form annehmen«,

dann wird man beim Blättern in den Lehrbüchern schon der Sekundarstufe I ein recht unbehagliches Gefühl nicht los, und muss dem zustimmen, was ein anderer ausgezeichnete Quantenphysiker, Walter Heitler¹³, Zürich (der pädagogische Fragen sehr ernst nimmt) dazu sagt:

»Es ist ein Vergehen an jungen Menschen, ihnen etwas beibringen zu wollen, was sie unmöglich verstehen können, oder, um es verständlich zu machen, es falsch darzustellen«. «Ich glaube nicht, dass es gut ist, in der Mittelschule viel von Atomphysik und Elektronen zu reden. Jede anschaulich räumliche Vorstellung dieser Gebilde ist ganz einfach falsch«.

Es scheint, dass die Schule, gerade aus dem Bestreben, modern zu sein, es hier eben nicht ist, indem sie Kindern ganz unnötig früh von Atomen und Elektronen so anschaulich erzählt, als seien es Erbsen, und auch nicht sagt, wie man dazu gekommen ist. Hier steht sie nicht mehr auf der Basis der Phänomene.

Diese verfahrenere Lage in Ordnung zu bringen, ist wohl das wichtigste und schwierigste Problem für eine zukünftige Pädagogik der modernen Physik.

Sobald Physik als ein besonderer Aspekt erkannt ist und auch gelehrt werden soll, kann man den Folgerungen nicht ausweichen:

Als ein beschränkender Aspekt kann sie nur genetisch wirklich verstanden werden, denn man muss zuerst die unbeschränkte Wirklichkeit unmittelbar vor sich haben, um überhaupt zu bemerken, dass beschränkt wird.

Der unmittelbare Umgang mit den Phänomenen ist der Zugang zur Physik.

Phänomene können nicht mit schon isoliertem Intellekt, sie müssen mit dem ganzen Organismus erfahren werden. Auch wir müssen anfangs unbeschränkt sein.

Apparaturen, Fachsprache, Mathematisierung, Modellvorstellungen sollten nicht eher auftreten, als bis sie von einem herausfordernd problematischen Phänomen gefordert werden.

Auch auf höheren und späteren Stufen der Abstraktion muss der Durchblick und die Führung mit den Phänomenen und der Rückweg zum Umgangssprache immer offengehalten werden.

Dies alles gälte schon gegenüber Erwachsenen, die noch nichts von Physik wissen, wieviel mehr bei Kindern.

Kinder, in einer Altersstufe, in der sie noch, und sehr zu Recht, nur Greifbares begreifen und zugleich autoritätsbedürftig sind, glauben dem Lehrer seine Lehrbuch-Bilder und Berichte zur Atomistik kritiklos und gegenständlich. Und allem Anschein nach ist es eine Illusion zu hoffen, eine spätere Sublimierung dieser laufenden, rollenden, harten (und womöglich blauen) kreisenden Elektronenkugeln werde noch gelingen. Es kommt hinzu, dass eine nachträgliche Richtigstellung, selbst wenn sie gälte, nur eine kleine Minderheit noch erreichen würde: einige Schüler der Sekundarstufe II.

Das Missverständnis, etwa Elektronen für Gegenstände, nur kleine, zu halten, scheint durchweg resistent zu sein und es trägt schwerwiegend dazu bei, dass so viele Laien an eine reale, mechanistische Welt als ursächliche Basis glauben und die Phänomene für »nichts als« ihren »nur subjektiven« Sekundäreffekt.

Man kann bekanntlich in einer Weise informieren, die ausreicht, um fertige, aber nicht durchschaute Ergebnisse dennoch richtig zu nutzen: Autofahren, Fernsehen, überhaupt Apparaturen richtig zu bedienen, auch mathematische Formeln also, das gehört hierher. Es ist stellenweise unumgänglich. Aber um ein »Verstehen« in *diesem* Sinne darf es in allgemeinbildenden Schulen jedenfalls nicht in erster Linie gehen.

Verstehen heißt hier: Stehen auf den Phänomenen.

Anders gesagt: Erfahren, wie Physik, wie Naturwissenschaft überhaupt möglich ist und möglich wird.

Bei dieser Aufgabe können die außerordentlichen Fortschritte der modernen Physik von der Schule nicht nur als ein Mehr an sogenanntem Stoff bewältigt werden. Denn in unserem Jahrhundert sind sie mehr als jemals zuvor, auch immer Schritte gewesen *fort von* den Fundamenten, das heißt: der primären, phänomenalen Wirklichkeit des Kindes und des Laien: fort von der freien Natur zur Apparatur, vom Wort zum Symbol, vom Satz zur Gleichung, von der Anschauung zu abstrakten Strukturen, vom Phänomen zum Modellvorstellung. Pädagogisch gesehen sind das Schritte von nie dagewesener Spannweite der Abstraktion. Ein nur hastig konsumierender Unterricht gefährdet die Kontinuität des Verstehens.

Axiomatik und Deduktion bieten keinen Ausweg. Denn abstrakte Begriffe, die nicht in ihrer Herkunft aus den Phänomenen (»genetisch«) zustande gekommen sind, werden missverstanden: als nicht von uns konstruierte, sondern als vorgefundene, grob materielle, aber auch magische Wesenheiten, von

denen man dann glaubt, dass sie als letzte Ursachen hinter allem stecken, was es gibt, und die Phänomene verursachen: das ontologische Missverständnis der Physik.

Ich kann dieses Thema hier nicht in seinem ganzen Umfang verfolgen. Ich versuche nun, einige positive Beispiele vorzulegen dafür, dass man, ohne schon von Molekülen, Atomen, Elektronen reden zu müssen, also ganz in der Sphäre der Phänomene bleibend, Einsichten in das Innere der Materie gewinnen kann, von denen man sich nichts träumen ließ.

Das erste Thema sei noch einmal die durch die »Brownsche Bewegung« schon vorgestellte »Innere Unruhe«. Diesmal aber nicht - wie vorhin dargestellt - einfach vom Lehrer hingesezt, sondern als ein Weg (wenn Sie wollen ein »Curriculum«), der von unmittelbaren Alltagserfahrungen ausgeht und in Gang gesetzt (motiviert) wird durch eine Sonderbarkeit.

Ein Stein, eine polierte Metallfläche, ein stehendes Gewässer, das Wasser im Glas, die eingeschlossene Luft des Zimmers, sie alle machen den Eindruck völliger Ruhe. Wenn Nichts und Niemand eingreift, kein Wind, keine Wärme, kein Stoß, dann blickt man auf eine tote, eine passive Szenerie.

Mit einer Ausnahme; Das Wasser, wenn man ihm Zeit lässt, verschwindet heimlich aus dem Glas, »verdunstet«, erobert den Raum, wenn auch langsam. - Ist es nun von der Luft entführt, oder ist es selber schuld, will es flüchten? - Wir können die Luft ja wegnehmen: Stellen wir das Glas mit dem Wasser unter eine dichte Glocke und pumpen aus ihr die Luft heraus. Dann erleben wir einen überraschenden Ausbruch: Das Wasser, das kalte Wasser, beginnt in großen Blasen zu kochen, zu verkochen. Es hat also offenbar nur darauf gewartet, die Luftlast loszuwerden: es will kochen. Wenn wir ihm den Luftdruck wegnehmen, so helfen wir ihm also nur zu dem, was es von sich aus anstrebt. - Die Ruhe des Teiches ist Täuschung.

Da das Wasser nun bekanntlich auch unter der Last des Luftdrucks, trotz ihm, zum Kochen zu bringen ist, nämlich durch Erhitzung, so dürfen wir sagen, es sieht so aus, als werde ein innerer Drang zum Sieden durch Wärme nur unterstützt. Das Wasser hat, fassen wir alles zusammen, allein in sich selber die Tendenz, zu Dampf zu werden.

Aufmerksam geworden suchen wir nach Ähnlichem: Zucker löst sich im Wasser selbsttätig auf. - Verschiedene Flüssigkeiten übereinander geschichtet vermischen sich in tagelanger Heimlichkeit von selber. - Dasselbe finden wir bei Gasen. - Schließlich gibt es auch die unglaubliche Diffusion fester Stoffe ineinander: Gold, angepresst an Blei jahrelang, wandert allmählich in feinsten Vorposten von selbst ins Blei hinein.

Schließlich, und das ist ja am bekanntesten: Luft, Dampf, alle Gase sind immer auf dem Sprung, jeden Raum zu erobern, den man ihnen öffnet, sei er leer oder schon von einem anderen Gas besetzt. Sie sind in ständiger Aggression, und wo kein Ausbruch möglich ist, da drücken sie gegen die Wand.

Folgt jetzt, als Höhepunkt, noch die Vorführung der Brownschen Bewegung, dann merkt man vielleicht, wie gut es dahinein passt, dass heftiges Reiben und Rühren alle Dinge wärmer macht: Der innere Aufruhr bekommt Zufuhr von außen.

Dieser rein phänomenologische Lehrgang könnte zeigen:

1. Recht tiefgehende, wenn auch nur vorbereitende Zusammenhänge sind ohne alle Mathematik und ohne von Molekülen zu reden einsichtig zu machen.
2. Schon gewöhnliche Materie zeigt sich hier von einer neuen, einer drohenden Seite. Wir können noch von Glück sagen. Vorsicht ist geboten.

Sie wird noch dringlicher durch einen zweiten, ebenfalls rein auf Phänomene gestützten Einblick. Er ist zwar künstlich, aber einfach gebaut.

Es geht hier nicht um gewöhnliche Materie wie bei der Brownschen Bewegung, sondern um eine besonders bedrohliche Sorte, radioaktive Stoffe.

Man blickt durch eine gewöhnliche Lupe auf die Schicht eines Materials, das die besondere Eigenschaft hat, an den Stellen, wo man es mit einer Nadel ritzt, einen winzigen Lichtblitz von sich zu geben. Wie es das macht, ist eine Sache für sich, die wir hier nicht zu verstehen brauchen, da wir sie nur benutzen.

Zwischen Lupe und Schicht, auf einem dünnen Draht, ist nun eine winzige Menge eines Radiumsalzes angebracht, und zwar auf der vom Auge abgewandten Seite des Drahtes, nach der Schicht hin also offen. Die Lupe ist auf die Schicht eingestellt. Im Stichtun und mit ausgeruhtem Auge, am besten mitten in der Nacht, sieht man dann etwas ebenso Unvergessliches, wie es die Brownsche Bewegung ist. Nicht torkelnde Sterne, sondern nur aufblitzende und wieder verschwindende, bald hier bald da. Ein flackernder Sternhimmel. - Nun kann man, das ist vorgesehen, während man hineinschaut, das Radiumsalz etwas von der Schicht zurückziehen. Die Sterne werden dann seltener. Schließlich kommen gar keine mehr. Umgekehrt: nähert man das Radiumsalz der Schicht, so nimmt das Flimmern überhand.

Sind das die Atome? fragt das überinformierte Kind. Nein, es sind Lichtblitze (»Szintillationen«). Aber man hat den Eindruck, dass dieses Radiumsalz von selber feinste Trümmer aussprüht, die die Schicht ritzen. Zwar hat man dann nicht gerade Atome gesehen, aber doch sind wir nahe daran. So nahe wie die Fußspur eines Vogels dem Vogel selber ist, der sich für einen Augenblick auf dem Schnee niederließ.

Dieser kleine und billige Atomguckkasten ist natürlich nur ein Anfang in der Erkundung der Radioaktivität. Das Kind wird weiter fragen: Wird das Radium jetzt weniger? - Ja, nicht schnell, aber nach vielen Jahren ist es zu merken. Man sieht: jetzt ist das Messen und Rechnen unumgänglich

Lassen Sie mich hier etwas einschalten: Ich spreche nicht gegen das Mathematisieren und nicht gegen Atomphysik in der Schule. Ich wende mich nicht im mindesten gegen die Pflege der abstrahierenden Intelligenz, aber ich wende mich gegen ihre Isolation. Ich spreche nicht für eine Flucht in die Phänomene, ich spreche für ihren Vorrang und ihre ständige Präsenz. Ich werbe *für* etwas: Dafür, dass solche Erfahrungen, wie ich sie hier beschreibe, fundamental sein und bleiben müssen. Sie verlangen nun allerdings Zeit für ruhiges Anschauen, Besinnung und Gespräch. Es ist bemerkenswert, dass man die Voraussetzungen dafür in den Schulen meist vergeblich suchen muss.

Noch ein Beispiel: Lichtwellen.

Wenn man am besten wieder in der Nacht eine brennende Kerze aufstellt, vor dunklem Hintergrund, etwa acht Meter entfernt, und sie dann durch einen senkrechten engen Spalt betrachtet, $\frac{1}{2}$ mm breit, am besten zwischen zwei geraden Messerklingen, die man ganz nah vors Auge hält, dann sieht man Merkwürdiges: rechts und links neben der Kerze flackern noch viele andere, schwächere, Gespensterflämmchen, aufgereiht, nach außen immer schwächer sich verlierend, richtige Abbilder.

Jene Geisterflammen haben farbige Ränder, rot außen, blau-violett innen, die anderen Farben dazwischen.

Dass die bunten Farben aus weißem Licht hervorgehen können, ist uns nicht neu: Wassertropfen können das (beim Regenbogen) und das Glasprisma; durch beide muss das Licht hindurchgehen. In unserem Fall genügt nun sogar das Vorbeistreifen an den Rändern des Spaltes.

Ganz neu aber ist, dass dabei viele Abbilder auftreten, in regelmäßiger Wiederkehr. Mit einem Fremdwort gesagt: die Periodizität dieser Erscheinung. Da von einer Periodizität weder in der Kerze noch im Spalt etwas vorgeformt ist, darf man schließen, dass sie dem Licht selber eigen ist. Und außerdem den Farben in verschiedenem Maße: Rotes Licht ist an relativ grobe Strukturen gebunden, blaues an feinere.

Wenn es stimmt, dass die Periodizität ein für das Licht charakteristisches Struktur-Phänomen ist, dann müsste man erwarten dürfen, dass es sich auch bei anderen Umständen kundgeben müsste, nicht nur beim Passieren eines Spaltes.

So ist es, und zwar kommt es ganz von selbst auf uns zu, so dass ein Curriculum davon ausgehen könnte: Die Ölflecken, die Autos auf nassem Asphalt hinterlassen, zeigen meist undeutlich, oft ganz klar, eine periodisch gebaute bunte Figur: konzentrisch farbige Ringe. Auch hier kann es nicht an dem Ölfleck liegen. Er wird nach außen nur gleichmäßig dünner, er hat nicht etwa Ring-Wälle.

Sind das nun die »Lichtwellen«? Nein, die kann man nicht sehen. Es sind die dem Licht eigenen periodischen Phänomene, aus denen dann, im Zusammenhang mit anderen Lichterfahrungen, die Physiker das Denkbild der Lichtwellen entwickelt haben. Ich meine, dass jeder die Periodizität des Lichtes und seiner Farben mit diesen einfachen Mitteln in der Schule gesehen und bedacht haben sollte. Angenommen, er weiß nur dies, so frage ich: Weiß er dann nicht mehr als einer, an dem künstlicheren Experimente, Begriffen und Mathematik über Lichtwellen vorbeigerauscht sind?

Was ich bis jetzt an Beispielen angeführt habe zugunsten der Präsenz und des Vorrangs der Phänomene, liegt schon nahe an der Dämmerungszone, in der die physikalischen Begriffe ihre Anschaulichkeit aufgeben müssen. Auch hier sollten nach Möglichkeit die Phänomene noch frei von instrumentellen Komplikationen, in unvergesslicher Eindringlichkeit und vor aller Messung, ohne Rücksicht auf den Zeitaufwand gegenwärtig gehalten werden. Eine Nebelkammer ist ein relativ einfaches Instrument. Jeder Schüler sollte einmal hineingeblickt haben, ehe man ihm Fotos zeigt oder gar deutet. Vielleicht sollte man ihm dazu folgenden Satz Heisenbergs vorlesen und weiter gar nichts sagen: »Es gab keine wirkliche Bahn des Elektrons in der Nebelkammer. Es gab eine Reihe von Wassertröpfchen. Jedes Tröpfchen bestimmt ungenau die Lage des Elektrons, und die Geschwindigkeit konnte - auch wieder ungenau - aus der Reihe der Tröpfchen ermittelt werden«¹⁴.

Aber auch in der alten Physik des Vordergrundes, wo Pendel, Lichtbrechung und dergleichen auf dem Programm stehen, sind im Schulunterricht schon seit vielen Jahren die Naturphänomene allzu geschwind in den unvermeidlich verfremdenden Belehrungsapparaturen untergegangen, sozusagen beigesetzt. Die üblichen Messgeräte zum Brechungsgesetz, zum Fallgesetz sind darauf angelegt, in einem Akt quantitativ und schnell ans Ziel zu kommen. Ist es aber für das Unbewusste der Kinder noch glaubhaft, dass es Naturerscheinungen sein sollen, die da in der Elektrizitätslehre bisweilen in Kästen und hinter elektrischen Drahtverhauen verschanzt, nur noch durch Zeigerbewegungen vor bezifferten Skalen sich kundgeben? Solche Demonstrationen müssten zwar nicht unbedingt verstörend wirken. Sie tun es aber, wenn sie nicht allmählich entstehen. Aber der Lehrer, nach seinem Fachstudium, je wissenschaftlicher und moderner es war desto mehr, unterschätzt den Klimawechsel zwischen Natur

und Labor, zwischen dem freiwillig erscheinenden Phänomen und seinem im Gefängnis der Messinstrumente umstellten Vertreter.

Bisweilen genügt zur Verfremdung schon die Übertragung in einen verkleinerten Maßstab.

Das Pendel: Sicherlich ist es richtig, von den Erinnerungen auszugehen, die alle Kinder vom Schaukeln haben. Aber eine kleine Messingkugel an einem dünnen kurzen Faden: ist das dasselbe? Für den Physiklehrer schon, für das Kind aber eine Entwürdigung ins Unernst, Puppenstubenhafte hinein.

Ich erinnere mich aus der Frühzeit meines Unterrichtens, wie mir das einmal aufging. Also schleppte ich eines Nachmittags einen kopfgroßen Felsbrocken in die Schule und hängte ihn an einem dicken Seil an der fünf Meter hohen Decke auf. Anderntags in der Physikstunde sagte ich gar nichts und ließ nur das schwere Pendel von der Seite her ins Blickfeld schwingen. Wie langsam! Das bloße Zusehen macht ruhig. Von selbst lockt es die Jungen und Mädchen von ihren Plätzen. Sie umstehen dicht und respektvoll den gefährlichen Schwingungsraum. Zu sagen ist nichts. Die Föhlung bedarf keiner Aufforderung, sie bedarf nur der Zeit, die die Schule sich so selten nehmen darf. Alle Köpfe gehen mit, auf und ab, hin und her. Das leise Anlaufen, der sausende Sturm durch die Mitte - ein auf gefangener Fall -, drüben der zögernde Aufstieg bis zum Umkehrpunkt; er kommt nicht ganz so hoch wie er war, der Brocken...

Die vertraute Schaukel ist jetzt objektiviert, ein Gegenüber geworden. Sie schaukelt sich allein, fast unermülich, ohne dass einer sie antreibt, ihrer selbst ganz sicher. Das bloße Anschauen lenkt den Sinn aufs Maßvolle. Dieses Pendel trägt das Maß seines Schwingens, seines besonders langsamen Schwingens, in sich. Warum schwingt das lange Pendel so langsam? - Es ist zu spüren: die Zahl nähert sich, das Gesetz.

Am großen Pendel sieht man Fragen, die das kleine eilige nie erregt, zum ersten Mal: Der rätselhafte höchste Punkt, an dem der Felsbrocken umkehrt. In diesem Augenblick: bewegt er sich da oder nicht? Hält er an oder? Wie lang währt die Pause der Bewegungslosigkeit? - Ist diese Frage einmal gesehen, so beginnt ein nicht voraussehendes Gespräch, in der Umgangssprache versteht sich, noch nicht in der Sprache der Physik. Der Lehrer braucht gar nichts zu sagen. Höchstens am Ende kann er zusammenfassen: Es ist ein Stillstand ohne Dauer; das was der Physiker einen »Zeitpunkt« nennt. Kürzer als jeder Augenblick, kleiner als jeder Moment, unter aller Zahl. Seine Dauer ist Null. Da steht ein Körper und steht doch nicht still - so etwas gibt es also.

Diese einföhrende Betrachtung, die ich hier andeutete, schließt nicht nur nicht aus, dass wir danach zur Pendelformel kommen: im Gegenteil. Sie erschließt erst die Sache, so dass sie redet, und die Schüler, dass sie »dabei sind«. Eile verdirbt alles.

Genug von dem großen Pendel. Ich führte es hier nur als Beispiel an für möglichst große, instrumental einfache Demonstrationen von Phänomenen nur zum ruhigen Anschauen, vor aller Messung. - Ich nenne noch: meterlange leuchtende Spektren, die Farbenspiele der sogenannten Gasentladungen, das Foucaultsche Pendel, die Gravitationswaage, und schließlich, den Schulbaumeistern empfohlen: eine große ständige Camera obscura, zum Hineingehen. Man sieht dann an der Wand den bewegten Farbfilm der Nachbarstraße oder auch der wehenden Bäume eines Parks, rätselhaft hervorgebracht und auf den Kopf gestellt durch das Einfachste, was man sich denken kann: ein leeres kleines Loch.

Ich war auf das Pendel gekommen von der Erfahrung her, dass schon räumliche Verkleinerungen, und viel mehr noch der übereilte Einbau in Messapparate das Phänomen verkümmert erscheinen lassen können.

Vorher hatte ich versucht zu zeigen, dass es seinen Rang als primäre Grundlage des Verstehens verliert, wenn symbolhafte Strukturen (etwa das Atom), als richtige körperliche kleine Dinge missdeutet, für die Ursachen der Phänomene gehalten werden; eine totale Umkehrung des Verhältnisses zwischen dem Phänomen und seinem physikalischen Bild.

Eine ebenso umkehrende Wirkung scheint vorzukommen, wenn die Phänomene auch wieder nur als Folgen eingeschätzt werden, aber jetzt nicht von materiell gedachten Dingen, sondern von magisch verstandenen »Naturkräften«. Das geschieht da, wo Begriffe, die das Wort »Kraft« enthalten (Zentrifugalkraft, Gravitation, Arbeit, Energie), nicht kritisch genug entwickelt werden, so dass sie noch der Willenskraft verwandt erscheinen.

Neigt nicht der Autofahrer dazu, sich in der Kurve von einer im Raume wesenden »Zentrifugalkraft« ergriffen zu fühlen? Während doch nichts weiter geschieht, als dass sein Körper die Kurve nicht mitmacht. - Wir sagen heute nicht mehr, dass die Naturkraft Gravitation die Planeten in ihre Bahnen zwingt. Wir sagen: sie laufen, wie wir beobachtet haben, und um diesen Lauf mathematisch beschreiben zu können, haben wir die Gravitationskraft definiert, mit stillschweigender Zustimmung der Phänomene: eben der Planetenbahnen am Himmel. Diese Definition ist ständig korrigierbar. (In der Allgemeinen Relativitätstheorie ist der Begriff Kraft ganz entbehrlich geworden.)

Ich fasse zusammen und nenne die Folgen.

Ruhige Gespräche mit Studenten, durch Jahre fortgesetzt, und auch mit Laien, lassen erkennen: Ein verbrühender und übereilter, meist sogar vorwegnehmender Einmarsch in das Reich der quantitativ beherrschenden Apparate, der nur nachgeahmten Fachsprache, der nur bedienten Formeln, der handgreiflich missverständlichen Modellvorstellungen, ein solcher Unterricht zerreißt für viele schon in frühen Schuljahren unwiederbringlich die Verbindung zu den Naturphänomenen und stört ihre Wahrnehmung, statt sie zu steigern. Er reduziert die Sensibilität für Phänomene und für Sprache gleichermaßen.

Viele erinnern sich deshalb ihrer Schulphysik nicht gern, und ihre Kenntnisse zerfallen in kürzester Zeit.

Diese Hinfälligkeit der physikalischen Schulkenntnisse (bei genauem Zusehen genügt schon ein halbes Jahr nach dem Ende der Schulzeit, sie verlöschen zu lassen) ist beunruhigend, da sie von den Lehrern kaum wahrgenommen und deshalb nicht geglaubt wird. Sieht man bei den einzelnen Studenten genau hin, so häufen sich die Fälle, bei denen das vermeintliche Wissen zerfällt, weil es sich vom Phänomen abgeschnürt hat, und es oft genug sogar verdunkelt, statt es zu erhellen. Wäre es sonst möglich, dass etwa 9 von 10 Deutschen zwar Monat für Monat den Mond seine Lichtgestalt wandeln sehen und doch lebenslang glauben, in der Schule gelernt zu haben (vermutlich an Lampe, Apfel und Nuss demonstriert statt am Phänomen, am Himmel), daran sei der »Erdschatten« schuld, statt einmal hinzusehen, wie die Sonne immer gerade nahe bei der schmalen, also stark verschatteten, Mondsichel steht und nicht ihr gegenüber (wie es sein müsste, wenn sie den Erdschatten auf den Mond zeichnen sollte).

Es gibt nicht wenige solche Beispiele. Schlimmer als solche Einzel-Irrtümer ist es, dass Physik von vielen Laien überhaupt nicht verstanden wird. Ein Vergleich drängt sich auf:

So wie in den ersten Lebensjahren des Kindes die Mutter nicht ersetzbar ist durch ein noch so hygienisches Kinder-Hospital, so kann im anfänglichen Physikunterricht das Naturphänomen nicht vertreten werden durch noch so exakte quantitative Labor-Effekte und schon gar nicht durch Modellvorstellungen.

Physik erscheint sonst dem Lernenden nicht als das, was sie ist: jenes zwar einschränkende aber erhellende Denkbild, das die ursprüngliche Natur bereichernd überwölbt. Sie zeigt, im Gegenteil, verdunkelnd und verödend eine unheimliche natura denaturata.

Zeit ist nicht mehr zu verlieren. Die Schule kann nicht schnell anders werden. (Sie ist fast so schwer wie die Welt zu verändern.) Aber die von Hugo Kükelhaus nicht nur erdachten, sondern auch hergestellten Geräte zur »Organerfahrung« sind schon da, unvergleichliche Mittel zur Regeneration der Sinne und zur Humanisierung der physikalisch-technischen Bildung¹⁵.

Ich hatte meine Betrachtung mit Demokrit begonnen; (»nichts als Atome«) und dem »Homo faber« (»Wieso ein Erlebnis!?!«).

Lassen Sie mich schließen mit einem Bericht von Marie Curie, über die Zeit, als sie mit ihrem Mann Pierre Curie das Radium entdeckt hatte. Sie schreibt: »Wir beobachteten mit besonderer Freude, dass unsere an Radium angereicherten Produkte alle von selbst leuchteten. - Es kam wohl vor, dass wir abends nach dem Nachtmahl nochmals hingingen, um einen Blick in unser Reich zu tun... . Unsere kostbarsten Produkte lagen auf Tischen und Brettern verstreut; von allen Seiten sah man ihre schwachleuchtenden Umrisse, und diese Lichter, die im Dunkeln zu schweben schienen, waren uns ein immer neuer Anlass der Rührung und des Entzückens¹⁶«.

Anmerkungen:

- 1) Demokrit. Nach W. Kranz: Vorsokratische Denker, Berlin 1939, S. 147 - (Wörtlich: »Der gebräuchlichen Redeweise nach gibt es Farbe, Süßes, Bitteres; in Wirklichkeit aber nur Atome und Leeres.« - Die Sinne sprechen da zum Verstand: »Armer Verstand, von uns nahmst du die Beweisstücke und willst uns damit niederwerfen? Zum Fall wird dir der Niederwurf.«)
- 2) Max Frisch: Homo Faber, Suhrkamp Bibl. Nr. 87, S. 28.
- 3) Max Born: Physik im Wandel meiner Zeit, Braunschweig, 1957, Einleitung.
- 4) C. F. v. Weizsäcker: Zum Weltbild der Physik, Stuttgart, 6. Auflage, 1954, S.17.
- 5) Max Born: Erinnerungen an Einstein, Physikalische Blätter, 7/1965, S. 300.
- 6) S. Thiel: Grundschulkind zwischen Umgangserfahrung und Naturwissenschaft; in: Wagenschein-Banholzer-Thiel: Kinder auf dem Wege zur Physik, Klett, Stuttgart, 1973, S. 90-154.
- 7) J. Mehra (Hrsg.): The Physicist's conception of Nature, Dordrecht, 1973.
- 8) Dabei soll unter »Landschaft« alles einbegriffen sein, was sie in einem Menschen »ohne weiteres« auslösen kann, wie etwa »Stimmungen«.
- 9) Es ist auch gar nicht zu erwarten, dass der Mensch, der ja der Natur angehört, die Frage nach dem »Wesen« der Naturerscheinungen mit rationalen Mitteln definieren, geschweige denn die Antwort finden könne. Es leuchtet ein, dass wir die Antwort nur in der Schwebelandschaft wechselnder Aspekte (deren jeder ein beschränkender ist, wie auch die Physik) zu umschreiben vermögen. Ein Geheimnis wird umkreist. Physikunterricht darf von vornherein nicht den Eindruck begünstigen, das Zentrum dieses Geheimnisses sei durch Physik jemals erreichbar. Der englische Physiker, Mathematiker und Philosoph Bertrand Russell sagt deutlich, wie wenig Physik Ontologie, Wesenserkenntnis sein kann: »Was wir über die physikalische Welt wissen, ist viel abstrakter, als man früher annahm... über die Gesetze, nach denen diese Vorgänge ablaufen, wissen wir gerade soviel, wie in mathematischen Formeln ausgedrückt werden kann, - aber über ihre Natur wissen wir nichts«. Er gebraucht dann noch den hübschen Vergleich mit dem Finanzmann, der mit Weizen und Baumwolle praktisch handeln kann, ohne je etwas von beiden gesehen zu haben. Bertrand Russell, Das ABC der Relativitätstheorie, Rowohlt Taschenbuch 6787, S. 170. - (An derselben Stelle ist auch der Vergleich des physikalischen Verstehens mit dem Lesen einer Partitur durch einen »Stocktauben« ausgeführt.)
- 10) Ein Motivations-, ein Initiations-Phänomen ersten Ranges: Die Fragen drängen sich: Warum bewegen sich die Stäubchen? Sind sie lebendig? Nein: gewöhnliche Rußbröckchen, Kristallsplitter, Fetttropfchen tun das: wenn sie nur winzig genug sind und nicht auflösbar. - Sie »bewegen sich« also gar nicht, nicht »freiwillig«, tun selber nichts, tun nur mit! Wo aber ist der Treiber? - Das kann nur das Wasser sein. Aber das Wasser ist doch ganz still? Offenbar doch nicht. Die Hypothese ist kaum zu umgehen: Wir müssen uns im tiefsten Innern des Wassers eine ständige stoßende Unruhe vorstellen (der Physiker Lenard nannte sie »Kleinwimmel«), einen ganz geheimen Aufruhr, ein Mikro-Fiebern, ein unaufhörliches, das immer da ist, das einfach dazugehört zur Materie und zur Wärme: es steigt und fällt mit der Temperatur.
Wenn wir den Schülern die Zeit und damit das Selber-Denken erlauben (worauf sie ja Anspruch haben), so werden sie diese Hypothese des Dauerrimmels für unbrauchbar erklären. Ja aber, werden sie rufen: das wäre doch ein »perpetuum mobile«, und noch dazu ein richtiges, ein reibendes! Dieser Wimmel könnte nicht fort dauern, er müsste sich bald in Reibung ersticken (und dabei das Wasser ein wenig erwärmt haben)!

Dieser Einwand ist zwingend, und er zwingt uns weiter zu einer befremdenden Vorstellung. Das Wasser, so wie wir es als Kinder kennen lernten, wenn wir anfangen mit ihm zu spielen, das Wasser das uns durch die Finger rann, das Wasser das immer von selbst ganz still wurde, mochten wir es noch so wild umgerührt haben. Dieses vertraute Wasser muss in seinem tiefsten Innern und in dessen winzigen Räumen ganz anders vorgestellt werden, als es im großen ist: es darf dort keine »innere Reibung« geben, und das heißt: keine Berührungsflächen in sich selber (Wasser an Wasser), es also kann nicht lückenlos, es kann - gelehrt gesprochen - kein Continuum sein! Es ist ein ständig bewegtes Discontinuum.

Dies scheint mir kein schlechter erster Zugang zu Demokrits Atomismus. In Verbindung mit anderen (chemischen) Schlüssen, führt er später zu dem Bild ideal elastischer Bälle, die einander ohne Berührung stoßen und wirklich ein - im wörtlichen Sinn - perpetuum mobile bilden, so lang von Wärme noch die Rede sein kann. Und da sie also selber, diese Moleküle, einzeln nicht warm sein können und nicht kalt, sind sie schon keine »richtigen« Wasserportionen mehr.

Dieser Vorstoß zum Atomismus steht hier als Exkurs. Für das, worauf ich im Augenblick hinaus wollte, bedarf es der Moleküle noch gar nicht. Es genügt die Entdeckung: es gibt eine geheime wirre innere Bewegung, deren Heftigkeit an den Wärmegrad gebunden ist.

¹¹⁾ Francis Bacon, Galileis Zeitgenosse, hat diese verborgene Bewegung vorausgeahnt und ist ganz unbedenklich der »Nichts-Als-Philosophie« verfallen. Er schrieb 1620 »Man verstehe wohl, wir sagen... dass Wärme nichts anderes als Bewegung sei... eine expansive, gehemmte, die kleineren Teile durchdringende Bewegung«. Zitiert aus John Tyndall: Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung, Braunschweig, 1867, S.69 f. (Dort Auszüge aus dem »Novum Organon« nach: Franz Bacons Werke, Leipzig 1830).

¹²⁾ W. Heisenberg: Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft, 7. Aufl., Stuttgart 1947, S. 97.

¹³⁾ W. Heitler: Vom Wesen der Quantenchemie, in: Physikal. Blätter 6/1973, S. 252. Insbes. S.256. - Derselbe: Schweizerische Lehrerzeitung v. 29.1.1965.

¹⁴⁾ Physikal. Bl. 5/1975, S.195. 61

¹⁵⁾ Hugo Kükelhaus: Fassen, Fühlen, Bilden (Organerfahrungen im Umgang mit Phänomenen), Gaia-Verlag, Köln, 1975.

¹⁶⁾ M. Curie: P. Curie, Wien 1950. - Nach Phys. Bl. 4/1961, S.168.

Dieser Textauszug ist eine Abschrift aus „Fragen der Freiheit“ Juli-August 1976. Wagenschein-Archiv-Nummer 3178 (Punkt 204/3 der Bibliografie in www.martin-wagenschein.de)