

Raimund Rascher

## „Über die bewegende Kraft der Wärme“\*

Eine psychologische Untersuchung zum Physikunterricht

### Mikroskopische Vorstellungen in der Wärmelehre

Die „Teilchenstruktur der Materie“ wird von Klasse 7 an in den Schulphysikbüchern zur Erklärung von Wärmephänomenen herangezogen; man spricht auch von „mikroskopischen Vorstellungen“. Damit werden die physische Verschiedenheit der drei Aggregatzustände (Phasen) fest, flüssig, gasförmig, Wärme und Temperatur, Ausdehnung und Zusammenziehen bei Erwärmen und Abkühlen und die Phasenübergänge erklärt.

Der Aggregatzustand Gas hat dabei die einfachste Konstruktion. Materie besteht aus vielen kleinsten Teilchen. Im gasförmigen Zustand bewegen sie sich nach den Gesetzen der klassischen Mechanik freier Massenpunkte. Sie stoßen untereinander oder mit den Wänden, die das Gas einschließen, zusammen, wodurch sich ihre Geschwindigkeiten in Betrag und Richtung ruckartig ändern. Das einzelne Teilchen vollführt eine 'Zick-Zack'-Bewegung.

Aus diesem ständigen Hin und Her und dem Fehlen 'jeder Bindung' untereinander erklärt sich die Flüchtigkeit der Gase, d.h. ihre Tendenz, jeden zur Verfügung stehenden Raum einzunehmen (Eigendruck). Die Heftigkeit,

mit der dies geschieht, wächst mit steigender Temperatur. Daher wird Temperatur als ein Maß für die mittlere Energie dieser Bewegungen aufgefaßt. Erwärmt man ein Gas, steigt seine Temperatur als Ausdruck für die gesteigerte 'thermische Bewegung' seiner Teilchen an. Gleichzeitig dehnt es sich aus, oder es erhöht sich der Druck auf die Wände. Kühlt man ein Gas ab, vermindert sich seine 'innere Bewegung', die Temperatur sinkt demzufolge, und es zieht sich zusammen bzw. der Druck nimmt ab.

Aus der Sicht der Physik scheint der Einstieg in die „mikroskopischen Vorstellungen“ und die Deutung der Wärmevorgänge mit dem gasförmigen Zustand sinnvoll.

### Protokoll einer Unterrichtsstunde

Bin im Physikraum, Schüler kommen 'rein, nacheinander, sehr unruhig und laut, Streit aus der Pause fortführend. Immer auf dem Sprung, die Geräte auf dem Laborwagen zu vereinnahmen: „Was ist das denn?“ „Was machen wir heute?“ „Toll, ist das ein . . .?“

Klassenbuch, Diskussion der Sitzordnung (einige können sich nicht daran gewöhnen).

\*) R. CLAUSIUS, 1850

Unterrichtsbeginn problematisch, schwierig, immer noch Unruhe. Hin- und Herlaufen, auf den Stühlen wackeln und herumrutschen, zum Nachbarn oder Hintermann sich hinwenden, schwätzen. Setzt sich vorangegangene Erregung fort?

Der eben bestaunte Apparat (Modellversuch zu Gasen) wird auf den Tisch gestellt und an ein Netzgerät angeschlossen. „Oh, elektrisch! Ein Regulator oder . . ., nicht wahr?“ Gemeint ist ein Motor. „Wieviel (Volt) hat er denn? Machen wir jetzt 'was mit Strom?“

Keine der spontanen Fragen bezieht sich ausdrücklich auf den 'Stoff' Wärme: Vom Kontext Wärmelehre keine Spur, aber gespannt auf das, was kommt. – Gelächter, weil eine Glasscheibe lädiert ist. „Waren Sie das?“ „Ja.“

Für einen Augenblick wieder Ruhe und Aufmerksamkeit. Ich erläutere das Prinzip des Experiments: Motor bringt eine kleine Stahlplatte zum Hin- und Herschwingen. Zeige die Glaskügelchen vor und will erklären, was wir jetzt mit ihnen machen wollen und was sie mit dem Apparat und einem Gas zu tun haben: Sie sollen die kleinen Teilchen darstellen. „Was ist das? Toll!“ Mischung aus Gelächter und Erstaunen. Durcheinander, Unruhe. – *Einstimmig: Haben wollen!* „Mir bitte eins.“ „Kann ich eins haben, nur eins?“ „Au ja, jedem eins, sie haben doch so viele!“ „Sind die aus den Patronen im Füller?“ Ein im Umgang mit Lehrern geübter Schüler: „Nach der Stunde, ja?“ – und zur Klasse: „Der braucht die doch jetzt!“ „Die mach' ich mir selber!“ – sagt der mit dem Patronenfüller.

Weigere mich, auf diese Forderungen einzugehen, setze jeweils an, den Ablauf des Versuches zu schildern. Erlebe die Gefahr des Mißlingens und möchte stärker auf die Physik ausrichten, 'jetzt doch endlich zur Physik

kommen'. Irgendwie bin ich gerade dadurch auch nicht unbeteiligt an der Unruhe. Komme mir vor 'wie auf dem verkehrten Dampfer'.

Und so geht's weiter: Der Apparat wird eingeschaltet und fängt an zu laufen, die Kugeln werden eingefüllt, sie beginnen zu hüpfen: „Toll . . .!“ Einige Kugeln springen über den Tisch – noch toller! Danach grapschen . . .

Wenige Schüler sind still und unauffällig, wie sie es immer sind.

Soweit der Beginn einer Unterrichtsstunde über mikroskopische Vorstellungen in der Wärmelehre in einer Klasse 7 der Realschule (33 Schüler). Die beiden vorausgegangenen Stunden behandelten auch schon dieses Thema.

### Wirken und Verfehlen

Nicht einmal im Ansatz wirken offenbar die Schüler an einer Entwicklung solcher physikalischen Sinnzusammenhänge mit, wie sie im Schulphysikbuch formuliert sind. Sie machen zwar mit, 'bringen' aber nicht die vom Lehrer erwarteten Schülerreaktionen. Allenfalls ein Glaskügelchen zu ergattern, an den Geräten herumzufummeln, scheint sie zu interessieren. Dabei sind die Schüler nicht bloß unruhig! Sie sind irgendwie aufgekratzt, was die vielen verbalen und körperlichen Äußerungen zeigen. Und auf irgendeine Weise hängt das auch mit dem Wirken des Lehrers zusammen: seine ständigen Erklärungsversuche, sein 'die Physik stärker ins Spiel bringen wollen'. Er verspürt, daß er diese 'Klasse in Aufruhr' mitbewirkt. Und in dieser Spannung, in der er sein Wirken und gleichzeitiges Verfehlen erlebt, faßt er am Ende dieser Stunde den Entschluß, als Hausaufgabe einen Aufsatz schreiben zu lassen: 'Vergleiche das Glaskügelchen-

Modell für ein Gas mit dem Magnetpuck-Modell'. Das scheint nach dem 'Stoff' der letzten drei Stunden ein bewältigbares Thema. Nach dem intendierten Zusammenhang dieser Modelle mit einem Gas zu fragen erscheint aussichtslos.

Gleichzeitig hofft der Lehrer, auf diese Weise zu erfahren, was in den Stunden in Bewegung gekommen ist. Zusammen mit der Untersuchung des Stundenverlaufs sollen die Aufsätze Grundlage einer psychologischen Untersuchung werden.

### Die Untersuchung

Die Aufsätze lassen sich kaum von gängigen physikalischen Begriffen her verstehen. Man kann nicht so ohne weiteres 'Richtiges' von 'Falschem' oder 'Nicht-Zutreffendem' unterscheiden.

Was ist schon 'richtig' oder 'falsch' an dem Satz einer Schülerin: „Die Kugeln springen so hoch, wie sie Platz haben, genau wie bei Gas, das steigt“? Man verspürt das Bemühen, das Erlebte in einen physikalischen Zusammenhang zu bringen und schulbuchmäßig auszudrücken. Es bleibt bruchstückhaft, im Ansatz, noch nicht gelungen. (Das Gas ist durch Glasrohr und Quecksilberpfropfen eingeschlossen. Dehnt es sich aus, steigt der Pfropfen. Sie hat wohl gerade diesen Versuch vor Augen.)

Wie soll man die folgenden Aussagen einordnen? Jedes Kügelchen hilft jedem hoch – kommt einer herunter, kommt der andere hoch – vorbeizischen, wird der andere auch schnell – hochfliegen, aber zusammenbleiben.

Jedes Bemühen, in solchen Aussagen von der

Physik aus einen Sinn zu gewinnen, scheidet. 'Physik habe ich ihnen wohl nicht beigebracht!'

Aber diese Einschätzung kann der Lehrer – genauer betrachtet – auch nicht mit Entschiedenheit aufrechterhalten. Zu nachhaltig beeindruckt die Selbstverständlichkeit und Entschlossenheit, mit der die Schüler ihre seltsamen Aussagen vertreten, sich gegen seine Einwände verteidigen und sich dabei auf die Experimente beziehen. Sie finden auch teilweise Anklang bei den Mitschülern und werden unterstützt.

Probeweise sieht der Lehrer daher diese Aussagen als Ausdruck ihres Physik-Erlebens an und läßt sich auf die zum Ausdruck kommenden Bewegungen ein. Überraschenderweise gewinnt da dieses scheinbar richtungslose Durcheinander eine Ordnung, eine Gestalt:

hin und her – rauf und runter –  
anstoßen und versperren –  
fördern und behindern.

Genau diese Bewegungen werden in den Aufsätzen ausgedrückt. Damit stellen sich die Aufsätze über Gase und ihre Teilchen als Aufsätze über den 'Aufruhr in der Klasse' heraus.

Aufruhr – das ist das ordnende Bild für das Unterrichtsgeschehen. Es greift die Aufsätze auf und erfaßt im 'Wirken und Verfehlen' auch das Erleben des Lehrers. Und: Aus ihm lassen sich selbst scheinbar sinnlose Schülerproduktionen verstehen.

Ein Schüler schreibt: „Um so mehr Glaskügelchen hinzukamen, um so mehr behinderten sie sich“: Er hat das Nachfüllen weiterer Glaskügelchen gesehen, obwohl dies im Unterricht gar nicht geschah. Im Geschehen in der Klasse gibt er seiner Einsicht in die Geset-



ze von Aufruhr Ausdruck: Je mehr daran beteiligt sind, desto stärker behindert man sich. Dies ist ja auch zutreffend, aber im physikalischen Experiment nicht vorgekommen.

Ein anderer: „Beide haben sich ausgebreitet, soweit es ging, aber der grüne (Puck) ist nie zusammengestoßen“: Hier wird offensichtlich die Devise ausgedrückt, vom Aufruhr unbehelligt bleiben zu wollen. Unabhängig von seiner Farbe stößt im Experiment jeder Puck mit jedem anderen zusammen, ohne sich wegen der magnetischen Abstoßung zu berühren.

Und: „Wir haben Tintenpatronen (gemeint sind die kleinen weißen Kugeln) aus den Tintenpatronen herausgenommen und haben sie in einen Behälter 'reingetan“: Bei der Demonstration wurden aber die Glaskugeln der Lehrmittelfirma verwendet. Doch diese Idee, schon ganz zu Anfang angebracht, verspricht offenbar Halt in den Wirren des Aufruhrs.

Mit dieser Rekonstruktion des Unterrichtsgeschehens aus dem Bild 'Aufruhr' schließt sich fürs erste der Kreis der Beweisführung. Danach kann als gesichert angesehen werden, daß das physikalische Thema 'mikroskopische Vorstellungen der Wärme' direkt mit dem Ingangsetzen von Aufruhr in Verbindung gebracht werden muß, daß es Aufruhr in der Klasse belebt und gefördert hat.

### **Aufruhr in der Klasse – Wärmeaufruhr der Materie**

„Wärmeaufruhr der Materie“ – so nennt WAGENSCHEN die „im Eigendruck der Gase sich am auffälligsten äußernde Aktivität“ alles Stofflichen. Dieses beschreibungsnahe Bild vom physikalischen Phänomen Wärme erlaubt nun folgenden Austausch mit dem Unterrichtsgeschehen. Das Thema 'mikros-

kopische Vorstellungen der Wärme', die sinnfällige Demonstration durch tanzende, ja tobende Kugeln verstärkt bereits vorhandene Aufregung in der Klasse, gibt ihr Gelegenheit fortzubestehen. Die Situation der Schüler im zu engen Klassenraum wird zur Analogie zum Gas im Rezipienten (Gefäß): Nicht für jeden Schüler ist ein Stuhl vorhanden, einige sitzen auf den Bänken. Sie zappeln unruhig hin und her, kommen sich gegenseitig ins Gehege, 'stecken sich an'. In den Einverleibungswünschen der Schüler ist der Lehrer dem Eigendruck ('auffälligste Aktivität'), dem Expansionsbestreben ausgesetzt und in die Wirkungen nachhaltig einbezogen. Er weigert sich, die Kugeln herauszugeben, bemüht sich, durch 'Impulse' auf die Physik zu lenken – und erhöht die Temperatur des 'Schüलगases'.

Bei der Entwicklung dieser 'mikroskopischen Vorstellungen' geraten die Schüler – und mit ihnen der Lehrer – in 'thermische' Bewegungen hinein, also in solche, wie sie die 'mikroskopischen Vorstellungen' gerade herausstellen. „Die bewegende Kraft der Wärme“ (CLAUSIUS) zeigt sich als etwas wahrhaft *Um-sich-greifendes*, das nicht nur Teilchen und die Wärmekraftmaschinen zu spüren bekommen. Die Eigendynamik des Geschehens ergreift alle. Und indem die Schüler dahineingegraten, indem sie sich von der Dramatik erfassen lassen, indem sie 'Aufruhr' leben, üben sie das Thema ein, und es wird ihnen verständlich. Aufruhr paßt zur thermischen Bewegung. Das zeigt diese Schüler-Darstellung der Wärme.

Aufruhr in der Klasse – Wärmeaufruhr der Materie

### **Die Fortsetzung des Unterrichts**

Wie hat der Lehrer angesichts solcher Ein-

sichten den Unterricht in der nächsten Stunde fortgeführt? Seine Untersuchung eröffnet ihm zwar die Sinnhaftigkeit des Unterrichtsgeschehens und seinen physikalischen Bezug. Dennoch wirkt auf ihn der Unterricht zunächst als eine sich steigernde Disziplinlosigkeit der Schüler weiter. Und gleichzeitig beschäftigt ihn der Verdacht, daß 'nicht genug Physik' zum Tragen gekommen sei und nach 'mehr und besserer Physik' in Form von weiteren, eingängigeren Experimenten Ausschau gehalten werden muß.

Dieser Ansatz, die Schwierigkeiten alleine im 'Stoff' zu suchen und durch andere, sachbestimmte Anordnung und Auswahl zu lösen, kipfelt in der Idee, noch detaillierter, noch 'vergrößerter' auf die Stöße der Teilchen einzugehen. Über die zugrundeliegenden mechanischen Gesetze wissen die Schüler vielleicht noch nicht genug, um die thermischen Bewegungen zu verstehen. Aber der hierbei leitende 'lineare Aufbau der Physik' macht ihm klar, daß er auf dem 'Holzweg' ist.

Und ohne daß es dem Lehrer richtig bewußt wird, verläßt er (in der Phase der Unterrichtsplanung) doch mehr und mehr die Schultradition, er verzichtet auf Strafaktionen und deutlichere Experimente. Der Phasenübergang zum gasförmigen Zustand wird ausführlich untersucht: Versuche zur Messung des Temperaturverlaufs beim Kochen von Wasser, Benzin, Alkohol usw. werden aufgebaut, durchgeführt, beschrieben, Meßwerte aufgenommen und graphisch dargestellt. 'Wie von selbst', ohne Maßnahmen von 'außen' (Disziplinarmaßnahmen, Problematisieren des Schülerverhaltens) tritt damit die Ruhe in der Klasse wieder ein.

Damit zeigt sich aber, wie dieser 'Aufruhr' wirksam ist und wie genau dieses Bild *alle* Vorgänge beschreibt. In der Beschäftigung

der Schüler mit dem Phasenübergang zum gasförmigen Zustand gliedert sich ihnen diese Bewegung in Konstantes und Veränderliches: Im Phasenübergang ist die Temperatur konstant, bei den verschiedenen Stoffen wiederholt sich der Kurvenverlauf, die Schüler sind mehrmals zu denselben wiederkehrenden Tätigkeiten angehalten. Diese physikalische Durchgliederung gestaltet die Gegenbewegung zum übersäumenden Toben und bindet es damit.

Schüler und Lehrer folgen den Gesetzen des Aufruhrs, die Schüler machen sich dabei den 'Stoff' klar, der Lehrer organisiert danach 'seinen' Unterricht. Diese Mechanik wird nicht bemerkt, zunächst nicht bewußt gemacht. „Das seelische Geschehen versteht sich“ – vor jeder wissenschaftlichen Zergliederung (vgl. SALBER 1977, 32).

### Austausch

Das Bild 'Aufruhr' trifft auf das Unterrichtsgeschehen und die Physik gleichermaßen zu. Es rückt Wärme als innere Bewegung, Ausdehnen und Zusammenziehen der Stoffe, ihre Phasen und Übergänge heraus. Gleichzeitig macht es die Bewegung in der Klasse sichtbar. Hier deuten sich erste Einsichten in die Mechanismen von 'Physik-Verstehen' an, morphologische Einsichten in die 'Adaption' von Physikalischem durch Seelisches. Die physikalischen Bilder können wohl 'ausreichend' seelische Grundprobleme aufgreifen und weiterentwickeln – und umgekehrt. Darüber ist Physik zu verstehen.

Ein Unterricht, der von solchen Bildern her organisiert ist, – so könnte man befürchten – sei aber kein Physikunterricht mehr. Jedoch bringt diese Untersuchung heraus, daß im Physikunterricht offenbar auch andere

Zusammenhänge berücksichtigt werden müssen als die mathematischen oder logisch-verbalen Ableitungen, die wir in den Physikbüchern finden. Dies scheint mir auch in einer Bemerkung FEYNMANS implizit enthalten zu sein: „In short, we do not understand it, but we can follow the mathematics“ (FEYNMAN u.a. 1966, Vol. I, 46–1). Physikunterricht „hat insofern nicht allein mit ‘Denken’, sondern mit allgemeinen seelischen Lebensproblemen zu tun“ (SALBER 1972, 11).

Indem diese Zusammenhänge in den Blick genommen werden, indem man sie ‘ins Bild rückt’, führt man in die Organisation seines Unterrichts eine Zentrierung und Erweiterung ein, bei der die Physik selbst gewinnt und eine Vertiefung erfährt. Der Schüler wird immer die im Unterricht dargestellten ‘Sachen’ der Physik *irgendwie* von seinen eigenen seelischen Bewegungen her aufgreifen – unabhängig davon, ob sie dadurch eine sachgerechte Behandlung erfahren und ein Physik-Verstehen ermöglicht wird oder nicht. Das Bild ‘Aufruhr’ zentriert aber auf einen der Physik-Sache *gemäßen* Austausch: Die ‘Sache’ kann sich in adäquate Lebensverhältnisse umsetzen und umgekehrt. Die ‘Sache’ kann also von seelischen Lebensproblemen her aufgegriffen werden und erfährt mit ihnen eine weitere Klärung. So gewinnen beide: die Physik und das Seelische. Im geschilderten Unterricht wäre dieser Austausch wirkungsvoller eingesetzt worden, hätte man schon die Bewegungen (Toben, ‘Aufruhr’) im Unterricht aufgegriffen und ausdrücklich auf den ‘Stoff’ thermische Bewegungen bezogen (‘bewußt machen’).

Die Notwendigkeit, den Schülern einen physikgerechten Austausch zwischen seelischem Alltag und der Physik zu ermöglichen, scheint mir das deutlichste Ergebnis dieser Untersuchung. In der hier gewonnenen Ein-

sicht tut sich ein fundamentaler Gegensatz zum herkömmlichen Physikunterricht auf: Es ist eine andere als die klassische, sachlogische Anordnung des ‘Stoffes’, getrennt nach den klassischen Gebieten der klassischen Physik, erforderlich, eine Ordnung, die einen solchen Austausch fördert – und zwar in der komplexen Wirklichkeit des Unterrichtsgeschehens selbst.

Und diese Ordnung hat an ganz anderen Stellen ihre Präzision als eine physikalische Anordnung des ‘Stoffes’.

#### Literatur:

- CLAUSIUS, R.: Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen (1850), Hg. M. PLANCK, Leipzig 1898
- FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B. und SANDS, M.: The Feynman Lectures on Physics, Massachusetts 1965
- SALBER, W.: Wirkungseinheiten, Wuppertal–Ratingen–Düsseldorf 1969
- SALBER, W.: Psychologie und Hochschuldidaktik, Ratingen 1972
- SALBER, W.: Kunst - Psychologie - Behandlung, Bonn 1977
- SALBER, W.: Konstruktion psychologischer Behandlung, Bonn 1980
- WAGENSCHHEIN, M.: Die pädagogische Dimension der Physik, Braunschweig 1971

Dr. Raimund Rascher, Institut für Naturwissenschaften und ihre Didaktik, Universität zu Köln, Gronewaldstraße 2, D-5000 Köln 41

Arbeitsschwerpunkte: Didaktik der Physik, Physik und Psychologie