

## Physikalischer Unterricht und Intellektualismus (1935)

### I

In welchem Sinne das Wort Intellektualismus hier verstanden werden soll, lässt sich am besten aus der Eigenart des exakt-naturwissenschaftlichen Denkens selbst erkennen:

Es besteht in einem Fortschreiten von der lebendigen Welt der sinnlichen Naturerlebnisse zu einem Netz abstrakter numerischer Symbole. (Denn nur auf dem Umweg über diese Symbole gelingt es, den gesuchten Zusammenhang der Erscheinungen zu fassen.) Diese Abstraktion geschieht nicht erst bei der Schaffung der *letzten* Begriffe und solcher Theorien, die *letzte* Zusammenfassungen geben, sie wird schon vorbereitet in der Formulierung des einzelnen Gesetzes.

Wenn nun diese Abstraktion im Unterricht zu schnell und zu unorganisch vor sich geht, dann entsteht *ein Zustand der Ungereiftheit und der Wurzellosigkeit des abstrakten Wissens*. Dieser Zustand soll hier als Intellektualismus bezeichnet werden.<sup>1</sup>

Für den wahren Forscher, dem sein Wissen unter dem Drang der Leidenschaft aus primitiven Erlebnissen stetig und standfest *erwachsen* ist, hat auch das abstrakteste Geäst seines Gedankengebäudes dasselbe Leben wie die ersten Naturerfahrungen seiner Knabenjahre. *Eine Welle* durchflutet das Ganze.

Wird aber die wissenschaftliche Betrachtung der naiven aufgesetzt wie durch eine chirurgische Operation, so entsteht im Lernenden jenes instinktive – in klare Einwände selten umsetzbare – Gefühl des Unbehagens, der Nüchternheit und der Kälte. Er spürt, wie gleichsam ein Organismus durch sein Gerippe ersetzt wird.

Es ist offenbar, dass die Sicherung jenes Überganges von der schlichten zur wissenschaftlichen Naturbetrachtung eine *Hauptaufgabe* der Höheren Schule ist.

### II

Es soll nun zunächst durch eine Reihe von *Beispielen* versucht werden zu zeigen, welcher Art diese Übergänge sind und in welcher Weise sie überleitet werden können. Die beiden ersten Beispiele beziehen sich auf die Gewinnung des Gesetzes aus dem Experiment, das dritte und vierte auf seine theoretische Herleitung. Das fünfte gilt dem Aufbau einer zusammenfassenden Hypothese.

1. Das *BOYLESche Gesetz* ist gut geeignet, die beiden Arten der Einführung, die äußerlich gewaltsame und die stetig organische, einander gegenüberzustellen.

Die erste würde so verlaufen: Druck und Volumen sollen in ihrer Abhängigkeit

---

<sup>1</sup> W. FLITNER gibt in Die Erziehung 8 (1933/34) H.12. S. 548 die Definition: „Intellektualismus ist die Herrschaft eines ungerreifen und unfertigen Wissens.“ – Für die exakten Naturwissenschaften im besonderen lässt sich die Ungereiftheit auf den Abstraktionsprozess festlegen

voneinander untersucht werden. Es folgt ein Versuch mit der in einem zweimal gebogenen Glasrohr durch Quecksilber abgeschlossenen Luftmenge. Ein leichter Hinweis genügt, um den Schüler aus der erhaltenen Tabelle erkennen zu lassen, dass das Produkt Druck  $\times$  Volumen immer den selben Wert hat.

Im Gegensatz dazu würde die andere Art der Einführung etwa folgenden Gang nehmen: Es ist das Wesen des Gases, gegen die einschließenden Wände zu drücken; wenn diese nachgeben, den Druck allmählich zu verausgaben; wenn sie aber von außen gegen das Gas bewegt werden, den Widerstand zu verstärken. Das zeigen einfachste Versuche (Gummiball, Fahrradpumpe<sup>2</sup>, Ballon im luftverdünnten Raum). Diese Vorgänge werden zunächst als ein Kampf zwischen dem Gas und seiner „Außenwelt“ erlebt. Vergleiche aus der menschlichen Welt stellen sich ein, die später, bei der Erklärung des Gesetzes aus der kinetischen Gastheorie, sich für mehr als eine Analogie erweisen mögen (z. B.: Das Gas gleicht einer Truppe, die sich bei einer mühelosen Expansion verzettelt, in der Gefahr zusammengedrängt aber an Widerstandskraft gewinnt). – 1. *Formulierung*: Unter dem zunehmenden Außendruck zieht sich das Gas zusammen; wenn der Druck nachlässt, dehnt es sich aus. Sobald erkannt ist, dass der von außen wirkende Druck gleich dem Druck ist, mit dem das Gas schließlich „antwortet“, wird auch verstanden, dass hier nur von Druck und Volumen „des Gases“ gesprochen zu werden braucht. 2. *Formulierung*: Das Volumen des Gases nimmt zu, wenn der Druck abnimmt, und umgekehrt. Kurz: Druck und Volumen ändern sich gegeneinander. – Manchem Schüler muss nun erst bewusst gemacht werden, dass diese Fassung quantitativ noch unbestimmt ist. Mancher neigt auch dazu, sie schon für identisch mit der umgekehrten Proportionalität zu halten. Eine Reihe von Messungen wird damit nötig. Die Fahrradpumpe, die kürzlich hierfür vorgeschlagen wurde<sup>2</sup>, ist der naiven Stufe der Beobachtung viel gemäßer als die erwähnte Glasröhre. Ob man nun von vornherein eine geometrische Folge von Drucken ansetzt oder sie absichtlich in eine arithmetische einbaut, die entscheidende geometrische Folge von Wertepaaren wird sich bald herausheben. Sie sei diese:

$p$	1	2	3	Atm.
$v$	49	24,1	16,5	cm <sup>3</sup>

Vielleicht wird hieraus das Gesetz  $p \times v = 49$  direkt herausgelesen. Wahrscheinlicher ist: es entsteht die 3. *Formulierung*: Wenn  $p$   $n$ -mal größer wird, so ist  $v$   $n$ -mal kleiner geworden. – Daraus lässt sich eine Rechenvorschrift (Formel) machen, nach der man zu jeder beliebigen Zahl  $p$  die zugehörige Zahl  $v$  finden kann: Soviel mal  $p$  größer ist als der Ausgangsdruck 1., soviel mal kleiner als 49 ist  $v$ .

Das heißt  $v = \frac{49}{p}$ . Da  $p$  und  $v$  in ihrer erkannten Gegenbewegung gleichberechtigt sind, ist es besser, als *letzte Formulierung*  $p \times v = 49$  zu schreiben, was sich ja aus der Tabelle auch unmittelbar erkennen lässt. – In der Tat ist diese Form mit der dritten deshalb identisch, weil im konstanten Produkt ein Teiler des einen Faktors sich mit dem gleichgroßen Multiplikator des anderen aufhebt. Das konstante Produkt erscheint als der algebraische Automat, der die gleichmäßige Gegenbewegung der

<sup>2</sup> THEIMANN: Das Boyle-Mariottesche Gesetz an der Fahrradpumpe. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 47 (1934) S. 166.

beiden Veränderlichen selbsttätig und naturgetreu nachbildet. Die Konstante vertritt gleichsam „das Gas selbst“, als das, was von der Veränderung von  $p$  und  $v$  unberührt bestehen bleibt.

2. Der *Grundgleichung der Mechanik* muss der Satz vorangehen, dass eine konstante Kraft eine konstante Beschleunigung hervorruft. Wenn man *hierzu* den MÜLLERSchen Reifenapparat benutzt – der zu anderen Zwecken ausgezeichnet ist – so hat man den Blick schon auf die Exaktheit der Messung gerichtet und vernachlässigt das, was *vorher* geklärt sein muss.

Denn der Anfänger wird schwer begreifen, *was* hier gemessen wird, weil ja der Reifenapparat zugunsten der Genauigkeit die Grundsituation geopfert hat, die untersucht werden soll: Es ist kein Körper mehr da, der *fortbewegt* wird. Selbst wenn man eine Laufmarke anbringt, die die geradlinige Bewegung stellvertretend übernimmt, so wird man diese Abstraktion dem *Anfänger* nicht zumuten dürfen. Er muss in der ersten Versuchsanordnung die Situation, um die es geht, wirklich vor sich haben. Er muss den bewegten Körper und die bewegende Kraft, beide, „sehen“, und zwar getrennt voneinander (deswegen scheidet für diesen Zweck die Fallrinne aus); er darf auch nicht der Gefahr ausgesetzt sein, Gewicht und Masse zu verwechseln (was die ATWOODSche Maschine begünstigte). Für ihn ist die Frage:

Wie bewegt sich ein Körper, an dem irgendeine Kraft mit gleichbleibender Stärke zieht?

Derartige Erwägungen haben WULF<sup>3</sup> zur Einführung seiner Schwebebahn veranlasst. Der von POHL<sup>4</sup> benutzte Wagen ist ihr im Prinzip verwandt. Diese beiden Apparate entsprechen also weit mehr als der Reifenapparat einem organischen und vorsichtig abstrahierenden Unterricht.

Man könnte in dieser Richtung noch weiter zu gehen versuchen. Muss nicht etwas Wesentliches noch undeutlich bleiben, solange man als treibende Kraft immer nur ein fallendes Gewicht benutzt? Der Anfänger muss den Einwand spüren, dass doch das fallende Gewicht „natürlich“ sein Bewegungsgesetz auf den rollenden Wagen „überträgt“, so dass er nun ebenfalls eine horizontale Fallbewegung machen muss, „nur langsamer“. Er wird das Experiment als einen verkappten Fallversuch empfinden, der nichts Neues zeigt und der Allgemeinheit der Frage nicht entspricht, die untersucht werden soll.

Der Ausweg, das Fallgesetz erst *nach* dem Beschleunigungsgesetz zu behandeln, wird sich kaum gehen lassen, da der Schüler es auf der Unterstufe kennen lernen muss, während er den Beschleunigungssatz erst auf der Oberstufe verstehen kann. Selbst wenn es sich einrichten ließe, würde es *dem* Lehrer widerstehen, der die Bewegungsgesetze induktiv, beginnend mit den natürlichen Bewegungen, untersuchen will.

Deswegen wäre etwa eine magnetische Kraft viel überzeugender. Man könnte daran denken, den eisernen Wagen von einem Elektromagneten ziehen zu lassen, der in festem Abstand vor ihm herzuführen wäre. Noch besser und natürlicher wäre es aber, wenn der Schüler die treibende Kraft nicht „sähe“, sondern selbst ausübte, und wenn er ihre Konstanz ständig zu überwachen hätte. Er müsste dann einen leicht laufenden schweren Wagen auf glattem horizontalen Boden vor sich herschieben, und zwar so, dass eine Feder, an der seine Hand angreift, immer dieselbe Durchbiegung anzeigt.

---

<sup>3</sup> Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. (1931) S. 97 ff.

<sup>4</sup> R.W. POHL: Mechanik und Akustik 1931 S. 28, - Vgl. auch KAHRA: Ein Apparat zur experimentellen Bearbeitung des Gesetzes  $K = m \cdot b$ . Zeitschr. f. d. mathem. u. naturwiss. Unterr. 65 (1934) S. 340.

Dass der Wagen dann eine gleichförmige beschleunigte Bewegung ausführt, könnte durch Tropfen<sup>5</sup> gezeigt werden, die in gleichen Zeitabständen vom Wagen abfallen und auf dem Boden die quadratisch wachsenden Abstände markieren. Dann würde der Schüler die konstante Kraft und zugleich die gleichmäßig steigende Geschwindigkeit „am eigenen Leibe“ erfahren. Der Versuch könnte in einer Turnstunde gemacht werden und vielleicht auch als Übung zur Körperdisziplin von Wert sein. (Auch bei anderen Gelegenheiten könnten wohl sportliche Übungen günstige Ausgangspunkte – nicht nur Anwendungen – für die Mechanik geben.) Dieser Versuch brauchte nicht sehr genau zu sein. Es genügt, wenn er das Gesetz aus der Lage der Tropfen als wahrscheinlich vermuten ließe. Denn jetzt wird der Schüler verstehen, dass am Reifenapparat im Grunde dasselbe Geschehnis unter dem Antrieb einer andersartigen Kraft mit größerer Genauigkeit abläuft. Er wird den Bau des Apparates zu schätzen wissen und an ihm die exakte Prüfung nachholen.

3. Die Formel für die *Radialbeschleunigung* ( $b = \frac{v^2}{r}$ ) bzw. die Radialkraft sei in der üblichen Weise abgeleitet und experimentell bestätigt. Der Schüler habe beides verstanden. Wird ihm nun die Frage gestellt – vielleicht steigt sie ihm selbst auf –: „*warum* ist eigentlich die Radialkraft umgekehrt proportional zu  $r$  und direkt proportional der *zweiten* Potenz von  $v$ ?“, so wird er sich nicht dabei beruhigen – und zwar um so weniger, je mehr er wirklich *physikalisch* denkt – dass das ja durch die Ableitung der Formel gerade bewiesen sei. Denn dieser Beweis zwingt ihn zwar, nicht zu zweifeln, aber er gibt ihm keine *Einsicht!* Dabei ist es möglich, diese Einsicht in hinreichender Annäherung mit einfacheren Mitteln zu erlangen, als sie der Beweis fordert:

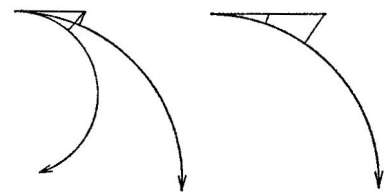


Fig. 1. Wenn der Bahnradius auf die Hälfte zurückgeht, muß sich, bei gleichbleibender Geschwindigkeit, die Radialkraft verdoppeln.

Fig. 2. Die Radialkraft wächst, bei konstantem Bahnradius, mit einer höheren als der ersten Potenz der Geschwindigkeit.

Die Radialkraft soll den kreisenden Körper von der Tangente, auf die ihn die Trägheit treibt, zurück auf der Kreisbahn erhalten. Je kleiner  $r$ , je größer also die Bahnkrümmung, desto größer ist die Abweichung der Tangente von der Kreisbahn, desto stärker muss also auch die zurückziehende Kraft sein, vorausgesetzt, dass die Geschwindigkeit unverändert bleibt. Die Figur 1 lässt den Schüler erkennen: je „richtiger“ sie gezeichnet ist (d. h. je kleiner das Bahnelement), desto exakter gilt die Proportionalität.

Dass andererseits auf unveränderter Kreisbahn mit zunehmender Geschwindigkeit: (1 : 2) die Abweichung von der Tangente wächst, ergibt eine entsprechende Zeichnung (Fig. 2). Sie zeigt noch mehr: dass nämlich diese Abweichung in einer höheren als der ersten Potenz zunimmt. Wenn  $v$  doppelt so groß wird, wächst die Abweichung von der Tangente auf *mehr* als das Doppelte. Das Vielfache, auf das die Abweichung anwächst, ist wieder von dem Bahnelement abhängig. Die Folge mit dem Grenzwert 4 lässt sich aus einer größeren, genaueren Zeichnung abgreifen. Durch diese Vorbeachtung sieht der Schüler die Notwendigkeit einer infinitesimalen Untersuchung ein, und der bekannte Beweis kann folgen.

<sup>5</sup> ROTHSCHILD: Über Schülerübungen zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterr. 47 (1943) S. 75

Die in diesem Beispiel beschriebene Lage kehrt im physikalischen Unterricht häufig wieder: Funktionale Zusammenhänge werden *bewältigt* mit Hilfe bekannter mathematischer Sätze (hier etwa des Höhensatzes), die in anderen Sachgebieten (hier der Flächenberechnung) erkannt wurden. Dieser Satz wird als *Werkzeug* benutzt. Er „liefert“ den funktionalen Zusammenhang. Eine Einsicht aber in die eigentliche physikalische Begründung des Zusammenhangs gibt er nicht, er kann sie sogar verdecken.

Ein Schüler, der die Formel oder ihren Beweis nicht mehr kennt oder nicht verstanden hat, der sollte wenigstens diese Vorbereitungen kennen gelernt haben. Ein funktionaler Zusammenhang ist ein Kampf von Einflüssen. Das „Mehr oder Weniger“ dieser Einflüsse muss abgetastet sein, ehe, zuletzt, das geeignete mathematische Werkzeug angesetzt wird, um das „Wie viel“ zu fassen.

Da dieses Werkzeug häufig den Charakter der Maschine hat, darf es – wenn es bildend und erzieherisch wirken soll – erst dann benutzt werden, wenn die Aufgabe „handwerklich“ (das heißt hier auf dem Wege des „gesunden Menschenverstandes“) soweit wie möglich vorbereitet ist.

(Ähnliches begegnet uns im *mathematischen* Unterricht, in der Algebra und besonders in der analytischen Geometrie. Jeder Neuling ist überzeugt, dass ein ebener Schnitt aus dem geraden Kreiskegel eine Art Eilinie herauschneidet. Er kann durch die Aufstellung ihrer Gleichung oder durch den DANDELINSchen Beweis *gezwungen* werden anzuerkennen, dass er sich geirrt hat; aber er wird sich weiter wundern. Die Überlegung, die ihm die *Einsicht* gibt, ist viel einfacher als die beiden genannten Beweise, denn sie ist quantitativ unbestimmter. Sein Fehlschluss beruht meist auf der Meinung, dass nahe der Kegelspitze der kleinere Kreisradius das spitzere Ende der Kurve bewirken müsse. Der An schnittswinkel wird übersehen, der hier groß ist und dadurch das Kurvenende abstumpft. So wird es schon vor der exakten Untersuchung einleuchtend, dass hier zwei Einflüsse sich gegenseitig aufheben und eine an beiden Enden gleich gerundete Kurve erzeugen können.)

4. Die vorbereitende, abtastende, quantitativ noch unbestimmte Erwägung ist nicht nur als Vorbereitung von Wert. Sie wird zum Ersatz, wenn die exakte und abschließende Untersuchung ihr nicht folgen kann, weil sie für die Schule zu schwierig ist. So ist es beim *KEPLERSchen Gesetz*.

Die Formel für die Radialkraft sagt aus, dass ein genau abgewogenes Verhältnis zwischen der tangentialen Anfangsgeschwindigkeit und der anziehenden Kraft der Sonne notwendig ist, damit eine Kreisbahn zustande komme. Genaue Kreisbahnen sind also in der Natur nicht zu erwarten. Die Bahnform, die sich im allgemeinen Fall ausbilden wird, lässt sich durch eine Konstruktion des Bewegungspolygons im groben Umriss feststellen. Doch wird das nicht genügen. Der Schüler versteht oft nicht, dass sich der Planet der Sonne überhaupt wieder entziehen kann, nachdem er ihr unter der Wirkung ihres Zuges einmal so nahe gekommen ist. Wie kommt es, dass „sie ihn wieder loslässt“? Was ihn in die Sonnenferne treibt, ist der „Schwung“, den er während seiner Annäherung gesammelt hat. Ihr „Ziel“ (die Vereinigung) hätte die Sonne nur dann erreichen können, wenn die Bewegung des Planeten am Anfang keine an der Sonne vorbeizielende Komponente gehabt hätte. Diese – nach dem Prinzip der Unabhängigkeit der Bewegungen *nie* ganz zu unterdrückende – Abweichung ist also die Ursache dafür, dass der Planet über sein Ziel hinaus, an ihm vorbei, und unter der ablenkenden Wirkung der quadratisch wachsenden Kraft um es herum schießt, so dass er weit in die Richtung, aus der er kam, *zurückschwingen* muss. Die Anziehungskraft nimmt nun schnell ab; sie lockert ihre Zügel in

demselben Maße, in dem sie sie vorher anzog. So sehr, dass jetzt der entgegengesetzte Zweifel wie am Anfang entstehen kann: wie ist es möglich, dass die Sonne den Trabanten wieder zur Rückkehr zwingen kann, nachdem er sich in so große Ferne verloren hat? Es gelingt ihr dadurch, dass ihre Kraft zwar an Stärke ständig abnimmt, dass sie aber in bezug auf Richtung in eine immer günstigere Lage kommt. Anfangs zieht sie seitwärts, also nur ablenkend, später immer mehr rückwärts, also bremsend. – Dass dieser Gewinn bei einer *zu* großen Anfangsgeschwindigkeit nicht ausreicht, den Planeten zurückzuholen, ist dem Schüler ohne weiteres verständlich.

Derartige einfache Gedankengänge enthalten das 1. und das 2. KEPLERSche Gesetz im Keim in sich. Dass die Kurve eine Ellipse ist, sagen sie nicht, aber sie machen die exzentrische Lage der Sonne ebenso verständlich wie das Geschwindigkeitsgesetz, dessen einfacher Beweis nun folgen kann.

Wenn ein Schüler nur diese vorbereitenden Überlegungen kennt und darstellen kann, so weiß er vielleicht nicht genug; sicherlich hat er vom physikalischen Gehalt der beiden KEPLERSchen Gesetze mehr erfasst als einer, der nur ihren Wortlaut und den Beweis des zweiten reproduzieren kann.

5. Bisher war von einzelnen Gesetzen die Rede. Auf einer höheren Stufe und in einer neuen Weise vollzieht sich der geistige Prozess, wenn eine ganze Reihe von Erscheinungen und Gesetzen zu einem einzigen Zusammenhang, einer „Theorie“, sich vereinigen. Je umfassender die Theorie, desto mehr sind nun ihre Grundbegriffe Denkgebilde, die in unserer sinnlichen Wirklichkeit keine unmittelbare Existenz mehr haben (Moleküle, Kraftfelder, Elektronen, Äther). Die *Schaffung* dieser Begriffe, die Einsicht in die Notwendigkeit ihres Entstehens, das ist hier die Stufe der Abstraktion, die nicht forciert werden darf.

Die einfachste und deshalb für die Schule wichtigste dieser Theorien ist die *kinetische Theorie der Materie*. Zur Begründung dieser Anschauung, dass die Materie aus Körnern (Molekülen) bestehe und dass diese Körner in ständiger Bewegung seien, treten viele einzelne Gesetze zusammen: Ausdehnung, Mischung, Lösung; Verdunstung, Diffusion, Gasdruck; Wärmeerzeugung durch Reibung, mechanisches Wärmeäquivalent, 1. und 2. Hauptsatz; BROWNSche Bewegung; chemische Tatsachen. Die Erörterung dieser Einzelfragen steht zum Teil auf der Stufe der Beispiele 1 bis 4. Die zusammenschließende Beantwortung durch die Molekulartheorie erhebt die Untersuchung in die höhere Ebene der Abstraktion.

Hier kann man gar nicht vorsichtig genug vorgehen. Auf der Unterstufe sollte wohl von Molekülen gar nicht die Rede sein, denn hier ist ein wirkliches Verständnis ausgeschlossen. Aber auch auf der Oberstufe kann man nicht einfach, wie es manche Bücher tun, die Theorie aus ganz wenigen Tatsachen begründen und dann benutzen. Wer erlebt, dass eine Klasse mit dieser Theorie in wirklich geistigen und produktiven Kontakt kommt, kann bemerken, dass sich hier eine ganze Flut zwar sehr naiver, aber gar nicht leicht zu nehmender Fragen und Missverständnisse erhebt. In den Räumen zwischen den Molekülen der festen Körper wird stillschweigend Luft vermutet; mancher vergisst ganz den Zweck der Erfindung dieser Begriffe und sieht nicht ein, warum nicht auch das einzelne Molekül (bzw. Atom) sich ausdehnen können soll. Große Schwierigkeiten macht die Frage, warum die molekulare Bewegung sich nicht in Reibung erschöpft, bis schließlich die entscheidende Einsicht gewonnen ist, dass



die Molekularbewegung nicht die Wärme verursacht, sondern der Wärme *zugeordnet* ist<sup>6</sup>. Da diese Dinge dem Physiker vom Fach einfach geworden sind, kann er sich nur schwer wieder in den Widerstand des naiven Menschen einfühlen. Es ist vielleicht möglich, durch eine geschickte Reihenfolge der Argumente diese Widerstände gar nicht recht wach werden zu lassen und gewissermaßen zu betrügen. Aber wir dürfen nicht den Weg des geringsten Widerstandes, sondern wir müssen den des größten gehen (selbstverständlich nur des wesentlichen, in der Sache liegenden). Wir dürfen nicht Bergbahnen bauen, um dann von oben her die Aussicht auf das mühelos eroberte Gebiet zu deduzieren. Wir müssen die Landschaft der Erscheinungen kreuz und quer durchwandert haben, so lange, bis wir den zum Aufstieg zur Spitze einzig geeigneten Weg erkannt haben!

### III

Die Beispiele sollten zeigen, welche Stadien des Abstraktionsprozesses mir für eine natürliche Gedankenentwicklung wichtig erscheinen.

Meine persönlichen Eindrücke – sie gründen sich auf Erfahrungen mit Schülern aus verschiedenen Teilen des Reiches – sprechen nun dafür, dass wir diese Übergänge bisher tatsächlich vernachlässigt haben und vernachlässigen, dass die Folgen dieser Hast schädlich und offenkundig sind und dass in diesem Sinne allerdings von Intellektualismus mit Recht gesprochen werden kann.

Gewiss gibt es Lehrer und Lehrbücher, die sich an diesen Übergängen bemühen. Aber der Blickpunkt der *allgemeinen* Aufmerksamkeit liegt an einer anderen, einer späteren Stelle. Zwar bemühen wir uns, an die natürlichen Erfahrungen des Schülers anzuknüpfen, aber dieses Geflecht ist dünn. *Auf zu schmalen Wegen, auf zu wenig tragfähigen Fundamenten drängt der Unterricht in die eigentlich wissenschaftlichen Bezirke, die zwar tatsächlich das Ziel seiner Arbeit sind, deren Betreten aber um so mehr den Sinn verliert, je flüchtiger es vorbereitet ist.* Ein großer Teil der Schüler verliert sehr bald den Boden der Wirklichkeit unter den Füßen. Es braucht einer deswegen nicht ein „schlechter Schüler“ zu sein, er braucht sich seines Verlustes nicht einmal klar bewusst zu werden, und auch manchem Lehrer kann der Mangel entgehen. Der Schüler sieht sich in ein exaktes Reich von Begriffen und Zahlen versetzt, deren Abhängigkeiten zwar immer das Experiment entscheidet, die aber doch eigentlich *wurzellos* über der naiv erlebten Naturgesetzlichkeit schweben. Besonders von Mädchen scheint das häufig so empfunden zu werden. Ein verbindendes Stück ist zerrissen, das *vor* dem messenden Experiment seinen Platz hat. Es sind bisweilen gerade oberflächliche und ungründliche, wenn auch intelligente Schüler, die sich mit Hilfe einer formalen Routine hier ganz wohl fühlen und dem Unterricht folgen können. Der *ganze* Kerl dagegen – bei dem das Denken *aussetzt*, wenn es nicht das Erlebnis unter sich fühlt – der also, um dessentwillen unsere Höheren Schulen arbeiten, muss hier Schwierigkeiten haben. Schwierigkeiten sind natürlich gut und unentbehrlich, Mühe muss er haben, aber diese Schwierigkeiten sollten nur aus der Natur der Sache und nicht aus einer unorganischen Methode entstehen.

Denn es wäre ein schweres Missverständnis, zu glauben, wenn wir auf die Vorstufen der Abstraktion mehr Mühe verwendeten, so sei das geeignet, dem Schüler die Arbeit unnötig leicht zu machen, es laufe dieses Bemühen auf eine kindertümliche, eine primitive, gefühlsmäßige Physik, kurz: auf eine

---

<sup>6</sup> *Zusatz 1965:* In der ersten Veröffentlichung stand hier noch die fahrlässige Formulierung „die Wärme *ist*“.

unwissenschaftliche Betrachtungsweise hinaus. Genau das Umgekehrte ist richtig: die Gefahr des hastigen Unterrichtens besteht ja gerade darin, dass in den Köpfen der Schüler an Stelle der Wissenschaft eine *Scheinwissenschaft* sich ausbreitet, dass die erfüllte Landschaft durch Kulissen ersetzt wird und wir uns mit Halbheiten zufrieden geben. Wäre es noch die untere Hälfte! Sie stünde wenigstens auf dem Boden. Aber die obere schwebt in der Luft, wenn die Träger zerfallen, und wird intellektualistisch. Wer Formeln der kinetischen Gastheorie beherrscht, ohne zu wissen, *warum* wir, vor und abgesehen von dieser späteren quantitativen Bestätigung, auf die Vorstellung von Molekülen kommen mussten, wer über Atommodelle Bescheid weiß, ohne bemerkt zu haben, dass die Vielfältigkeit eines Linienspektrums schon beweist, dass ein Atom ein kompliziertes Gebilde sein muss, wer von Elektronen spricht und sie für Dinge hält, die sich von Billardkugeln nur durch die Größe unterscheiden, der ist nicht im Geist der Wissenschaft gebildet. Man hat ihn im Flugzeug auf Reisen geschickt, ehe man ihn Wandern lehrte.

Gründliche Arbeit ist schwer. Ich vermute, dass auf den vorbereitenden Stufen die Hauptschwierigkeiten liegen, dass sie vor allem zeitraubend sind, dass gerade sie eine Auslese der Geistigen erfordern und dass sie eben deshalb geopfert, übersprungen wurden, als die fortschreitende Wissenschaft und das Idol der „allgemeinen Bildung“ (Vielwisserei) der Schule immer mehr und mehr Stoff zur Einfügung in die Lehrpläne zuschoben. – Damit kommen wir auf die Ursachen:

#### IV

Die heute niedergehende mechanistische Epoche führte durch die Schätzung des Wissens und ihrer vermeintlichen Quelle, der Intelligenz, ihren Sinn für das Sichtbare, das Quantum, ihren Mangel an Ehrlichkeit zur Überladung der Lehrpläne, da sie nicht die formende Kraft besaß, die Fortschritte der Naturwissenschaft anders als additiv einzuordnen. Der Kampf gegen diese Vielwisserei hat früh eingesetzt – schon MACH<sup>77</sup> erkannte um 1880 die Gefahr – und es wäre ungerecht, zu übersehen, dass seit vielen Jahren die Bewegung im Unterricht dahin strebt, den Stoff zugunsten der Forschungsmethode auf das Wesentliche einzuschränken. Innerhalb dessen, was als wesentlich blieb, scheint aber noch als mechanistisches Erbteil wirksam zu sein: jenes allzu hastige Streben auf *die* Stufe der Forschung, die der Physik wesentlich ist; die quantitative Betrachtung, die exakte Messung, die Formel. Dort erst scheint uns der eigentliche Arbeitsplatz erreicht zu sein, auf dem wir den Schüler zu seinen Leistungen zu bringen haben. Sind es doch die Bezirke, die der Physiker mit Recht als die wesentlichen seiner Wissenschaft pflegen muss. Hier breitete der Unterricht sich aus, hier hatte er seinen Ehrgeiz. Ein mangelnder Sinn für Wachstum ließ über den letzten Teil des Weges seinen Anfang vernachlässigen und trübte den Blick, der den Scheinerfolg von der wahren Leistung unterscheidet.

Das ist zu verstehen, wenn man bedenkt, dass der künftige Lehrer auf der Hochschule ja in derselben Hast ausgebildet wird, die ihm, wenn er nicht Selbständigkeit genug zur Abwehr hat, die gründliche und im besten Sinne naive Besinnung geradezu abgewöhnt.

Dazu kommt als sehr wesentliche Ursache die Einteilung der Schularbeit in ein Mosaik von Fachstunden. Die stündliche, beziehungslose Umschaltung der Geister von Fach zu Fach ist vielleicht der erstaunlichste und bezeichnendste Übergriff der atomistischen Betrachtung auf organisches Gebiet.

---

<sup>7</sup> Populärwissenschaftliche Vorlesungen. 5. Aufl. Leipzig 1932 S 342 ff



Eine so widernatürliche Arbeitsgliederung verhindert geradezu, dass eine Klasse mit einem Problemkreis in andere als intellektuelle Berührung kommt. Die Stunde reißt ab, bevor sie zu dem stillen, schon nicht mehr absichtlichen Kontakt mit der Erscheinung führt, zu der Versenkung, in welcher der Lernende seine Frage erst *sieht*.

Eine andere Einteilung, die doppelte Bearbeitung der Physik auf Unter- und Oberstufe, ist zwar biologisch durchaus begründet, aber sie kann zu dem Irrtum verführen, die Vorbereitung der Abstraktion sei ja auf der Unterstufe erledigt und man könne nun bei der zweiten Lesung ohne Umschweife auf die exakte und mathematische Formulierung zueilen. Die Innenwelt des Schülers ändert sich aber von Tertia bis Prima so gründlich, dass ein damals begonnener Aufbau nicht nach Jahren und vielleicht von einem anderen Lehrer einfach fortgeführt werden kann.

## V

Betrachtet man die *Folgen*, die ein unorganischer Unterricht haben muss, so ist am bemerkenswertesten, dass er *die mechanistische Weltansicht, aus der er entstanden ist, auch wieder erzeugen muss*. Er führt zu einer nur scheinbar gelehrten und damit oberflächlichen Kenntnis der Naturwissenschaft, so dass er die *Grenzen* der exakten Naturbetrachtung nicht zu erkennen und einzuhalten lehrt. Gerade die Unkenntnis dieser Grenzen begünstigt aber das Missverständnis, das für die mechanistische Weltbetrachtung kennzeichnend ist, dass nämlich die Betrachtungsweise und die Gesetze der exakten Naturwissenschaften ohne weiteres auf andersartige Zusammenhänge (biologische, soziologische) übertragbar seien.

Wer das Elektron für eine Art Billardkugel nimmt, der wird leicht geneigt sein, zu glauben, die Physik zeige die Welt so, wie sie „wirklich“, „an und für sich“ ist, dass sie also auf jedes beliebige Geschehen anwendbar sei. Wer weiß, dass solche Begriffe *Symbole* sind, die in einer anderen Wirklichkeitssphäre bestehen als die Körper unserer Erscheinungswelt, einer Sphäre, an deren Bau der von einem bestimmten Gesichtspunkt aus konstruierende menschliche Geist maßgebend beteiligt ist, der wird hierin bescheidener und vorsichtiger sein.

Man wird vielleicht einwenden, dass dergleichen erkenntnistheoretische Einsichten im Schulunterricht nicht erreichbar seien. Am Beispiel der kinetischen Theorie der Materie lässt sich aber leicht bemerken, dass – im Gegenteil – derartige Erkenntnisse *vor* aller mathematischen Formulierung gewonnen werden können. Wenn wirklich klar wird, dass Wärme der Bewegung der Moleküle zugeordnet ist, so wird auch verstanden, dass das einzelne Molekül weder warm noch kalt genannt werden kann, dass ihm diese Eigenschaft fehlt, die alle Dinge unserer Erscheinungswelt besitzen, dass es also einer anderen Art von „Dingen“ angehört.

Freilich bedingen gerade solche Schlüsse – trotzdem sie in ihrer Einfachheit keinerlei Kenntnis voraussetzen – eine gewisse geistige Reife. Sie ist aber gerade von derjenigen Art, die wir in der Höheren Schule fordern müssen.

## VI

Wir sollten es uns also zum Grundsatz machen, dass nichts abstrakt, formelhaft, gelehrt, fachlich, akademisch gesagt und erklärt werde, bevor es nicht soweit wie möglich in einfachen Worten und in schlichten Denkformen gesagt und erklärt worden ist. Vor allem die auszubildenden jungen Lehrer sollten, auch schon auf der Hochschule, auf die *ersten* Stufen der Abstraktion hingewiesen werden, damit sie ihre wissenschaftliche Unschuld behalten oder wiederfinden. Der beste Weg dazu ist das Studium der Geschichte der Physik im erkenntnis-psychologischen Sinne, wie es ERNST MACH in so vollendeter Weise ausgebildet hat. Seine Werke (Die Mechanik in ihrer Entwicklung; Die Prinzipien der Wärmelehre; Die Prinzipien der physikalischen Optik) sind für den Physiklehrer von einzigartigem und, wie es scheint, nicht voll ausgenutztem Wert. Sie führen den ernsthaften Leser bald dahin, die Werke der großen Naturforscher der Vergangenheit selbst zur Hand zu nehmen. Dort bemerkt er bedeutsame Gedankengänge von äußerster Schlichtheit, die ihm vielleicht nie in den Sinn gekommen sind und ihm die mangelhafte Durchdachtheit seiner eigenen Gelehrsamkeit erschreckend deutlich machen können. Er liest etwa bei HUYGENS<sup>8</sup>: „Die ... wunderbarste Eigenschaft des Lichtes besteht darin, dass die von verschiedenen oder selbst entgegengesetzten Richtungen kommenden Lichtstrahlen einander durchdringen und ohne eine Behinderung ihre Wirkung ausüben. Daher kommt es auch, dass ... von zwei Personen jede zu gleicher Zeit die Augen der anderen sieht“ und dass „zwei Fackeln einander beleuchten können“. HUYGENS schließt daraus, „dass dies nicht durch die Übertragung einer Materie geschehen kann, welche von diesem Objekte bis zu uns gelangt, wie etwa ein Geschoss oder ein Pfeil die Luft durchfliegt“. Es gibt Schulbücher, die dieses einfache und naheliegende Argument gar nicht erwähnen. – Ähnliche Fragen, wie sie sich die alten Forscher vorlegten, wird der Lehrer bei den Kindern wiederfinden, wenn er ihnen die Muße und Besinnlichkeit geben kann, ihre Fragen in sich zu finden und auszusprechen. Die Gespräche mit den Schülern sind die nie versiegende Quelle einfacher Einsichten. Gestehen wir Lehrer es uns ein, dass wir einen sehr großen Teil unseres Fachwissens nicht dem Studium, sondern erst dem eigenen Unterricht verdanken. Nicht nur für den Schüler, auch für den Lehrer ist der Arbeitsunterricht eine Notwendigkeit. Der Lehrer an der Volksschule und der Lehrer an der Höheren Schule können sich hier ausgezeichnet ergänzen: der unbefangene Blick des Laien und das Spezialwissen des Studierten lassen sich nur selten in einer Person ungestört nebeneinander bewahren. Noch vor 50 oder 70 Jahren war das möglich. Wenn man in „veraltete“ Physikbücher dieser Zeit genauer hineinsieht (TYNDALL z. B.), so findet man dort gerade das, was unserem Unterricht verlorengegangen ist. Dort ist noch keine Hast, dort ist noch Stetigkeit und Besinnung, weniger Formeln und mehr Physik, dort ist auch noch mehr sprachliche Kultur. Sie hatten es natürlich auch leichter, wird man einwenden, denn inzwischen ist mindestens noch einmal soviel entdeckt worden, als man damals wusste, und all das müssen wir heute bringen. Aber wir haben ja nur die Wahl: ob wir das alles bringen, oder ob wir in den Geist der Naturforschung einführen wollen. Zwar ist man sich schon lange darüber einig, dass der Stoff eingeschränkt werden muss, wenn der Schüler ihn nicht nur wissen, sondern auch verstehen und in die Methode der Forschung eingeführt werden soll. Wollen wir aber noch mehr als das: ein organisch gewachsenes, ein *naturverbundenes Wissen* erreichen, so werden wir, glaube ich, in der Beschränkung noch sehr viel weiter gehen müssen. Und zwar auch dann, wenn die zur Verfügung stehende Zeit nicht vermindert wird.

<sup>8</sup> HUYGENS: Abhandlung über das Licht, Ostw. Klassiker. Bd. 20, S. 25 u, 11.

Neue Streichungen des Stoffes brauchten uns nicht zu veranlassen, die Systematik zu opfern. Je gründlicher wir an einzelnen Stellen verweilen, desto eher können wir leichte Querverbindungen verantworten. Je selbstverständlicher uns der Arbeitsunterricht ist, desto besser können wir es uns leisten, gewisse Verbindungsteile dem sorgfältig überlegten Vortrag des Lehrers zu überlassen.

Erwägungen, wie sie dieser Aufsatz bringt, begegnen immer wieder dem Bedenken, ein so auswählender und im Primitiven verweilender Unterricht führe nicht zur exakten Wissenschaftlichkeit und bewirke ein Absinken des Niveaus. Es ist umgekehrt. Ohne die sorgfältige Untermauerung auf dem Grunde des Schlichten Naturerlebnisses bauen wir eine Scheinwissenschaft auf. Die vorwissenschaftliche Betrachtung ist der Weg zur wissenschaftlichen Methode. Und leichter ist es, ein wurzelloses Wissen zu übermitteln, denn es sind die Wurzeln, die uns Mühe machen – wenn wir sie nicht ausreißen. Es ist leichter für den Schüler, über eine sehr hohe Mauer gehoben zu werden, als eine etwas weniger hohe aus eigener Kraft und mit bewusster Überwindung aller wesentlichen Widerstände und mit einem klug geleiteten Minimum an fremder Hilfe selbst zu überklettern. Die Mühe wird sich lohnen.

Es gehört zum Wesentlichen lebendiger Wissenschaft, dass sie durch einen Prozess fortschreitender Verfeinerung aus der Welt des Sinnlichen erwächst. Wer diesen Weg nicht im Licht geht, sondern sich über eine nebelhafte Grenze schmuggeln lässt, sieht Nüchternheit, wo Klarheit herrschen sollte, und was dem Kundigen die *Reinheit der Wissenschaft* ist, muss dem überraschten Neuling als *Kälte des Intellekts* entgegenwehen.