

Die Redaktion behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

■ Treffende Analogien?

Zu: „Intelligentes Wissen aufbauen“ von Peter Schmälzle, Juni 2009, S. 41

Gerade im Unterricht sollte Physik möglichst intuitiv sein. Dem zäheren Medium, der raueren Oberfläche und dem engeren Rohr sollten wir den größeren mechanischen Widerstand zuschreiben. Mit der im Artikel vorgeschlagenen Äquivalenz von Kraft und Strom (statt Kraft und Spannung) ist aber das Gegenteil der Fall. Auch Weiteres spricht für $Rm = F/v$:

- Strom und Geschwindigkeit sind beides Bewegungen.
- In Abwesenheit von Strom ist Spannung dauerhaft möglich, und in Abwesenheit von Geschwindigkeit ist Kraft dauerhaft möglich, in einem widerstandsbehafteten System aber nicht umgekehrt.
- Eine Spule wirkt einer Stromänderung entgegen, ist also träge.

Beim Parallelschalten eines Widerstands nimmt zwar die Dämpfung mit zunehmendem Widerstand ab (Drehspulgalvanometer, Wirbelstrombremse), aber das sind für einen Schüler, der noch nicht den Unterschied zwischen Strom und Spannung begriffen hat, exotische Fälle.

Thomas Gantenfort

Man stimmt dem Autor gerne zu, dass anschaulich deutbare Analogien die Nachhaltigkeit physikalischen Wissens stärken. Verhalten sich aber die vom Bezugssystem abhängigen Größen Energie und Impuls analog zu einer realen Substanz wie fließendem Wasser?

- Zieht jemand eine Kiste an einem Seil hinter sich her, sollen nach dieser Analogie Impuls und Energie zur Kiste hin im Seil fließen – so wie Wasser in einem Rohr. Der Impuls $\vec{p} = m\vec{v}$ des Seils zeigt aber in die Gegenrichtung.
- In hydraulischen Autohebern soll die Energie vom Arbeitskolben zum Auto in der praktisch inkompressiblen Flüssigkeit fließen. Dort ist sie aber trotz hohen Drucks nicht lokalisiert. Energie lässt sich nicht in Druckwasserflaschen speichern.
- Wenn jemand einen Expander

spannt, soll wie im geschlossenen Wasserkreislauf Impuls fließen, obwohl dort $p = mv = 0$ ist.

Wer so die Bildungspläne der Kultusverwaltung auslegt, muss seine Schüler davon überzeugen, dass Wasser auch dort fließt, wo es überhaupt kein Wasser gibt.

Wird durch solche Widersprüche der Unterricht anschaulicher? In der Physik sagt man, diese Erhaltungsgrößen werden von System zu System *übertragen*, so wie man Geld von Konto zu Konto *überträgt*, ohne dass es unterwegs lokalisierbar fließt. Der Autor benutzt das Wort „übertragen“ oft. Widerspricht er aber damit nicht der für den Unterricht empfohlenen Analogie? Die Physik benutzt die lokal messbaren Größen Kraft und Druck, um auch solche Vorgänge unterwegs beschreiben zu können, bei denen Energie bzw. Impuls *übertragen* wird, ohne dass ein Fließen analog zu Wasser lokal nachweisbar ist.

Franz Bader

Die von Herrn Schmälzle angesprochenen Ideen sind ca. 30 Jahre alt und Baden-Württembergischen Lehrern als „Karlsruher Physikurs“ (KPK) bekannt. Obwohl sie zum Glück in der Lehrbuchliteratur keinen Widerhall gefunden haben, haben mir schon viele Physiklehrer in Baden-Württemberg ihr Leid geklagt, dass sie vom Staatlichen Seminar aufgefordert sind, diesen Ideen zu folgen. Natürlich sind Analogien sehr oft hilfreich im Physikunterricht, der KPK übertreibt diesen Ansatz insbesondere in der Mechanik aber gewaltig und erschwert das Verständnis.

Ulrich Harten

Erwiderung von Peter Schmälzle

Herr Gantenfort betont zu Recht, dass die Physik im Unterricht möglichst intuitiv sein sollte. Genau aus diesem Grund empfehle ich in meinem Artikel, Elektrizitäts-, Wärmelehre und Mechanik durch eine (recht intuitive) Einheit über Wasser- und Luftströme vorzubereiten. Dabei lernen die Schüler, dass der Widerstand einer Leitung umso größer ist, je länger die Leitung und

je kleiner ihr Querschnitt ist. Gemeint ist der Widerstand, der dem strömenden Wasser bzw. der strömenden Luft entgegengesetzt wird.

Herr Gantenfort plädiert dafür, in der Mechanik $F/\Delta v$ als Widerstand aufzufassen und nicht wie vorgeschlagen $\Delta v/F$. Viele Analogien sind möglich. Grundlage der vorgestellten Analogie ist die Idee, Energieübertragungen in unterschiedlichen Teilgebieten der Physik einheitlich zu beschreiben, indem neben dem Energiestrom jeweils der Strom einer zweiten Größe bilanziert wird. Der elektrischen Spannung U entspricht dabei die Geschwindigkeit v (bzw. eine Geschwindigkeitsdifferenz Δv).

In der Elektrizitätslehre scheint es häufig nahe liegend, die Spannung als Ursache und den damit verbundenen elektrischen Strom als Wirkung aufzufassen. Diese Deutung ist physikalisch keinesfalls zwingend. Im Rahmen der vorgestellten Analogie lässt sich entsprechend in der Mechanik eine Geschwindigkeitsdifferenz als Ursache für das Fließen von Impuls (bzw. für eine Kraft) ansehen. Das mag auf den ersten Blick ungewohnt sein. Denkt man jedoch an die auch bei Schülern weit verbreitete Erfahrung, dass die (ruhende) Umgebungsluft schnell fahrende Fahrzeuge stark abbremst, wird diese Deutung plausibel: Aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten von Fahrzeug und Umgebungsluft fließt ständig Impuls aus dem Fahrzeug. Insofern können Schüler eine Entsprechung von Spannung und Geschwindigkeit – beides als Ursache gedeutet – durchaus nachvollziehen.

Im elektrischen Fall wird der Quotient aus Ursache und Wirkung (U/I) als Widerstand angesehen. Wie das obige Beispiel zeigt, gilt dies analog für $\Delta v/F$. Natürlich ist dieser Widerstand – darauf weist Herr Gantenfort zu Recht hin – nicht identisch mit dem, was im Alltag „Reibung“ heißt. Dieser Aspekt wird im Unterricht thematisiert. Die bisherigen Erfahrungen lassen nicht erkennen, dass sich dadurch für die Schüler und Schülerinnen Probleme ergeben.

Herrn Baders Frage, ob sich

Dipl.-Phys. Thomas Gantenfort, Münster

Prof. Dr. Franz Bader, Ludwigsburg

Prof. Dr. Ulrich Harten, Institut für naturwissenschaftliche Grundlagen, Hochschule Mannheim

die Größen Energie und Impuls „analog zu einer realen Substanz“ verhalten, ist aus Sicht der Physik eindeutig mit einem „Nein“ zu beantworten. Alle physikalischen Größen sind Erfindungen des menschlichen Geistes. Und um reale Substanzen physikalisch zu beschreiben, benötigt man ein ganzes Bündel an physikalischen Größen: Wenn Wasser strömt, sind damit ein Masse-, Stoffmenge-, Entropie-, Impulsstrom etc. verbunden.

Auch die elektrische Ladung ist keine reale Substanz. Trotzdem betonen nahezu alle Lehrbuchautoren – auch Herr Bader –, dass es hilfreich ist, den elektrischen Stromkreis mit einem Wasserstromkreis zu vergleichen. Diese didaktische Maßnahme soll den abstrakten Ladungsstrom veranschaulichen.

Besonders auffällige Unterschiede zwischen den Strömen realer Substanzen bzw. physikalischer Größen sind festzustellen, wenn die Größen positive und negative Werte annehmen können. Dann können in einer Leitung große Stromstärken vorhanden sein, ohne dass dort nennenswerte Mengen der strömenden Größe gespeichert sind. Das beanstandet Herr Bader in seinem Beispiel mit dem Expander, wo eine Impulsübertragung bei $p = mv = 0$ stattfinden soll. Konsequenterweise sollte er dann auch bei einer elektrischen Leitung Bedenken haben. Dort sind Stromstärken von einigen Ampere durchaus üblich. Durch eine Querschnittsfläche der Leitung strömt somit in jeder Sekunde die Ladungsmenge 1 Coulomb. Die Leitung insgesamt trägt aber fast keine elektrische Ladung ($Q \approx 0$ C). Bei einem Supraleiter ist die Analogie zum Impuls sogar perfekt. Dabei fließt ein elektrischer Strom, ohne dass dazu ein Antrieb erforderlich wäre ($U = 0$ V); somit gilt $I \neq 0$ A bei $Q = CU = 0$.

Das relativiert Herrn Baders Ansicht, wer Impulsströme im Unterricht behandelt, müsse „seine Schüler davon überzeugen, dass Wasser auch dort fließt, wo es überhaupt kein Wasser gibt“. Eine entsprechende Forderung könnte man bezüglich der Behandlung von Ladungsströmen erheben; aber offen-

sichtlich hielt das bisher niemand für erforderlich.

Herrn Hartens persönliche Einschätzungen möchte ich kurz kommentieren: Die physikalischen Grundlagen, die dem vorgestellten didaktischen Konzept zugrunde liegen, sind sogar älter als von ihm angedeutet und Physikern aus der Thermodynamik der irreversiblen Prozesse bekannt.¹⁾ Sollte Herr Harten an einer Analyse des Konzepts der Impulsströme interessiert sein, möchte ich ihm das Lehrbuch von Landau und Lifshitz²⁾ empfehlen. Die Idee einer Impulsströmung im Gravitationsfeld hatte sogar schon Max Planck.³⁾

■ Voreilige Schlüsse

Zu: „In der Welt geht es mit rechten Dingen zu!“ von Harald Lesch, Mai 2009, S. 3

Ich freue mich mit dem Kollegen Lesch über die Fortschritte der modernen Astronomie, wie sie im Mai-Heft dargestellt wurden. Nichts desto trotz liegt dem Artikel meines Erachtens ein wissenschaftstheoretisches Missverständnis zugrunde. Schließlich hat doch gerade das 20. Jahrhundert eine sachgerechte Sicht der Naturwissenschaften gebracht, nämlich die Beschränkung auf empirisch nachprüfbar Aussagen. Die Annahme einer naturalistischen Weltansicht kann im Rahmen der Naturwissenschaften letztlich nicht begründet werden. In dem Artikel soll dieser Fortschritt jetzt anscheinend wieder rückgängig gemacht werden. Naturwissenschaftler wie Planck, Einstein, Heisenberg, Carl Friedrich von Weizsäcker und viele andere haben ihre Erfolge ohne diese Position errungen. Soll mit dem Artikel suggeriert werden, dass die Erfolge moderner physikalischer Forschung auf einer bestimmten philosophischen Position beruhen und dass es ohne diese Position nicht „mit rechten Dingen zugeht“? Ich fürchte, dass eine solche Einstellung die Entwicklung neuer Ansätze und die Kritikfähigkeit innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft eher behindert als fördert.

Ralf Bergmann

Die Verträglichkeit des Naturalismus mit den Ergebnissen moderner Physik kann sicher als interessante Aussage gelten. Die vom Autor gewünschten Konsequenzen für die Physik und ihre mögliche Basis erwachsen daraus jedoch nicht. Von Naturalismus auf die „rechten Dinge“ zu schließen ist ebenso voreilig. Diese lassen sich nicht wirklich festmachen, und sie sind auch nicht Teil physikalischer Naturbetrachtung. Die Welt wird von Menschen vorgefunden, und für die meisten Erscheinungen gelten die statistischen Argumente der Quantenmechanik. Es mag statistisch seltene Erscheinungen geben. Ob sie „recht“ sind, steht uns Physikern/-innen zu beurteilen nicht zu. Was sein Argument dann aber nahelegen will, wird so nicht deutlich. Es ist ein wohlbeachtetes Prinzip, die Physik nicht mit Dingen zu befrachten, ohne die sie gut auskommt. Deshalb bleibt der an sich interessante Artikel in dieser Form mindestens missverständlich. Ob er darüber hinaus dem Gedanken der Evolution einen Dienst tut, muss man ebenso bezweifeln.

Alfred Krabbe

■ Keine Kleinigkeit

Zu: „Immer schön in Form bleiben“ von Katja Bammel, Juli 2009, S. 48

Physiker sind wohl in besonderem Maße mathematischer Exaktheit und Präzision verpflichtet. Leider ist im interessanten Invar-Artikel die Einheit des Längenausdehnungskoeffizienten falsch angegeben: Steht im Text noch korrekt $[\alpha] = 1/K$, so hat α in Abb. 1 die falsche Maßeinheit $\mu\text{m}/(\text{mK})$ und in der Bildlegende $1/K^{-1}$.

Man kann großzügig darüber hinwegsehen, aber für unser Fach ist das nicht gut. Wie sagte schon Lichtenberg: „Die Neigung der Menschen, kleine Dinge für wichtig zu halten, hat sehr viel Großes hervorgebracht.“ Es sind aber keine kleinen Dinge, wenn man bedenkt, dass wegen falscher Maßeinheiten schon eine Mars-Mission gescheitert und eine Ariane nach dem Start geplatzt ist ...

Gerd Rudloff

1) S. R. de Groot, J. Phys. Chem., 55, 9 (1951), S. 1577

2) L. D. Landau und E. M. Lifshitz, Theory of elasticity, Pergamon Press, Oxford (1959)

3) M. Planck, Bemerkungen zum Prinzip der Aktion und Reaktion in der allgemeinen Dynamik, Zeitschrift für Physik, 9. Jahrgang, Nr. 23 (1908)

Prof. Dr. Ralf Bergmann, Universität Bremen

Prof. Dr. Alfred Krabbe, Institut für Raumfahrtssysteme, Universität Stuttgart

Gerd Rudloff, Universität Rostock