



**Material zur Aktion des Vorstands der DPG gegen den Karlsruher
Physikkurs**

4. September 2019

Friedrich Herrmann
Karlsruher Institut für Technologie
f.herrmann@kit.edu

Material zur Aktion des Vorstands der DPG gegen den Karlsruher Physikkurs

Einleitung

Im März 2013 hatte der Vorstand der Deutschen Physikalischen Gesellschaft auf Initiative der damaligen Präsidentin der DPG, Frau Johanna Stachel, eine Aktion gegen den Karlsruher Physikkurs eingeleitet, offenbar mit dem Ziel, den KPK aus der Welt zu schaffen.

Den Protagonisten der Aktion ist folgendes vorzuwerfen:

- Sie haben die Aktion initiiert, ohne den Autor oder andere Mitglieder der Karlsruher Arbeitsgruppe zu konsultieren.
- Sie haben eine Kommission mit einer Stellungnahme beauftragt, in der kein Vertreter der KPK-Befürworter vertreten war.
- In der Kommission war der für Fragen des Unterrichts zuständige Fachverband Didaktik der DPG nicht vertreten.
- Sie nehmen keinen Bezug auf unsere Publikationen in internationalen referierten Zeitschriften, in denen die dem KPK zu Grunde liegenden Ideen vorgestellt werden.
- Sie nehmen keinen Bezug auf andere anerkannte Bücher und Veröffentlichungen, in denen dieselben Ideen vertreten werden.
- Zu keiner der Diskussionsveranstaltungen, die der Veröffentlichung der DPG-Stellungnahme folgten, wurde der Autor des KPK eingeladen.
- Es wurden zur Denunziation aufgerufen.
- Es hatte nie eine entsprechende Stellungnahme zu etablierten Schulphysikbüchern gegeben.

Wie diese Auseinandersetzung gelaufen ist, ist sicher auch in Zukunft noch von Interesse. Möglicherweise wird irgendwann eine Aufarbeitung der Ereignisse stattfinden.

Daher habe ich hier die wichtigsten der Dokumente, die sich bei mir angesammelt haben, übersichtlich zusammengestellt.

Es ist bei Weitem nicht alles Material. Insbesondere befindet sich darunter nichts über meine Korrespondenz mit der Ombudsfrau der DPG, dem Ombudsmann der DFG und dem des KIT. Und selbstverständlich fehlt auch was sich im Archiv der DPG befindet und was mir unbekannt ist.

Friedrich Herrmann (im Folgenden „der Autor“)

1. Die Stellungnahme der DPG-Kommission

Schriftverkehr mit dem Vorstand der DPG und der EPS

- 1.1 Gutachten der DPG zum KPK
- 1.2 Stachel an Ministerien
- 1.3 Stachel an die Chinesische Physikalische Gesellschaft
- 1.4 Ergänzende Bemerkungen der DPG-Kommission
- 1.5 Bericht des Moderators (Treusch) bei einem Treffen am Flughafen Frankfurt

2. Schreiben des Autors an den Vorstand der DPG

- 2.1 Der Autor an Frau Stachel 1

- 2.2 Der Autor an Frau Stachel 2
- 2.3 Die Entgegnung des Autors
- 2.4 Die Entgegnung des Autors zur Ergänzung
- 2.5 Der Autor an Herrn Heuer
- 2.6 Die Antwort von Herrn Heuer

3. Die DPG warnt vor dem KPK: die Kultusministerien und die Physikfakultäten

- 3.1 Frau Stachel an die deutschen Kultusministerien
- 3.2 Frau Stachel an die deutschen Physikfakultäten

4. Die DPG warnt vor dem KPK: andere Physikalische Gesellschaften

- 4.1 Herr Meier an den EPS Council
- 4.2 Herr Dudley (Präsident der EPS) an Vertreter anderer nationaler physikalischer Gesellschaften
- 4.3 Korrespondenz zwischen Dudley und dem Autor

5. Reaktion des Fachverbandes

Protestschreiben des Fachverbandes Didaktik der Physik

6. Professoren der Theoretischen Physik

- 6.1 Erklärung der Professoren
- 6.2 Antwort der DPG-Gutachter

7. Protestschreiben

Es setzte eine große Protestwelle ein, sowohl von Einzelpersonen, als auch Gruppen: Lehrerkollegien von Schulen, Fachseminarleitern und Hochschullehrern. Außerdem bekam ich viele E-Mails mit Solidaritätsbekundungen.

- 7.1 Unterschriftenliste: 106 Lehrer und Professoren verschiedener Schulen und Hochschulen
- 7.2 Kollegium des Friedrich-Schiller-Gymnasiums Marbach
- 7.3 Kollegium des Thomas-Mann-Gymnasiums Stutensee
- 7.4 Kollegen aus dem Ausland: Italien, Schweiz, Belgien

8. Links zu anderen Protestschreiben und Videos

<https://www.uni-regensburg.de/physik/didaktik-physik/Aktuelles/index.html>
<https://www.youtube.com/playlist?list=PL918XBsgASEnMhGxNb7asQMqo6lqTrxSW>

9. Der Stark-Verlag

Der Stark-Verlag, bei dem der KPK erschien, hat uns kurz nach Erscheinen des DPG-Gutachtens gekündigt

- 9.1 Ende März 2013: E-Mail vom Verlag, in der es um den Neudruck von zwei KPK-Bänden geht
- 9.2 Anfang April: Kündigung durch den Verlag

Gutachten über den Karlsruher Physikkurs

In Auftrag gegeben von der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Ansprechpartner:

StD Rudolf Lehn, DPG-Vorstandsmitglied für das Ressort Schule (sfz@uni-ulm.de)

Gutachtergruppe:

Prof. Dr. Matthias Bartelmann, Theoretische Astrophysik, Universität Heidelberg

OSTR Fabian Bühler, Störck-Gymnasium Bad Saulgau

Prof. em. Dr. Dr. h.c. mult. Siegfried Großmann, Theoretische Physik, Universität Marburg

StD Wolfhard Herzog, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Heidelberg

Prof. em. Dr. Jörg Hüfner, Theoretische Physik, Universität Heidelberg

StD Rudolf Lehn, Störck-Gymnasium Bad Saulgau und Schülerforschungszentrum Südwürttemberg

StD i.R. Dr. Rudolf Löhken, Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Heidelberg

Prof. Dr. Karlheinz Meier, Experimentelle Physik, Universität Heidelberg

Prof. Dr. Dieter Meschede, Institut für Angewandte Physik, Universität Bonn

Prof. Dr. Peter Reineker, Wilhelm und Else Heraeus-Seniorprofessor für die Weiterentwicklung der Lehrerausbildung im Fach Physik, Universität Ulm

Prof. Dr. Metin Tolan, Experimentelle Physik, Prorektor für Studium an der Technischen Universität Dortmund

Prof. Dr. Jochen Wambach, Institut für Kernphysik, Universität Darmstadt

Prof. Dr. Werner Weber, Theoretische Physik, Technische Universität Dortmund

Bad Honnef, 28. Februar 2013

Zusammenfassung

Physik ist eine der Grundlagenwissenschaften unserer Kultur und Zivilisation. Ihre wesentliche Aufgabe ist es, die Vielfalt der Erscheinungen in der materiellen Welt auf möglichst wenige fundamentale Gesetze zurückzuführen. Sie hat sich deswegen als erfolgreich erwiesen, weil ihrer Vorgehensweise drei wesentliche Prinzipien zugrunde liegen:

- Für den Aufbau der Physik wesentliche Begriffe werden durch präzise Definitionen oder Messvorschriften festgelegt.
- Modellvorstellungen verbinden die so geschaffenen Begriffe.
- Physikalische Aussagen, die Experimenten widersprechen, gelten als falsch.

Aufgrund dieser Prinzipien sind physikalische Aussagen objektivierbar. Da sich physikalische Aussagen durch Messung belegen lassen müssen, müssen sie auch quantifizierbar sein. Deshalb werden in der Physik mathematische Gleichungen aufgestellt, die ihre wesentlichen Größen zueinander in Beziehung setzen. Diese mathematische Formulierung ihrer wesentlichen Aussagen setzt eine präzise Verwendung klar definierter Begriffe voraus. Eine (internationale) Verständigung über Physik setzt ferner voraus, dass einheitliche Begriffssysteme verwendet werden.

Es ist die Überzeugung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), dass Physik auf allen Ebenen der Ausbildung so unterrichtet werden muss und kann, dass ihre wesentliche Eigenschaft unmissverständlich klar wird: Physik ist eine empirische Naturwissenschaft, die aufgrund ständiger, strenger Orientierung am Experiment zu objektivierbaren Aussagen gelangt. Die DPG unterstützt Überlegungen und Versuche, dies im Unterricht an den Schulen möglichst verständlich umzusetzen, sieht es aber auch als ihre Aufgabe an, misslungene Versuche zu kritisieren.

Der Karlsruher Physikkurs (KPK) wird den oben formulierten Zielen nicht gerecht. Er baut wesentlich auf willkürlich gewählten, nicht durch Messvorschriften belegbaren oder Messungen zum Teil widersprechenden Begriffen auf, die allein aufgrund didaktischer Überlegungen eingeführt werden und größtenteils dazu dienen, behauptete Analogien quer durch die gesamte dargestellte Physik durchhalten zu können. Dadurch erzeugt der KPK eine grundsätzlich falsche Vorstellung von Physik. Die Strenge des naturwissenschaftlichen Denkens und der empirischen Vorgehensweise werden durch den KPK verletzt.

Wir raten daher der Deutschen Physikalischen Gesellschaft mit Nachdruck, dass der Karlsruher Physikkurs weder für den Unterricht verwendet noch Lehr- oder Bildungspläne auf ihm aufgebaut oder nach ihm ausgerichtet werden sollen.

Diese Aussagen werden im Folgenden durch wenige, besonders aussagekräftige Beispiele belegt.

Beispiel 1: Der Begriff des Impulsstroms in der Mechanik

In dem Bestreben, Strömungsvorgänge in möglichst allen Teilgebieten der Physik als grundlegend zu betrachten, führt der KPK in der Mechanik das Konzept des Impulsstroms anstelle der Kraft ein. Dahinter steht die Vorstellung, dass ein Impulsstrom eine anschaulichere Größe als die Kraft sei, weil er Vergleiche mit anderen Strömungsvorgängen nahelegt. Während nach dem Newtonschen Bewegungsgesetz die Kraft die Ursache für die Änderung des Impulses ist, ändert sich nach dem KPK der Impuls eines Körpers, weil ein Impulsstrom in den Körper hinein bzw. aus ihm heraus fließt. Nun könnte man vermuten, dass Impulsstrom einfach ein anderes Wort für Kraft ist. Das ist aber nicht so, denn die Verwendung von Impulsströmen anstelle von Kräften führt auf widersprüchliche und z.T. sogar falsche Aussagen. Dies wird im Folgenden begründet.

Was ist mit dem Impulsstrom gemeint?

Die Vorstellung des KPK zum Impulsstrom soll anhand der Abb. 1 erläutert werden, die dem Schulbuch zum KPK [1] entnommen ist. Ein Wagen wird von einer Person mit Hilfe eines Seils gezogen und dabei beschleunigt. Es wird angenommen, dass die Fahrtrichtung entlang der x -Achse verläuft. Nach dem KPK wird der Wagen beschleunigt, weil Impuls über das Seil in den Wagen fließt, wobei die Fließrichtung wie folgt festgelegt wird: Ein positiver Impuls fließt in den Wagen,

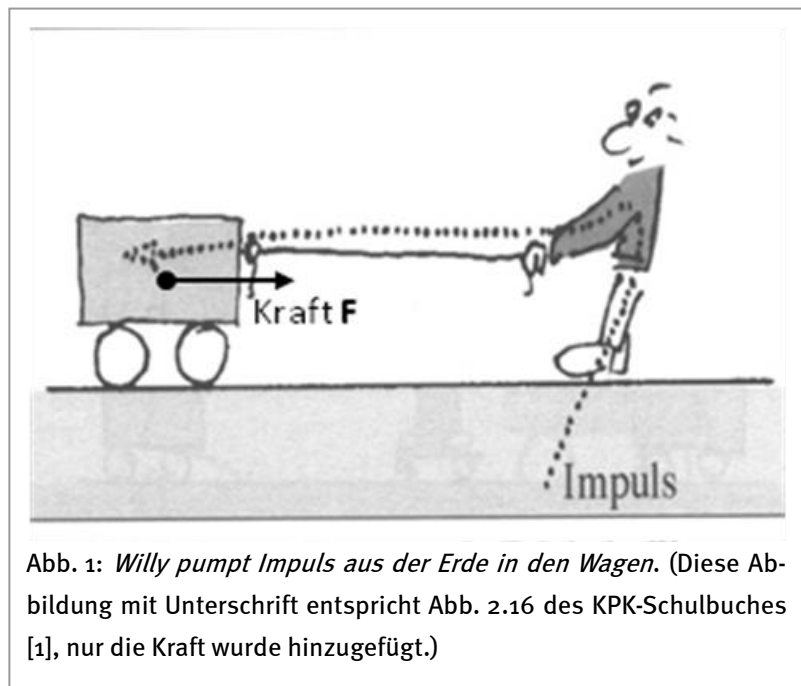


Abb. 1: Willy pumpt Impuls aus der Erde in den Wagen. (Diese Abbildung mit Unterschrift entspricht Abb. 2.16 des KPK-Schulbuches [1], nur die Kraft wurde hinzugefügt.)

wenn der Impuls des Wagens in Richtung der positiven x -Achse zunimmt. Die Richtung des so definierten Impulsstroms, den wir im Folgenden „KPK-Impulsstrom“ nennen, ist also mit der Richtung der x -Achse verknüpft, die in der Regel von links nach rechts orientiert wird.

Mit dem traditionellen Konzept der Kraft beschreibt man den Vorgang in Abb. 1 wie folgt: Der Wagen wird beschleunigt, weil über das Seil auf den Wagen eine Kraft ausgeübt wird. Diese zeigt in Richtung der Beschleunigung. Der Übersichtlichkeit halber lassen wir die Kraft immer im Schwerpunkt angreifen. Wenn Kraft bzw. KPK-Impulsstrom als Ursachen den Wagen in gleichem Maße beschleunigen, müssten eigentlich beide Größen in Betrag und Richtung gleich groß sein. Während dies bei den Beträgen zutrifft, kann es bei den Richtungen Unterschiede geben, wie im Folgenden gezeigt wird.

Verhalten unter Drehungen

Wie sich die Richtungen des KPK-Impulsstroms und der Kraft unter Drehungen verhalten, soll anhand der Abbildungen 2a bis 2c erläutert werden. In Abb. 2a zieht ein Lastwagen einen Anhänger nach rechts (diese Situation ist mit der aus Abb. 1 vergleichbar). Der KPK-Impulsstrom zeigt nach links, während der Kraftpfeil nach rechts zeigt. In der nächsten Abb. 2b ist der Lastzug um 180° gedreht worden: Dem KPK [1] zufolge hat sich die Richtung des KPK-Impulsstroms beim Übergang von Abb. 2a nach 2b nicht verändert. Dagegen ist Richtung der Kraft der Drehung des Lastzugs um 180° gefolgt: In beiden Fällen, Abb. 2a und 2b, zeigt die Kraft in Richtung der Zugmaschine. Das ist auch vernünftig, weil sie die Ursache für die Beschleunigung des Anhängers ist.

Kann ein Schüler das unterschiedliche Verhalten von Kraft und Impulsstrom

bei einer 180° -Drehung verstehen? Man kann die in Abb. 2a und 2b gezeigten Situationen im Unterricht nachstellen, indem man Lastwagen und Anhänger durch zwei Schüler ersetzt, die durch ein Seil verbunden sind. Der gezogene Schüler wird sofort die Richtung der Kraft in den Situationen der Abb. 2a und 2b durch eigene Erfahrung bestätigen. Aber er kann durch seine Sinne nicht erfassen, dass der Impulsstrom seine Richtung nicht verändert hat, wenn der Lastzug in die andere Richtung fährt.

In Abb. 2c ist das Ergebnis einer anderen Drehung gezeigt. Hier wird nicht der Lastzug gedreht, sondern das Koordinatensystem. In der neuen Situation zeigt die positive x-Achse nach links. Damit hat sich auch die Richtung des KPK-Impulsstroms geändert, wie Abb. 2c zeigt. Denn bei der Beschleunigung des Anhängers nach rechts wird sein Impuls immer negativer. Also muss (positiver) Impuls aus ihm herausfließen.

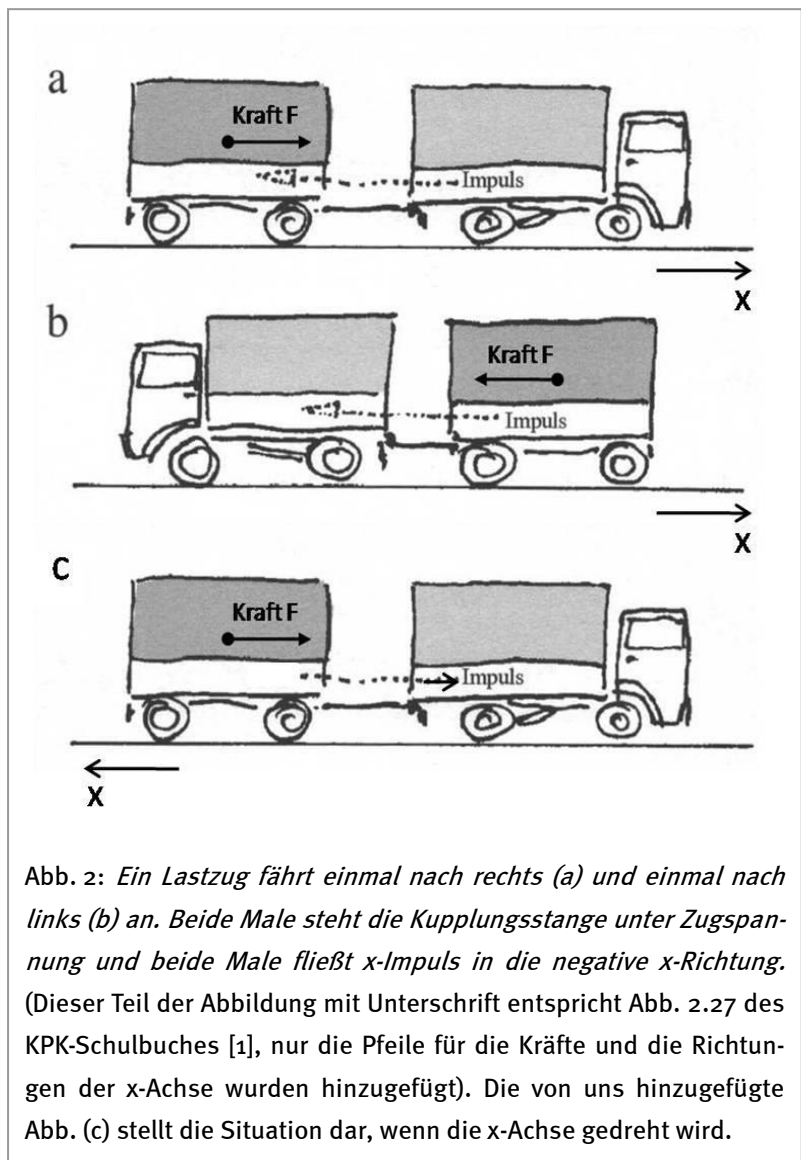


Abb. 2: Ein Lastzug fährt einmal nach rechts (a) und einmal nach links (b) an. Beide Male steht die Kupplungsstange unter Zugspannung und beide Male fließt x-Impuls in die negative x-Richtung. (Dieser Teil der Abbildung mit Unterschrift entspricht Abb. 2.27 des KPK-Schulbuches [1], nur die Pfeile für die Kräfte und die Richtungen der x-Achse wurden hinzugefügt). Die von uns hinzugefügte Abb. (c) stellt die Situation dar, wenn die x-Achse gedreht wird.

Der Vergleich von Abb. 2a und 2c zeigt sehr anschaulich, dass die Richtung des KPK-Impulsstroms eng mit der Lage des Koordinatensystems verbunden ist. Das führt nun zu folgenden Problemen: Wenn man die Lage des Koordinatensystems nicht kennt, kann man auch nicht die Richtung des KPK-Impulsstroms festlegen. Solche Situationen können leicht auftreten, wenn z.B. der Lastzug durch einen Wald fährt, wo keine x-Achse auf dem Boden eingezeichnet ist. Eine weitere Schwierigkeit tritt auf, wenn sich z.B. zwei Schüler über die Ausrichtung ihrer Koordinatensysteme nicht einigen können. Dann werden sie verschiedene Antworten auf die Frage nach der Richtung des KPK-Impulsstroms geben. Und beide Antworten können gleichzeitig richtig sein! In Anbetracht solcher Probleme beginnt man zu sich zu fragen, ob der Richtung des KPK-Impulsstroms überhaupt eine objektive Realität zukommt und sie nicht nur eine willkürliche Festsetzung ist. Diese Überlegungen werden im nächsten Abschnitt noch vertieft.

Ist die Richtung des KPK-Impulsstroms messbar?

Es ist das Großartige an der Physik, dass ihre Aussagen experimentell überprüft werden können. Daher ist es eine wichtige Frage, ob die Aussagen des KPK über die Richtung des Impulsstroms experimentell überprüfbar sind.

Wasser fließt von einem höher gelegenen Reservoir zu einem tiefer gelegenen. An jeder beliebigen Stelle lässt sich die Fließrichtung durch ein in den Strom gebrachtes Instrument eindeutig messen, z.B. durch ein Wasserrad oder einen in das Wasser geworfenen Korken. In welche Richtung fließt der vom KPK eingeführte Impulsstrom, und wie kann dessen Richtung gemessen werden? Diese Frage soll anhand eines Beispiels diskutiert werden, das aus dem Schulbuch des KPK (Abb. 2.30 aus [1]) stammt und in Abb. 3a gezeigt wird. Eine Feder ist in ein Joch eingespannt. Alle Teile des Systems sind in Ruhe. Dennoch behauptet der KPK, dass durch die Feder und das Joch ein Impulskreisstrom fließe, dessen jeweilige Richtungen durch die Pfeile angezeigt sind. Da an dem System keine Bewegung zu erkennen ist, müsste ein aufgeweckter Schüler eigentlich fragen, wie man denn nachweisen könne, dass wirklich etwas durch die Feder fließt. Eine etwas schwierigere Frage könnte lauten: Warum ist an einem offensichtlich symmetrischen System eine Richtung vor der anderen ausgezeichnet? Und wenn der Lehrer das schon behauptet, wie kann er uns das beweisen?

Aus der Elektrizitätslehre wissen die Schüler, dass man auch dort durch einfaches Betrachten eines Drahtes nicht feststellen kann, ob darin ein Strom fließt und, wenn ja, welche Richtung er hat. Aber sie wissen auch, dass es Geräte gibt, mit denen man die Stärke und die Richtung des elektrischen Stroms nachweisen kann. Zwei solcher Geräte sind in dem durch eine Batterie gespeisten Stromkreis in Abb. 3b eingezeichnet: eine Glühlampe und ein Amperemeter. Das Leuchten der Glühbirne zeigt an, dass ein Strom fließt. Ihre Helligkeit, die ein qualitatives Maß für die Stromstärke ist, hängt allerdings nicht von der Richtung des Stroms ab. Jedoch kann man mit einem Amperemeter beides, die Stärke und die Richtung des Stroms messen.

Gibt es nun ein dem Amperemeter vergleichbares Instrument für den KPK-Impulsstrom? Ein solches Instrument wird in dem Schulbuch für den KPK nicht beschrieben. Zwar gibt es die in der Mechanik wohlbekannten Kraftmesser, wobei die Länge der gespannten Feder ein Maß für die Stärke der Kraft ist. Aber da zu jeder Kraft auch eine entgegengesetzte gleich starke Gegenkraft gehört (actio = reactio) und diese beiden vollständig symmetrisch sind, können Kraftmesser prinzipiell keine Richtung auszeichnen. Abbildung 3c zeigt, wie ein Kraftmesser in die Versuchsanordnung der Abb. 3a eingebaut werden könnte. Je nach der in der Feder herrschenden Spannung wird der Kraftmesser mehr oder weniger gedehnt, ohne dass eine Richtung bevorzugt ist. Der Kraftmesser ist deshalb mit der Glühlampe im elektrischen Fall vergleichbar, aber nicht mit dem Amperemeter.

Das fehlende Messinstrument für die Richtung des Impulsstroms ersetzt der KPK durch einen Satz von Regeln (S. 18 aus [1]) wie zum Beispiel: Wenn

eine Zugspannung herrscht, dann fließt x-Impuls in die negative x-Richtung. In einer solchen Festlegung liegt das Problem: Denn die Richtung der x-Achse kann willkürlich im Raum festgelegt und auch verändert werden, unabhängig vom physikalischen Geschehen innerhalb des Systems. Damit kann auch die Richtung des KPK-Impulsstroms willkürlich, d.h. unabhängig vom Geschehen im System allein durch eine neue Wahl des Koordinatensystems verändert werden. Wir schließen daraus: die Richtung des KPK-Impulsstroms ist keine Eigenschaft des Systems.

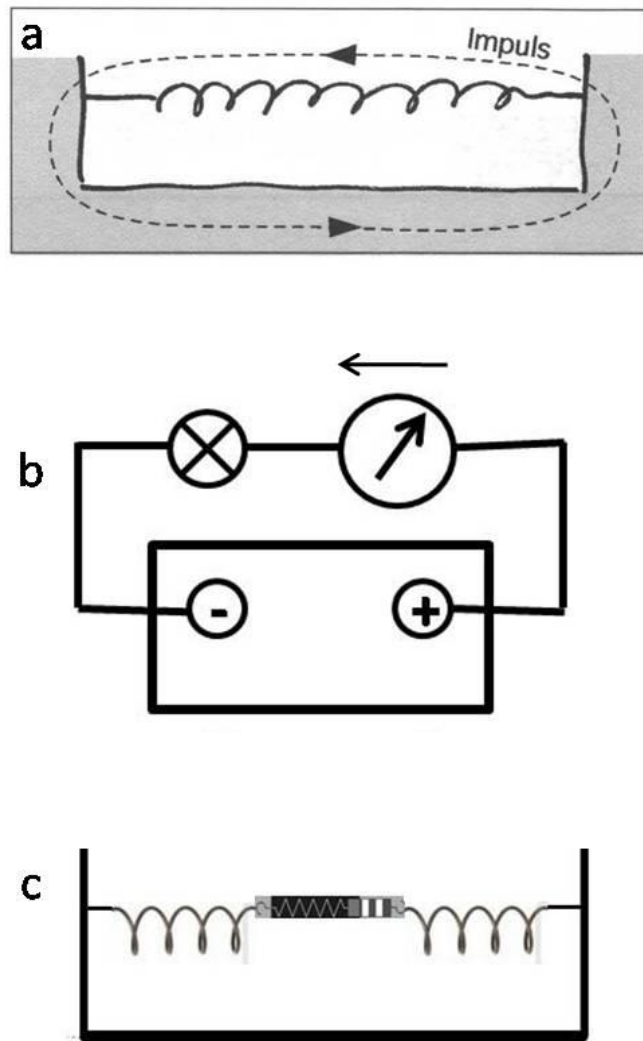


Abb. 3: Messung von KPK-Impulsströmen und elektrischen Strömen.

a. Die Abbildung entspricht der Abb. 2.30 aus [1] mit der Unterschrift: „Impulsstrom ohne Antrieb“.

b. Elektrischer Stromkreis mit Batterie, Glühlampe und Amperemeter.

c. Schematische Darstellung der Anordnung Abb. 3a mit eingefügtem Kraftmesser.

Zwar gibt es auch in der Elektrizitätslehre eine Konvention, die die Richtung des elektrischen Stroms festlegt, z.B. vom Plus- zum Minuspol. Aber hat man erst einmal alle Amperemeter nach dieser Konvention kalibriert, lassen sich für alle Zukunft die Stromrichtungen in allen Systemen ohne Willkür messen. Etwas Analoges gibt es für die Messung der Richtung des KPK-Impulsstroms nicht.

Fazit: Die eingangs gestellte Frage, ob die Aussagen des KPK über die Richtung des Impulsstroms experimentell überprüfbar sind, muss verneint werden. Deshalb ist die vom KPK eingeführte Richtung des Impulsstroms eine willkürlich festgelegte Konvention, der keine objektive Realität zukommt: Es gibt diesen Strom in der Natur nicht. Damit hat der KPK-Impulsstrom auch keinen Platz im Gebäude der Physik und ganz gewiss auch nicht im Physikunterricht.

Beispiel 2. Entropie und Wärme in der Thermodynamik

Der Karlsruher Physikkurs [5] verwendet einen alternativen Zugang zur Thermodynamik, der nicht auf den Begriffen Temperatur und Wärme, sondern auf den Begriffen Temperatur und Entropie aufbaut. Andere Zugänge zur Physik zu suchen, die Schülern das Verständnis erleichtern, ist legitim und wünschenswert, aber sie müssen auch überzeugen, und vor allem müssen sie wissenschaftlich korrekt sein.

Die Thermodynamik ist ein Bereich der makroskopischen Physik, der die physikalischen Revolutionen des 20. Jahrhunderts im Kern unberührt überstanden hat. Sie baut auf drei so genannten Hauptsätzen auf: Einer, nullter Hauptsatz genannt, führt den Temperaturbegriff ein. Der erste Hauptsatz ist der Satz von der Erhaltung der Energie, und der zweite Hauptsatz behandelt die Eigenschaften der Entropie.

Der Begriff der Temperatur ist Schülern einfach zu vermitteln. Zur alltäglichen Erfahrung kommt lediglich hinzu, dass es eine absolute Temperaturskala gibt. Auch bei den Begriffen Wärme und Energie bringen die Schüler ein gewisses Vorverständnis mit. Das gilt sicher nicht für die Entropie. Sie ist eine wichtige Größe für das Verständnis von Vorgängen in der Natur und Technik. Energie und Entropie müssen streng unterschieden werden. Beide Begriffe sind notwendig, um beispielsweise Umwandlungen von übertragener Energie, wie die von Wärme in Arbeit, zu verstehen. Und: Während Wärme bei Prozessen eine Rolle spielt und deswegen Prozessgröße genannt wird, sind die Innere Energie und die Entropie Zustandsgrößen. Jeder Körper „hat“ eine Innere Energie und eine Entropie, so wie er eine Masse, ein Volumen und eine Temperatur „hat“.

Bekanntermaßen ist Entropie eine der schwierigsten Größen der Physik. Deshalb ist man gespannt, wie der KPK sie einführt. Auf S. 5 steht dazu in [5] (wörtliche Zitate stehen in Anführungsstrichen):

„Auch die [neben der Temperatur] zweite Größe, die wir brauchen, müsstest du kennen, allerdings unter einem anderen Namen als dem in der Physik gebräuchlichen. Es handelt sich bei ihr um das, was man umgangssprachlich »Wärmemenge« nennt, oder auch einfach »Wärme«. Ihr physikalischer Name ist Entropie, ihr Symbol S und ihre Maßeinheit Carnot, abgekürzt Ct.“

Es ist zwar richtig, dass die Entropie eines Systems durch Zufuhr oder Abfuhr von Wärme verändert werden kann. Aber deshalb ist Entropie noch lange nicht der Wärme gleichzusetzen, auch keiner „umgangssprachlich“ so bezeichneten. Beide haben verschiedene Maßeinheiten, können also schon deshalb nicht gleich sein. Wärme misst man in Joule, Entropie in Joule/Kelvin. Der KPK stützt seine Argumentationen fast ausschließlich auf die Gleichung $\Delta S = \Delta Q/T$, die im eingeschränkten Fall einer reversiblen Wärmezufuhr oder -abfuhr ΔQ bei einer Temperatur T die Entropieänderung ΔS angibt. Dabei verschweigt der KPK die Einschränkungen dieser Gleichung:

1. Er wendet die Gleichung unverändert auch bei irreversiblen Prozessen an, obwohl dort $\Delta S \geq \Delta Q/T$ gilt. Damit behindert er den Zugang zu den für das Verständnis unserer Welt so ungeheuer wichtigen irreversiblen Prozessen. Diese laufen gerade deswegen in eine Richtung und nicht umkehrbar ab, weil die Entropie spontan zunehmen, aber nicht spontan abnehmen kann! Dann gilt aber das Größer- und nicht das Gleichheitszeichen in der obigen Relation.
2. Es gibt wichtige Prozesse, in denen die obige Formel gar nicht anwendbar ist, weil sich die Entropie als Zustandsgröße ohne Wärmezufuhr verändert. Die Entropie kann sich auch verändern, weil andere Zustandsgrößen verändert werden, denn Zustandsgrößen sind durch Zustandsgleichungen miteinander verbunden. Ein Beispiel ist die Ausdehnung eines Gases um das Volumen ΔV . Dabei nimmt die Entropie um $\Delta S \geq \Delta V \cdot (p/T)$ zu, worin p der Druck ist. Solche einfachen Prozesse kann der KPK nicht verständlich erklären.

Die oben zitierte Definition der Entropie ist keineswegs ein Ausrutscher, sondern wird über viele Seiten benutzt, um Experimente und Alltagsphänomene zu erklären, wobei manches Fragwürdige herauskommt. Das soll an drei Beispielen erläutert werden.

Temperaturausgleich

In Abb. 1.5 ([5], S. 7, hier mit Unterschrift als Abb. 4 reproduziert) wird den Schülern das sehr wichtige Experiment gezeigt, bei dem zwei Körper, die zunächst verschiedene Temperaturen haben, in Wärmekontakt gebracht werden. Der wärmere Körper kühlt sich ab und der kältere erwärmt sich, bis beide dieselbe Temperatur angenommen haben. Was passiert bei diesem Versuch?

Die Schüler, die wissen, dass mit Wärmezufuhr eine Temperaturerhöhung verbunden ist (und eine Erniedrigung bei Abfuhr), würden vermutlich sagen, dass Wärme vom wärmeren zum kälteren Körper fließt. Damit haben sie auch Recht, zumindest nach allen Lehrbüchern außer dem KPK. Die Erklärung des KPK für diesen Versuch ist in der Unterschrift zu Abb. 1.5 enthalten, die in unserer Abb. 4 reproduziert wird: Was vom heißeren zum kälteren Körper fließe, sei Entropie. Es ist zwar richtig, dass neben der Wärme auch Entropie fließt. Aber für die Thermodynamik entscheidend ist, dass zusätzlich Entropie

entsteht, so dass nach dem Temperaturengleich mehr Entropie in dem System aus beiden Behältern ist als am Anfang. Das ist keineswegs ein kleiner Effekt, den man übergehen dürfte, sondern diese Entropiezunahme ist das Wesentliche an diesem Versuch überhaupt! Sie ist der eigentliche Antrieb für diesen Prozess: Die Entropiezunahme legt fest, dass der Wärmeaustausch vom heißeren zum kälteren Behälter erfolgt, aber eben niemals umgekehrt. Dieser entscheidende Aspekt wird vom KPK einfach verschwiegen. Die richtige Bildun-

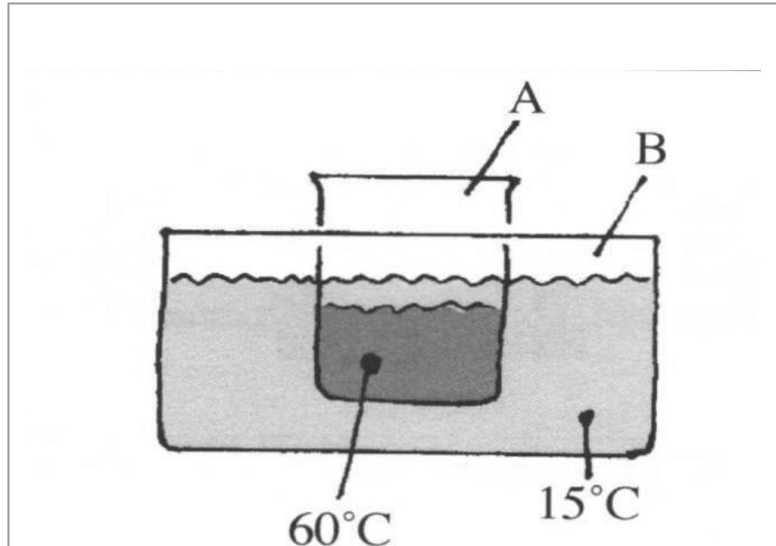


Abb. 4: *Entropie fließt aus dem inneren Behälter A in den äußeren Behälter B.* [Diese Abbildung entspricht Abb. 1.5 in [5], S. 7.]

terschrift unter Abb. 4 müsste also lauten: „Wärme fließt von dem inneren Behälter A in den äußeren Behälter B. Dabei bleibt die gesamte Energie unverändert, während die Gesamtentropie zunimmt.“

Man kann diesen Versuch natürlich auch ohne Entropie erklären, ohne dass die Schüler intuitives Verständnis verlieren, indem man feststellt, dass Wärme vom heißeren zum kälteren Körper fließt, solange eine Temperaturdifferenz existiert. Wenn man aber schon die Entropie einführt, wie es der KPK tut und was in diesem Beispiel eine Komplikation ist, dann muss man ihre Rolle bei Naturprozessen auch vollständig und richtig erklären. Gerade dies geschieht im KPK nicht.

Expansion eines Gases ins Vakuum

Die spontane und irreversible Expansion eines Gases ins Vakuum ist ein weiteres Beispiel, an dem sich die Eigenschaften der Entropie erläutern lassen. Im Abschnitt 2.7 über irreversible Prozesse (S. 40f) in [5] wird dieses Phänomen auch vom KPK diskutiert (siehe Abb. 5). Bild und Unterschrift sind nicht zu beanstanden, aber der Begleittext schon, aus dem wir im Folgenden zitieren. Zunächst bemerkt der KPK: „Bei der Expansion eines Gases ins Vakuum entsteht Entropie.“ Dann wirft der KPK die Frage auf, ob das Gas bei dieser Expansion wärmer oder kälter werde und stellt dabei zwei Argumente gegenüber: „1. Es ist Entropie erzeugt worden. Wenn man einem Gas Entropie zuführt, nimmt die Temperatur zu. 2. Wir hatten früher gesehen, dass die Temperatur eines Gases abnimmt, wenn sich das Gas ausdehnt, – vorausgesetzt allerdings, wir lassen die Entropie konstant.“ Der KPK argumentiert nun, im diskutierten Fall seien beide Effekte wirksam, aber welcher gewönne, sei nicht leicht vorauszusagen. Als Ergebnis wird angegeben: „Bei der Expansion ins Vakuum ändert sich die Temperatur eines Gases nicht. Die beiden Effekte heben sich in ihrer Wirkung also gerade auf.“ Man könne dies „als einen Zufall betrachten“, schreibt der KPK weiter.

Diese Diskussion der spontanen Expansion eines Gases in das Vakuum ist in mehrfacher Weise falsch:

Zu 1. Hier stolpert der KPK über seine eigene Definition, dass nämlich die Entropie nur erhöht werden kann, wenn Wärme zugeführt wird und sich damit die Temperatur erhöht. Physikalisch korrekt erhöht sich die Entropie aber allein wegen der Volumenzunahme. Die Temperatur bleibt dabei konstant. Das können nach dem KPK unterrichtete Schüler allerdings nicht wissen.

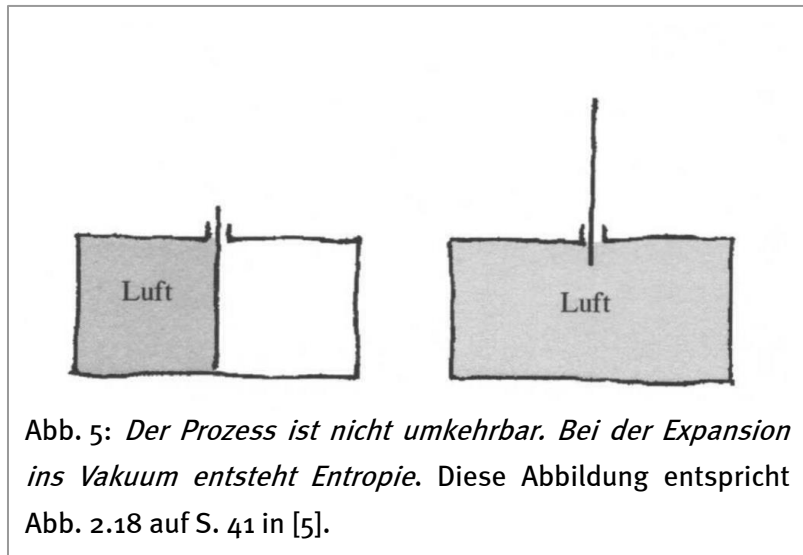


Abb. 5: Der Prozess ist nicht umkehrbar. Bei der Expansion ins Vakuum entsteht Entropie. Diese Abbildung entspricht Abb. 2.18 auf S. 41 in [5].

Zu 2. Hier verweist der KPK auf eine frühere Beobachtung, wo bei der Expansion eines Gases die Temperatur gesunken war. Dabei handelte es sich um eine adiabatische Expansion, bei der das Gas Arbeit verrichtet. Der KPK betont zutreffend, dass bei einem solchen Prozess die Entropie konstant bleibt, benutzt ihn aber – für uns nicht nachvollziehbar –, um die Expansion ins Vakuum zu erklären, bei der die Entropie zunimmt, wie der KPK schließlich selbst feststellt! Davon unabhängig sieht man sofort ein, dass sich die Temperatur des Gases nicht verändert, weil bei der Expansion ins Vakuum keine Arbeit nach außen verrichtet wird.

Fazit: Die beiden vom KPK behaupteten Effekte treten in der beschriebenen Situation überhaupt nicht auf, so dass das Ergebnis, dass die Temperatur bei der Expansion konstant bleibt, keineswegs ein Zufall ist, sondern notwendig so sein muss, wenn auch nicht aus den im KPK angegebenen Gründen. Dieses Ergebnis gilt streng für ideale Gase.

Entropie-Leitfähigkeit

„Wovon hängt die Stärke des Entropiestroms zwischen zwei Stellen A und B ab?“ fragt der KPK auf S. 13f in [5]. Hinter dem Konzept eines Entropiestroms steht vermutlich die Analogie etwa zu Wasser- oder Elektrizitätsströmen. Beim elektrischen Strom zwischen zwei Punkten A und B hängt die Stromstärke von der Spannung zwischen A und B und der Leitfähigkeit des Drahtes ab. Die letztere berechnet sich aus dem Querschnitt, der Länge und der spezifischen Leitfähigkeit des Drahtes. Das Konzept des Stromes lässt sich auch direkt auf die Wärmeleitung übertragen, wobei eine materialabhängige Wärmeleitfähigkeit auftritt. Im Gegensatz zur Energie, von der die Wärme eine Form ist, ist Entropie aber keine erhaltene Größe (sondern eine Zustandsgröße!): Bei Punkt B kommt mehr Entropie an, als bei A abgeflossen ist, weil es sich beim Fließen um einen irreversiblen Prozess handelt, bei dem notwendi-

gerweise Entropie entsteht. Spätestens hier bricht die Analogie schon zusammen und mit ihr auch das Konzept einer materialabhängigen Entropieleitfähigkeit. Der KPK geht auf diese physikalische Tatsache überhaupt nicht ein, sondern gibt in Tab. 1.3 ([5], S. 14) Werte für die Entropieleitfähigkeit von Stoffen an, indem er einfach die Wärmeleitfähigkeit durch eine willkürlich gewählte mittlere Temperatur teilt. Dies ist nicht akzeptabel, weil dadurch abermals der fundamentale Unterschied zwischen Energie und Entropie verschleiert wird.

Der Versuch des KPK, neben der Temperatur allein die Entropie in den Mittelpunkt des Unterrichts über die Wärmelehre zu stellen, muss als physikalisch irreführend und immer wieder zu falschen Schlussfolgerungen führend angesehen werden. Er setzt zwei physikalisch unterschiedliche Größen gleich und begeht damit einen elementaren Fehler. Die an den Anfang gestellte, fundamental falsche Identifikation von Entropie und Wärme führt sofort zu Widersprüchen. Wie die oben beschriebenen Beispiele zeigen, fallen die Autoren des KPK zum Teil selbst darauf herein, wie z.B. bei der Expansion eines idealen Gases ins Vakuum. Wie könnte ein solcher Zugang für Schüler einfacher verständlich sein? Während die physikalisch richtige Erklärung der Entropie fehlt, dass sie nämlich über den Ablauf irreversibler Vorgänge entscheidet und angibt, wieviele Zustände ein System einnehmen kann, führt sie der KPK unnötigerweise als Komplikation ein, wo der Begriff der Wärmemenge ausreichen würde.

Beispiel 3: Magnetische Ladungen und der Begriff des Vakuums in der Elektrodynamik

Magnetische Ladungen

Der Band des KPK zur Elektrizitätslehre liefert ein besonders eindrückliches Beispiel dafür, wie das Streben nach Vereinheitlichung der Darstellung durch willkürliche Analogien zu Aussagen führen kann, die nicht nur experimentell nicht belegbar sind, sondern experimentellen Befunden eklatant widersprechen. Von Paul Dirac stammt die Spekulation, dass es magnetische Ladungen und einen magnetischen Monopol als Elementarteilchen geben könnte. Die Existenz magnetischer Ladungen würde in den Maxwell-Gleichungen die Asymmetrie zwischen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte beheben. Trotz intensiver Bemühungen ist es bislang nicht gelungen, experimentell isolierte magnetische Ladungen nachzuweisen. Die Maxwellgleichungen (mit $\text{div } \mathbf{B} = 0$) als Grundgleichungen der Elektrodynamik haben nach wie vor ihre Gültigkeit. Ursache für magnetische Eigenschaften von Materie sind entweder die mit den Spins gekoppelten magnetischen Dipole oder die von Stromverteilungen verursachten magnetischen Dipol- oder höheren Momente. Entgegen dieser experimentell verifizierten Tatsache, die auch in den Elektrodynamik-Unterrichtshilfen des KPK [2] anerkannt wird (S. 15), geht der KPK in dem Lehrbuch für die Sekundarstufe 2, Band 1, Elektrodynamik [3] von der Existenz magnetischer Ladungen aus (S. 41):

„Magneten können sich anziehen und abstoßen. Die Anziehung bzw. Abstoßung geht von der magnetischen Ladung Q_m aus. Die Stellen des Magneten, an denen die magnetische Ladung sitzt, nennt man die Pole des Magneten. Die Maßeinheit der magnetischen Ladung ist das Weber (Wb). Die magnetische Ladung kann, genauso wie die elektrische, sowohl positive als auch negative Werte annehmen. Magnetisch positiv geladene Bereiche nennt man Nordpole, magnetisch negativ geladene Südpole.“

Das könnte für einen Schüler zunächst überzeugend klingen. Aber dann wird er fragen, wie man diese Ladungen räumlich trennen kann, so dass man von wirklichen Ladungen und nicht nur von Eigenschaften eines Stabmagneten sprechen kann.

Das naheliegende Experiment ist, den Stabmagneten auseinander zu sägen (vgl. Abb. 6). Wie wir wissen, entstehen dabei nur zwei neue Stabmagneten und keine isolierte Ladung. Das ist kein Einzelfall, sondern wie oben schon berichtet ist bisher die Suche nach magnetischen Monopolen erfolglos geblieben. Also gibt es für magnetische Ladungen bisher keine experimentelle Rechtfertigung.

Obwohl diese Tatsache den Autoren des KPK bekannt ist, formulieren sie in den Unterrichtshilfen [2]: „Die Frage ist nicht, ob es magnetische Ladungen gibt oder nicht, sondern ob ihre Einführung zweckmäßig ist“. Das nun ist ein Argument, das das Vorgehen des KPK in den Augen seriöser Wissenschaftler vollständig diskreditiert. Es ist ein offensichtliches Beispiel dafür, wie im KPK fundamentale physikalische Tatsachen zugunsten didaktischer Überzeugungen verbogen werden. Man könnte einwenden, dass es in der Elektrostatik eine Methode zur Lösung von Potentialproblemen mit gewissen Symmetrien der Ladungsverteilung und der Randbedingungen gibt, bei der so genannte Spiegelladungen eingeführt werden, die experimentell auch nicht nachzuweisen sind. Wie der Name schon nahelegt, stellen diese Spiegelladungen eine mathematische Methode zur Lösung von Randwertproblemen zur Verfügung. Die

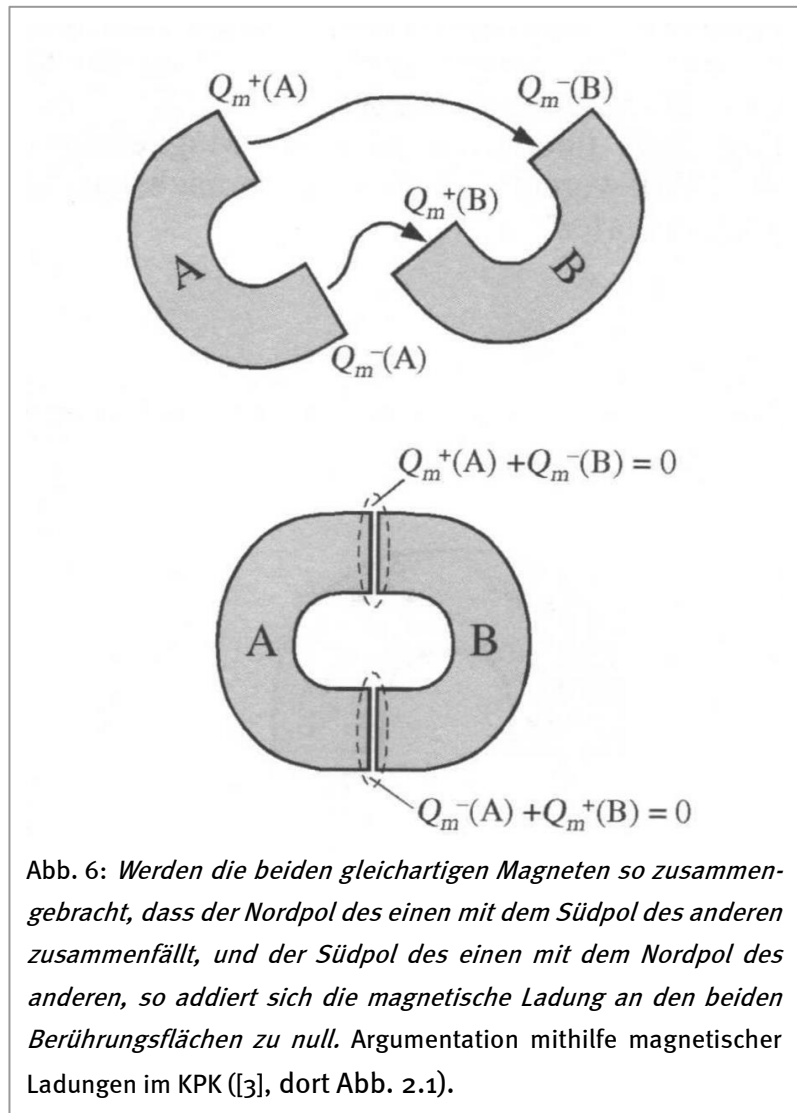


Abb. 6: Werden die beiden gleichartigen Magneten so zusammengebracht, dass der Nordpol des einen mit dem Südpol des anderen zusammenfällt, und der Südpol des einen mit dem Nordpol des anderen, so addiert sich die magnetische Ladung an den beiden Berührungsflächen zu null. Argumentation mithilfe magnetischer Ladungen im KPK ([3], dort Abb. 2.1).

Spiegelladungen werden in Raumbereichen angebracht, die physikalisch nicht relevant sind, und dienen dazu, die Randbedingungen zu erfüllen. Aus ihrer mathematischen Herleitung folgt, dass das berechnete Potential nur in dem physikalisch relevanten Raumbereich gilt und nicht in den Bereichen, in denen die Spiegelladungen sitzen. Die Arbeitsgruppe der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ist der Ansicht, dass auch in der Schule nur experimentell belegbare Fakten vermittelt werden dürfen und dazu eine didaktische Methode gesucht werden muss und nicht umgekehrt physikalische „Fakten“ erfunden werden dürfen, damit die didaktische Methode möglichst elegant wird.

Äther/Vakuum

Der KPK stellt sich die Frage ([4], S. 46): „Worin läuft die elektromagnetische Welle eigentlich? Wer oder was fungiert hier als Träger?“ Obwohl die moderne Physik beginnend mit den Experimenten von Fizeau sowie von Michelson und Morley die Existenz eines solchen Trägers ausgeschlossen hat, schreibt der KPK weiter ([4], S. 46): „Daraufhin [offenbar nach diesen Experimenten] gab man ihm [dem Träger] einen neuen Namen, denn mit dem Namen Äther verbanden sich zu viele veraltete Vorstellungen. Dieser neue Name ist ‚Vakuum‘, auf Deutsch ‚das Leere‘. Den Träger der elektromagnetischen Wellen nennt man ‚Vakuum‘. [...] Wenn man sagt, in einem Raumbereich befinde sich Vakuum, so meint man, dass sich dort zwar keine Materie im Sinne der Chemie befindet, wohl aber etwas anderes: eben der Träger der elektromagnetischen Welle. Solange keine Welle durch das Vakuum läuft, befindet sich das Vakuum in seinem ‚Grundzustand‘“.

Durch die Experimente von Fizeau bzw. von Michelson und Morley kamen die Physiker zu der Überzeugung, dass es für elektromagnetische Wellen kein bevorzugtes Bezugssystem und damit auch kein Trägermedium gibt. Dies führte zur Formulierung der speziellen Relativitätstheorie und der Lorentz-Invarianz, die heute mit einer relativen Genauigkeit von 10^{-17} experimentell überprüft ist. Der KPK argumentiert dagegen, dass durch die Experimente zwar die Bezeichnung Äther abgeschafft wurde, dass aber trotzdem die elektromagnetischen Wellen immer noch ein Trägermedium (ähnlich wie die Schallwellen) hätten. So dargestellt, entsteht eine mindestens irreführende, wenn nicht falsche Vorstellung. Elektromagnetische Wellen entstehen dadurch, dass zeitliche Änderungen elektrischer Felder eine magnetische Ringspannung und zeitliche Änderungen magnetischer Felder elektrische Ringspannungen erzeugen. Sie sind nicht, wie etwa Schall- oder Wasserwellen, Störungen eines Trägermediums, die sich ausbreiten. Sie brauchen also weder den Äther noch das Vakuum als Trägermedium. Zwar kann man aufgrund der Quantenfeldtheorie das Vakuum als einen modernen Nachfolger des Äthers ansehen. Ein entscheidender Unterschied zum klassischen Äther ist aber, dass das Vakuum der Quantenfeldtheorie Lorentz-invariant ist, damit der Relativitätstheorie genügt und somit kein Bezugssystem auszeichnet.

Die hier aufgeführten Beispiele belegen, dass der KPK nach dem gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis falsche Aussagen macht (Existenz magnetischer Ladungen oder Monopole) oder durch unpräzise Formulierungen falsche Vorstellungen hervorrufen kann (Vakuum).

Mangelnde Anschlussfähigkeit

Es ist die Aufgabe des Physikunterrichts, den derzeitigen Wissenstand der Physik so darzustellen, dass die Schüler Phänomene der Natur und technische Geräte des Alltags verstehen können. Dies betrifft Schüler, die auf ein eventuelles technisches oder naturwissenschaftliches Studium vorbereitet werden sollen, aber insbesondere auch solche, für die der schulische Unterricht die einzige Gelegenheit ist, mit einem zutreffenden physikalischen Weltbild ausgestattet zu werden. Dazu muss sich die Schulphysik an die national und international gebräuchlichen Begriffe halten, die den Dialog innerhalb und außerhalb der Physiker-Gemeinschaft überhaupt erst ermöglichen und sich bei experimenteller Überprüfung bewährt haben. Der Impulsstrom des KPK genügt diesen Anforderungen nicht, was man daran sieht, dass dieser Begriff in gebräuchlichen national und international verbreiteten Lehrbüchern für Studierende der Physik überhaupt nicht vorkommt. Dazu braucht man nur die Stichwortverzeichnisse verschiedener Lehrbücher anzuschauen. Im Index des Lehrbuchs Gerthsen Physik [6] wird 14-mal auf den Begriff der Kraft hingewiesen, aber kein einziges Mal auf einen Impulsstrom. Bei dem aus dem Amerikanischen übersetzten Lehrbuch von Halliday [7] sieht es ähnlich aus: 13 Hinweise auf die Kraft, aber kein einziger auf einen Impulsstrom. Weiterhin führt der KPK als Maßeinheit des Impulses die Einheit Huygens [Hy] ein. Diese Maßeinheit kommt aber in den Lehrbüchern oder auch im Taschenbuch der Physik [8] nicht vor. Nur der Kraft wird eine eigene Einheit, das Newton, zugeordnet. Ebenso wie auf den Impulsstrom treffen diese Feststellungen auf die vom KPK eingeführten magnetischen Ladungen mit der ihnen zugeordneten, aber außerhalb des KPK bereits anders definierten Einheit Weber zu, oder auf die Einheit Carnot für die Entropie. Der KPK lehrt also die Schüler Konzepte und Einheiten, mit denen sie außerhalb ihres KPK-Unterrichts in der Schule nichts anfangen können.

Wenn Autoren meinen, die Physik müsse anders dargestellt werden, weil andere Konzepte, andere Begriffe und andere Maßeinheiten adäquater seien – wofür es gute Gründe geben mag – dann kann diese Diskussion nur nach den seit über 400 Jahren bewährten Regeln der empirischen Naturwissenschaft Physik geführt werden. Andernfalls kann der Anspruch, Physik wissenschaftlich fundiert darzustellen, nicht eingelöst werden. Die Feynman Lectures [9] oder der Berkeley Physics Course [10] sind berühmte und erfolgreiche Beispiele, wie neue Konzepte der Darstellung sogar sehr befruchtend gewirkt haben. Der KPK ignoriert diesen Weg.

Fazit

Konzepte wie der Impulsstrom, die magnetischen Ladungen oder das Vakuum als Träger elektromagnetischer Wellen wurden vom KPK in der durchaus löblichen Absicht in die Physik eingeführt, den Schülern das Verständnis der physikalischen Vorgänge zu erleichtern. Doch selbst wenn diese Konzepte für die Schüler eingängiger wären, stellt das keinen Gewinn dar, denn die Schüler lernen etwas, was vom wissenschaftlichen Standpunkt fragwürdig und teilweise nachweislich falsch ist. Ferner werden diese Konzepte des KPK auf eine Weise formuliert, die kein anderer Techniker oder Wissenschaftler versteht.

Auf besonders eklatante Weise falsch und irreführend ist die Behauptung des KPK, die Entropie sei das, was man „umgangssprachlich Wärme“ nenne. Die Entropie ist eine von der Energie und damit auch von der Wärme strikt zu unterscheidende Größe, die aufgrund ihrer fundamentalen Bedeutung durchaus im Schulunterricht vorkommen sollte. Dann muss sie aber zutreffend als diejenige Zustandsgröße eingeführt werden, die entscheidet, welche Energieumwandlungen möglich sind oder in welcher Richtung bestimmte Vorgänge wie die Wärmeleitung oder die irreversible Ausdehnung eines Gases ablaufen.

Vom Physikunterricht in der Schule muss zumindest verlangt werden, dass er auch in der Zukunft die Physik so darstellt, wie sie aufgebaut ist und betrieben wird: Als eine experimentelle Naturwissenschaft, die ihre Begriffe durch Messvorschriften belegt und aufgrund präziser Definitionen ihrer Konzepte zu objektivierbaren Aussagen gelangt.

Der KPK vermittelt kein zutreffendes physikalisches Weltbild. Zugunsten einer didaktischen Überzeugung führt er fragwürdige neue Konzepte ein, ignoriert oder verbiegt experimentelle Tatsachen und nimmt irreführende Analogien ebenso wie falsche Darstellungen in Kauf. Keine physikalische Ausbildung darf sich so etwas erlauben.

Der KPK ist als Grundlage eines physikalischen Unterrichts ebenso ungeeignet wie als Leitlinie zur Formulierung physikalischer Lehr- oder Bildungspläne. Wir empfehlen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, mit allem Nachdruck dafür einzutreten, dass der KPK nicht in der physikalischen Ausbildung verwendet wird.

Literatur

- [1] Herrmann, Friedrich: Der Karlsruher Physikkurs, ein Lehrbuch für den Unterricht der Sekundarstufe II. Mechanik, 2. Auflage, Aulis Verlag 2010
- [2] Herrmann, Friedrich: Der Karlsruher Physikkurs, ein Lehrbuch für den Unterricht der Sekundarstufe II. Elektrodynamik Unterrichtshilfen, 4. Auflage, Aulis Verlag Deubner 2008
- [3] Herrmann, Friedrich: Der Karlsruher Physikkurs, ein Lehrbuch für den Unterricht der Sekundarstufe II. Elektrodynamik, 6. Auflage, Aulis Verlag 2010
- [4] Herrmann, Friedrich: Der Karlsruher Physikkurs, ein Lehrbuch für den Unterricht der Sekundarstufe II. Schwingungen, Wellen – Daten, 4. Auflage, Aulis Verlag 2010
- [5] Herrmann, Friedrich: Der Karlsruher Physikkurs, ein Lehrbuch für den Unterricht der Sekundarstufe II. Thermodynamik, 5. Auflage, Aulis Verlag 2010
- [6] Meschede, Dieter: Gerthsen Physik, 22. völlig neu bearbeitete Auflage, Springer Verlag 2004
- [7] Halliday, David, Resnick, Robert und Walker, Jearl: Physik, Bachelor-Edition, Verlag Wiley-VCH, 2007
- [8] Stöcker, Horst: Taschenbuch der Physik, Verlag Harry Deutsch, 2010
- [9] Feynman, Richard. P., Leighton, Robert B. und Sands, Matthew: The Feynman Lectures on Physics, 15. Auflage, Addison-Wesley 1983
- [10] Kittel, Charles et al.: Berkeley Physik Kurs, 3. Auflage, Vieweg 1979

Prof. Dr. Johanna Stachel an die Kultusminister der Länder

Bad Honnef, den x. März 2013

Sehr geehrter Herr Minister/Frau Ministerin,

als Präsidentin der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) wende ich mich an Sie mit einem aus unserer Sicht sehr ernsthaften Anliegen. Es geht um die Verwendung des sogenannten Karlsruher Physikkurses (KPK) [1] im Physikunterricht an Schulen. Der KPK wurde vor über 20 Jahren entwickelt, lokal im Schuleinsatz getestet und in einigen Bundesländern zum Gymnasialunterricht zugelassen. Vor allem in Baden-Württemberg und in Rheinland-Pfalz ist der Karlsruher Physikkurs mittlerweile verbreitet.

Der Vorstand der DPG wurde erstmals Mitte des letzten Jahres durch Hinweise zahlreicher Gymnasiallehrer auf den KPK aufmerksam gemacht und darauf, dass lokal z.T. erheblicher Druck ausgeübt wird, nach diesem Konzept Physik zu unterrichten. Wie wir zudem jetzt nachvollziehen können, gab es von Anfang an eine erhebliche Kontroverse um das Herangehen des KPK, die seitdem nie verstummt ist.

Die DPG, die größte Physikalische Fachgesellschaft der Welt, in der mehr als 62.000 Physikerinnen und Physiker organisiert sind, hat nun eine fachwissenschaftliche Überprüfung der Inhalte des Karlsruher Physikkurses veranlasst. Die Überprüfung basiert auf den Inhalten der *Lehrbücher für die Sekundarstufe 2* (Aulis Verlag, 2010) und wurde von einer Arbeitsgruppe der DPG durchgeführt. Diese Arbeitsgruppe setzt sich aus Universitätsprofessoren und Gymnasiallehrern mit einschlägiger Erfahrung zusammen.

Nach dem Studium des Gutachtens und einer Replik des Autors des KPK, um die ich ihn als Präsidentin der DPG gebeten hatte, schließe ich mich der Meinung der von mir beauftragten Gutachtergruppe an und muss den KPK aufgrund der unten aufgeführten Punkte als ungeeignet für die Physikausbildung bezeichnen. Hierbei stellen wir exemplarisch und nach unserer Überzeugung allgemeingültig fest, dass die theoretischen Grundlagen dieser international ungewöhnlichen Betrachtungsweise der Physik sich nicht so weit vereinfachen lassen, dass sie ohne wissenschaftliche Falschaussagen im Schulunterricht verwendet werden können.

1. Bei dem Versuch, die Physik mit Hilfe des KPK auf wenige übergreifende Konzepte zu reduzieren, um sie damit für die Schüler „eingängiger“ zu machen, müssen nach der Überzeugung der DPG notwendigerweise viele falsche Aussagen auftreten. Dies ist auch der Fall. Exemplarisch werden einige dieser Fehler im angefügten Gutachten detailliert diskutiert.

2. Weiterhin führt der Karlsruher Physikkurs Begriffe, Einheiten und Konzepte ein, die in der üblichen Physik nicht vorkommen oder bereits anders verwendet werden. Diese mangelnde Anschlussfähigkeit führt dazu, dass Schüler, die nach dem Karlsruher Physikkurs unterrichtet wurden, in ihrer weiteren Berufsausbildung in technischen oder naturwissenschaftlichen Fächern Nachteile haben, weil sie sich mit den dort gebräuchlichen Begriffen nicht zurechtfinden. Besonders fatal wird sich jedoch die An-

wendung des KPK im Physikunterricht der Schule für all jene Jugendliche erweisen, die nach dem Schulabschluss in ein Berufsleben wechseln, wo ihr falsches Physikbild nach dem KPK nie mehr korrigiert wird.

3. Der Karlsruher Physikkurs beraubt die Physik ihrer größten Stärke: Einer Beschreibung der Realität, die objektiv und unabhängig von persönlichen Anschauungen ist.

4. Der KPK verstößt eindeutig gegen die Kriterien für Schulbuchwissen, da nicht international anerkanntes Wissen vermittelt wird, sondern lediglich eine Mindermeinung.

Der Karlsruher Physikkurs ist daher ungeeignet für den Schuleinsatz und wird bei weiterer Verbreitung Schaden anrichten. Er gefährdet in erheblichem Maße die Qualität des Physikunterrichts in Deutschland, die für ein Hochtechnologieland unerlässlich ist. Die Deutsche Physikalische Gesellschaft ist deshalb der Ansicht, dass der Karlsruher Physikkurs nicht zur Vermittlung der Physik im Schulunterricht oder als Leitlinie zur Formulierung physikalischer Lehr- oder Bildungspläne eingesetzt werden darf.

Abschließend möchte ich aber nachdrücklich darauf hinweisen, dass der DPG die anschauliche und Begeisterung weckende Vermittlung der Physik in der Schule ein zentrales Anliegen ist. Hier ist ein gemeinsamer Kraftakt von Schulen, Hochschulen und Ministerien gefordert, an dem sich die DPG gern beteiligen wird.

Mit freundlichen Grüßen

Johanna Stachel

[1] Der Name weist darauf hin, dass der KPK von einem jetzt pensionierten Kollegen an der Universität Karlsruhe und Mitarbeitern entwickelt wurde. Allerdings unterstützt die Fakultät für Physik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) den KPK nicht. Keiner der aktiven Professoren der Fakultät für Physik am KIT verwendet den KPK in der Lehre.



To:

Zhan Wen-long
President
Office of the Chinese Physical Society
P.O. Box 603
Beijing 100190
P.R. China

Bad Honnef, April 12th, 2013

The Karlsruhe Course of Physics (KPK)

Dear Prof. Zhan,

I am taking the liberty to draw your attention to a disturbing development in the field of physics didactics in Germany. The development concerns a course developed by the former “Institute for Didactics in Physics” at the University of Karlsruhe (now Karlsruhe Institute of Technology, KIT) by Prof. F. Herrmann.

The “Deutsche Physikalische Gesellschaft” (German Physical Society, DPG) has received many critical remarks about this course which led me to the decision to request a detailed and comprehensive review by a panel of renowned physicists. The outcome of the review is documented in a written report (in German).

The findings point to substantial mistakes contradicting our internationally established knowledge of physics. The panel strongly recommends, that the course should not be used for teaching physics at schools.

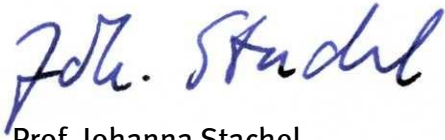
I have been informed that the course is now also in use in your country, for example at the Jinshan-School in Shanghai. The teaching material is available in Chinese (http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index_ch.html).

I am very concerned about this development and I recommend that you take a closer look at the situation. As additional information I append a set of slides about the course presented to the council of the European Physical Society by our member of the executive board Prof. K.H. Meier.

Prof. Dr. Johanna Stachel
Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.
Hauptstr. 5, 53604 Bad Honnef
Telefon +49 (0)2224/9232-0, Telefax +49 (0)2224/9232-50
stachel@dpg-physik.de

Should you need any additional information or support I will be happy to help.

Yours sincerely

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Joh. Stachel', written in a cursive style.

Prof. Johanna Stachel

PS: The review and additional material (all in German) is accessible under www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/stellungnahmen_gutachter/index.html.

copied to:

Gu Dongmei, Associate Secretary General, Chinese Physical Society

Attachement:

- Slides presentation EPS

Ergänzende Bemerkungen zum DPG-Gutachten über den Karlsruher Physikkurs

Matthias Bartelmann¹, Fabian Bühler², Siegfried Großmann³, Wolfhard Herzog⁴, Jörg Hüfner¹, Rudolf Lehn^{2, 5}, Rudolf Löhken⁴, Karlheinz Meier¹, Dieter Meschede⁶, Peter Reineker⁷, Metin Tolan⁸, Jochen Wambach⁹, und Werner Weber⁸

¹Universität Heidelberg

²Störck-Gymnasium Bad Saulgau

³Universität Marburg

⁴Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Heidelberg

⁵Schülerforschungszentrum Südwürttemberg

⁶Universität Bonn

⁷Universität Ulm

⁸Technische Universität Dortmund

⁹Technische Universität Darmstadt

9. April 2013

Einleitung

Das am 28. Februar 2013 veröffentlichte, von der DPG in Auftrag gegebene Fachgutachten beurteilt den Karlsruher Physikkurs (KPK) anhand der von den Autoren des KPK selbst für den Gebrauch in der Sekundarstufe II herausgegebenen Unterrichtsmaterialien. Es zeigt Widersprüche und fachliche Fehler des KPK in drei wesentlichen Bereichen der Physik auf: der Mechanik, der Thermodynamik und der Physik von Magnetfeldern und elektromagnetischen Wellen. Das Gutachten verwendet dabei bewusst die Sprache der vorliegenden Lehrmaterialien sowie einige der dort verwendeten Abbildungen. Auf diese Weise sollte die mangelnde Eignung von Begriffen und Zusammenhängen des KPK für den Physikunterricht an Schulen besonders deutlich herausgearbeitet werden.

Die hier vorgelegten Ergänzungen verfolgen ein komplementäres Ziel. Sie entsprechen dem von einigen Fachphysikern geäußerten Wunsch, die vorgebrachte Kritik über die Alltagsbeispiele hinaus auch mit fundamentalen Prinzipien der Physik zu begründen. Diese Ergänzungen eignen sich naturgemäß weniger für die Argumentation außerhalb der Physik, mögen aber als Material für die Diskussion unter Fachkollegen hilfreich sein. Die Erläuterungen beziehen sich nur auf die Bereiche Mechanik und Elektrodynamik. In den anderen Bereichen erfordern die uns vorliegenden Kommentare keine tiefergehende Diskussion.

Die Argumente zur mangelnden Anschlussfähigkeit eines Schulunterrichts nach dem KPK, die im Gutachten genannt wurden, werden ausdrücklich aufrechterhalten. Die hier vorgelegten Ergänzungen dienen der vertieften fachlichen Diskussion.

Dem Gegenstand des Gutachtens gemäß sprechen wir verkürzt vom KPK, wenn die KPK-Lehrbücher für den Unterricht in der Sekundarstufe II gemeint sind. Viele der im Folgenden aufgestellten und begründeten Aussagen gelten jedoch auch für den KPK als physikalisches Konzept.

Kurze Zusammenfassung

Der KPK gibt die Newtonschen Axiome *de facto* auf und geht zur Kontinuumsmechanik über. Dies verschleiern, dass die Kontinuumsmechanik fundamental auf den drei Newtonschen Axiomen beruht. Sie überwindet nicht die Newtonschen Axiome, sondern wendet sie unter geeigneten Näherungsannahmen an. Präzise Begriffe der Trägheit, des Inertialsystems und des Reaktionsprinzips stehen dem KPK nicht mehr zur Verfügung.

Die Kontinuitätsgleichung der Kontinuumsmechanik setzt in ihrer integralen Formulierung die Impulsänderung innerhalb eines beliebigen Volumens dem negativen Netto-Impulsstrom durch den *geschlossenen* Rand dieses Volumens gleich. Anhand konkreter Rechnungen, ausgehend von der korrekten Darstellung durch G. Falk [1], wird im Folgenden belegt:

- Der korrekte Impulsstrom entsteht durch Integration über *geschlossene* Oberflächen. Stattdessen integriert der KPK über beliebige, insbesondere auch offene Flächen. Deswegen erfüllt der KPK-Impulsstrom im Allgemeinen die Impulserhaltung nicht und täuscht insbesondere in statischen Situationen Impulsströme vor, in denen kein physikalischer Impuls fließt.
- Die geschlossenen Randflächen müssen lokal längs ihrer äußeren Flächennormale orientiert werden. Stattdessen führt der KPK durch Verabredung die Orientierung längs einer beliebig gewählten x -Achse ein. Dies bewirkt das fehlerhafte Transformationsverhalten des KPK-Impulsstroms unter Drehungen.

Der KPK führt entgegen experimenteller Evidenz magnetische Ladungen als Quellen des magnetischen Feldes ein. Dadurch wird eine Analogie zum elektrischen Feld konstruiert, die den fundamentalen Unterschied zwischen elektrischen und magnetischen Feldern verschleiern. Anhand konkreter Rechnungen, ausgehend von der korrekten Darstellung durch J. D. Jackson [2], wird im Folgenden belegt:

- Quellen von magnetischen Erregungsfeldern $\vec{H}$ sind entweder elektrische Ströme oder die räumlich veränderliche Magnetisierung eines Mediums. Das magnetische $\vec{B}$ -Feld (Induktion), das die Lorentzkraft bestimmt, hat keine Quellen. Entgegen der Darstellung des KPK entspricht die Magnetisierung eines Mediums keiner magnetischen Ladungsdichte, sondern einer magnetischen Dipoldichte.

Abschnitt I: Impulsströme in der Mechanik

Übersicht

Üblicherweise beginnt ein Physikunterricht in der Mechanik, indem die Bewegung eines Massenpunktes unter dem Einfluss einer Kraft $\vec{F}$ behandelt wird, wobei die Newton'sche Bewegungsgleichung

$$\dot{\vec{p}} = \vec{F} \quad (1)$$

im Mittelpunkt steht. Im Unterschied dazu wird im Karlsruher Physikkurs (KPK) in der Mechanik von Anfang an auf der Grundlage von Strömen argumentiert. Diese lassen sich aber korrekt nur mithilfe von Begriffen (und der Mathematik) der Mechanik kontinuierlicher Medien behandeln.

Bei einer kontinuierlichen Beschreibung der Materie wird jedem Ort $\vec{x}$ im Raum eine Massendichte ρ und eine Geschwindigkeit $\vec{v}$ zugeordnet. An die Stelle der Newton'schen Bewegungsgleichung tritt die Euler'sche Gleichung

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V (\rho \vec{v}) dV + \int_V \operatorname{div} \overleftrightarrow{T} dV = 0, \quad (2)$$

wobei $\overleftrightarrow{T}$ ein Tensor zweiter Stufe ist, der die Impulsstromdichte beschreibt. Er wird gewöhnlich auch als Spannungstensor bezeichnet. Integriert wird hier über ein beliebig aus dem Kontinuum herausgegriffenes Volumen V . Das Volumenintegral über die Divergenz des Tensors $\overleftrightarrow{T}$ ergibt den Netto-Impulsstrom $\vec{I}^N$,

$$\vec{I}^N = \int_V \operatorname{div} \overleftrightarrow{T} dV. \quad (3)$$

Umschließt das Volumen V den Körper, dessen Bewegung beschrieben werden soll, dann ergibt sich aus den Gleichungen (1), (2) und (3)

$$\dot{\vec{p}} + \vec{I}^N = 0 \quad (4)$$

für die Bewegung des Körpers. Bis auf ein Vorzeichen sind also $\vec{I}^N$ und die Newton'sche Kraft $\vec{F}$ gleich. Interpretiert man $\vec{p}$ als materiellen Impulsstrom, dann hat die Gleichung (4) die Form der Impulserhaltung.

Das Volumenintegral über die Divergenz des Tensors $\overleftrightarrow{T}$ der Impulsstromdichte kann nach dem Gauß'schen Satz durch ein Integral über die geschlossene Oberfläche ∂V des Volumens V ersetzt werden,

$$\int_V \operatorname{div} \overleftrightarrow{T} dV = \vec{I} = \int_{\partial V} \overleftrightarrow{T} d\vec{A}, \quad (5)$$

wobei das Flächenelement $d\vec{A}$ entlang der äußeren Flächennormale gerichtet ist. Entscheidend ist, dass die Fläche, über die hier zu integrieren ist, *geschlossen* ist.

Demgegenüber definiert der KPK den Impulsstrom durch [3]

$$\vec{I}^{\text{KPK}} = \int_A \overleftrightarrow{T} d\vec{A}, \quad (6)$$

wobei die Fläche A jeweils geeignet gewählt wird und insbesondere *offen* sein kann. Für offene Flächen kann aber die Bewegungsgleichung $\dot{\vec{p}} + \vec{I}^{\text{KPK}} = 0$ *nicht* bewiesen werden. Die Kraft, die

dann dem negativen KPK-Impulsstrom gleichgesetzt würde, ist im allgemeinen *nicht* die Kraft, die gemäß dem zweiten Newton'schen Axiom als Ursache der Impulsänderung anzusehen ist. Zwar wird im KPK behauptet, dass die Impulsstromstärke I^{KPK} gleich der Stärke der Kraft sei, aber diese Behauptung ist falsch, wie weiter unten in Beispielen gezeigt werden wird. Das erste wesentliche Problem des KPK-Impulsstroms entsteht daher aus der Integration:

Während der korrekte Netto-Impulsstrom durch ein geschlossenes Flächenintegral aus der Impulsstromdichte zu berechnen ist und daher in statischen Situationen verschwindet, lässt der KPK-Impulsstrom offene Flächen zu und erkennt daher Impulsströme auch in statischen Situationen, in denen kein physikalischer Impuls strömt.

Im Mechanik-Band des Schulbuchs für die Sekundarstufe II [4] behandelt der KPK hauptsächlich eindimensionale Probleme. Die Fläche A_1 , die hier auftritt, wird durch Verabredung anstelle von physikalischen oder geometrischen Argumenten entlang der positiven x -Achse gerichtet. Hierin besteht das zweite wesentliche Problem des KPK-Impulsstroms:

Während in einer korrekten Beschreibung die Fläche, über die die Impulsstromdichte zu integrieren ist, entlang der äußeren Flächennormale gerichtet sein muss, richtet sie der KPK willkürlich entlang der positiven x -Achse aus. Deswegen transformiert sich der KPK-Impulsstrom unter Koordinatendrehungen nicht als Vektor, auch wenn das im Schulbuch zum KPK [4] suggeriert wird, indem der KPK-Impulsstrom als Vektor gezeichnet wird.

Das dritte wesentliche Problem des KPK-Impulsstroms ist, dass er die Analogie zu einer materiellen Strömung auch in Situationen sucht, in denen erkennbar nichts strömt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Tensor $\vec{T}$ der Impulsstromdichte den inneren Spannungen eines kontinuierlichen Mediums entspricht, das sich im statischen Gleichgewicht befindet.

In solchen Fällen führt die Integration der Impulsstromdichte über offene Flächen mit willkürlicher Ausrichtung längs der x -Achse zu einem KPK-Impulsstrom, dem kein physikalischer, d.h. kein messbarer, Impulsstrom entspricht.

Wir betonen, dass sich die Kritik des Gutachtens nicht gegen das Konzept des Impulsstroms als solches wendet, sondern gegen seine fehlerhafte Umsetzung im KPK, die zu Widersprüchen führt, auf die das Gutachten hinweist.

Diese Aussagen werden im Folgenden durch ausführliche theoretische Entwicklungen und Beispielrechnungen belegt. Wir beginnen mit einigen Überlegungen zur Rolle der Newton'schen Axiome in der Mechanik und ihrer Behandlung im KPK-Schulbuch [4].

Newton'sche Axiome

Ein erheblicher Anteil der fundamentalen Schwierigkeiten des KPK rührt daher, dass er *de facto* die Newton'schen Axiome aufgibt. Zwar wird im Abschnitt 2.10 im Mechanik-Band des Schulbuchs für die Sekundarstufe II [4, S. 21] noch „das Newton'sche Gesetz“ erwähnt, allerdings finden sich dort zwei bemerkenswerte Aussagen darüber: Zum einen wird das zweite Newton'sche Axiom, die Bewegungsgleichung, so eingeführt, dass es nur mehr eine Tautologie formuliert. Die Kraft wird nicht mehr als Ursache einer Impulsänderung angesehen. Stattdessen wird die Newton'sche Bewegungsgleichung zu einer reinen Bilanzgleichung des Impulses. Zum anderen wird behauptet, es gebe eigentlich drei Newton'sche Gesetze, aber „die anderen beiden“ seien Spezialfälle des zweiten. In der Mechanik formulieren die drei Newton'schen Axiome jedoch Aussagen,

die strikt voneinander zu trennen sind.

Das erste ist das Trägheitsgesetz. Es legt fest, dass Körper sich geradlinig-gleichförmig bewegen, solange keine Kräfte auf sie einwirken. Das zweite verbindet Kräfte und Impulsänderungen und formuliert damit die Bewegungsgleichung der klassischen Mechanik. Das dritte ist das Reaktionsgesetz, das besagt, dass in einem abgeschlossenen System die Summe aller Kräfte verschwindet.

Ohne das erste Newton'sche Axiom ist der Begriff des Inertialsystems nicht formulierbar. Da Kräfte ohne Inertialsysteme nicht eindeutig definierbar sind, ist auch das erste Newton'sche Axiom keineswegs ein Spezialfall des zweiten. Trägheitskräfte wie die Zentrifugal- oder die Corioliskraft, die in nicht-inertialen Bezugssystemen auftreten, sind im KPK deswegen kaum erklärbar und kommen folgerichtig im Schulbuch für die Sekundarstufe II auch nicht vor. Das zweite Newton'sche Axiom verbindet jedoch zwei völlig verschiedene Entitäten, die Kraft und die Beschleunigung eines Körpers, auf den die Kraft wirkt. Es besagt, dass Impulsänderungen durch Kräfte verursacht werden, wobei Kräfte in der Newton'schen Mechanik aus der Erfahrung bzw. durch Messungen gewonnen werden und als Eigenschaft der jeweils gegebenen Umgebung angesehen werden. Erst die Bewegungsgleichung erlaubt zu berechnen, wie Körper sich unter dem Einfluss von Kräften bewegen. Erst indem man das zweite Newton'sche Axiom mit dem dritten verbindet, folgt die Impulserhaltung in geschlossenen mechanischen Systemen. Trägheitsbewegung in Inertialsystemen, Impulsänderung durch Kräfte und das Reaktionsprinzip sind in der Mechanik drei strikt voneinander zu unterscheidende Aussagen.

Physik beruht immer auf Axiomen, aus denen Schlussfolgerungen gezogen werden, die experimentell prüfbar sein müssen. Die Forderung nach experimenteller Prüfbarkeit setzt voraus, dass die Schlussfolgerungen oder Vorhersagen der Physik quantifizierbar sein müssen. Deswegen müssen die physikalischen Gesetze mathematisch formuliert sein. Mathematische Gleichungen gewinnen aber erst durch eine präzise Semantik einen physikalischen Sinn, durch die den mathematischen Größen eine wiederum messbare Bedeutung unterlegt wird.

Die Axiomensysteme der Physik werden von den Physikern aufgrund von Beobachtungen und Analysen experimenteller Ergebnisse aufgestellt. Ihrer Formulierung geht die Entscheidung voraus, welche verschiedenen fundamentalen Größen der physikalischen Theorie zugrunde gelegt werden sollen. Die Newton'sche Mechanik kennt die vier fundamentalen Größen Körper, Kräfte, Raum und Zeit. Die Newton'schen Axiome legen fest, wie sich Körper unter dem Einfluss von Kräften mit der Zeit durch den Raum bewegen. Die strikte und präzise Unterscheidung zwischen diesen vier Grundgrößen und den axiomatischen Gesetzen, durch welche sie verbunden werden, ist für die Mechanik unerlässlich.

Der KPK gibt diese Axiome *de facto* auf. Er erklärt aber nicht, was an ihre Stelle treten soll. Damit wird zum einen dem fundamentalen und alltäglich erfahrbaren Phänomen der Trägheit die Grundlage entzogen. Entsprechend ist im KPK-Schulbuch für die Sekundarstufe II von Trägheit nur noch im Zusammenhang mit dem Trägheitsmoment rotierender Körper und beim Vergleich träger mit schwerer Masse die Rede. Hierin zeigt sich auch, dass der Begriff des Inertialsystems nicht mehr zur Verfügung steht, so dass im KPK erst im Zusammenhang mit dem freien Fall und der Unterscheidung zwischen träger und schwerer Masse wieder von Trägheit gesprochen werden kann. Dass Trägheit eine alltäglich erfahrbare Eigenschaft von Körpern ist, aufgrund derer

sie sich einer Beschleunigung durch eine Kraft widersetzen, bleibt im KPK deswegen unklar, weil er die begriffliche Schärfe des ersten Newton'schen Axioms aufgegeben hat. Zum zweiten wird das zweite Newton'sche Axiom durch die Gleichsetzung von Kräften und Impulsströmen zur Tautologie. Damit wird die Bewegungsgleichung aufgegeben, so dass letztlich nicht mehr angebbbar ist, warum Impuls überhaupt strömen sollte. Mit dem dritten Newton'schen Axiom entfällt zum dritten der Grund für die Impulserhaltung in abgeschlossenen mechanischen Systemen. Impulserhaltung muss im KPK eigens gefordert werden und wird dementsprechend auch als absolut gültig behauptet, obwohl Noethers Theoreme auch alle Erhaltungsgrößen in physikalischen Systemen auf ihre Symmetrien zurückführen und damit unter Voraussetzungen stellen, die erfüllt oder verletzt sein können.

Kräfte und Felder

Natürlich ist es in der Physik zulässig, neue Theorien zu entwickeln, indem bestehende Axiomensysteme durch andere ersetzt werden oder indem der Theorie andere fundamentale Größen zugrunde gelegt werden. Dies ist in der Physik mehrfach geschehen: Die Feldtheorie, die sich aus der Beschreibung elektromagnetischer Phänomene entwickelt hat, verbindet Kräfte mit dem Raum zum Begriff des Kraftfeldes. Solche Felder sind jedoch erst dann physikalisch beschreibbar, wenn ihre Dynamik durch Feldgleichungen vorgegeben wird, die wiederum quantitativ prüfbare Aussagen ermöglichen. Ein Beispiel sind die elektromagnetischen Felder, die durch die Maxwell'schen Gleichungen beschrieben werden. Weitere Beispiele stellen die Übergänge zunächst zur speziellen, dann zur allgemeinen Relativitätstheorie dar.

Das Konzept des Impulsstroms bzw. der Impulsstromdichte stammt aus der Feldtheorie und der verwandten Kontinuumsdynamik und ist dort präzise definiert. Impulsstromdichten werden durch Tensoren zweiter Stufe dargestellt, die sich auf eindeutige Weise aus den fundamentalen Annahmen der jeweiligen Theorie ergeben; genauer durch Legendretransformation aus der Lagrangedichte der Theorie. Diese Tensoren werden allgemein als Spannungstensoren bezeichnet. Eine einfachere Darstellung als durch Tensoren ist nicht möglich, weil Impulsstromdichten für jede Komponente des Impulses angeben müssen, wie sie in jede räumliche Richtung fließt. Impulsströme ergeben sich, indem Spannungstensoren mit geeigneten Vektoren kontrahiert werden, z.B. mit dem Vektor eines gerichteten Flächenelements.

Impulsstromdichten zeichnen räumliche Richtungen aus, die durch ihre Struktur und damit durch die Physik vorgegeben sind und keine Willkür zulassen. Tensoren zweiter Stufe haben im dreidimensionalen Raum drei Hauptachsen. Durch die Kontraktion solcher Tensoren mit einem Vektor ergibt sich ein Vektor, der wiederum eine ausgezeichnete Richtung im Raum definiert. Unter Drehungen im Raum verhalten sich Tensorelemente anders als Vektorkomponenten, so dass zwischen Impulsstromdichten und Impulsströmen insbesondere bei der Drehung von Bezugssystemen strikt unterschieden werden muss.

Wir verdeutlichen nun die obige Einführung anhand von zwei korrekt durchgeführten Beispielen, den Impulsstromdichten im elektromagnetischen Feld und in der Strömungs- oder Kontinuumsmechanik. In den anschließenden Beispielen (ab S. 11) zeigen wir, welche Auswirkungen die Integration der Impulsstromdichte über offene statt geschlossener Flächen hat.

Spannungstensor des elektromagnetischen Feldes

Der Maxwell'sche Spannungstensor $\overleftrightarrow{T}^{\text{ED}}$ des freien elektromagnetischen Feldes im Vakuum, das aus dem elektrischen Feld $\vec{E}$ und dem Magnetfeld $\vec{B}$ besteht, wird durch die Matrix mit den Komponenten

$$T_{ij}^{\text{ED}} = \epsilon_0 \left(\frac{1}{2} \vec{E}^2 \delta_{ij} - E_i E_j \right) + \frac{1}{\mu_0} \left(\frac{1}{2} \vec{B}^2 \delta_{ij} - B_i B_j \right) \quad (7)$$

dargestellt, mit $1 \leq i, j \leq 3$. „ED“ steht hier für „Elektrodynamik“. Das ist die Impulsstromdichte des elektromagnetischen Feldes, das sich, wenn die Felder von der Zeit abhängen, in Form elektromagnetischer Wellen ausbreitet. Die Tensorkomponenten haben die Dimension einer Energiedichte oder einer Impulsstromdichte, also eines Impulses pro Zeit- und Flächeneinheit.

Stellt man diesem Feld ein kleines, gerichtetes Flächenelement $\vec{n}dA$ in den Weg, dessen Richtung durch die äußere Flächennormale $\vec{n}$ und dessen Fläche durch dA gegeben sind und das die elektromagnetische Strahlung vollständig absorbiert, ergibt sich der infinitesimale, elektromagnetische Impulsstrom $d\vec{I}^{\text{ED}}$ in diese Fläche, indem man die obige Matrix mit $\vec{n}dA$ multipliziert,

$$dI_i^{\text{ED}} = \sum_{j=1}^3 T_{ij}^{\text{ED}} n_j dA. \quad (8)$$

Dieser infinitesimale Impulsstrom hat die Dimension eines Impulses pro Zeit und damit einer Kraft. Die gesamte Kraft, die ein Körper durch das strömende elektromagnetische Feld übertragen bekommt, ist das negative Integral der Impulsstromdichte über eine Fläche A , die den Körper umschließt,

$$F_i^{\text{ED}} = - \int_A \sum_{j=1}^3 T_{ij}^{\text{ED}} n_j dA. \quad (9)$$

Mit dieser Kraft kann das elektromagnetische Feld aufgrund des zweiten Newton'schen Axioms den Körper beschleunigen. Im Beispiel eines effektiv eindimensionalen elektrostatischen Problems (z.B. für das homogene elektrische Feld innerhalb eines ausgedehnten Plattenkondensators) nimmt die einzige relevante Komponente des Maxwell'schen Spannungstensors (7) die Form

$$T_{11}^{\text{ED}} = -\frac{\epsilon_0}{2} E_1^2 \quad (10)$$

an. Die Kraft auf die Kondensatorplatte folgt aus (9), wobei nur diejenige Oberfläche A der Platte, die dem Inneren des Kondensators zugewandt ist, zum Integral beiträgt. Damit ergibt sich

$$F_1^{\text{ED}} = \frac{\epsilon_0}{2} E_1^2 A = \frac{1}{2} q E_1, \quad (11)$$

worin q die Gesamtladung der Platte ist. Diese bekannten Ausdrücke werden auch in der Schule besprochen.

Spannungstensor der Strömungs- und Kontinuumsmechanik

Das zweite Beispiel betrifft die Impulsstromdichte eines kontinuierlichen Mediums mit der Dichte ρ . Aus geeigneten Momenten der Boltzmann-Gleichung ergibt sich unmittelbar der Spannungstensor der Kontinuumsdynamik (mit „KD“ bezeichnet),

$$T_{ij}^{\text{KD}} = \rho v_i v_j - \sigma_{ij}, \quad (12)$$

wobei $\vec{v}$ die mittlere, makroskopische Geschwindigkeit des Mediums ist. Der erste Term, $\rho v_i v_j$, gibt die materielle Impulsstromdichte an: Die i -te Komponente der Impulsdichte ρv_i wird mit der Geschwindigkeit v_j in die j -Richtung transportiert. Der zweite Term, σ_{ij} , ist der Tensor der inneren Spannungen des kontinuierlichen Mediums. Diese können beispielsweise durch die Elastizität des Mediums gegeben sein. Für eine in x -Richtung eingespannte Feder mit der Federkonstante k , der Querschnittsfläche A_1 und der Ruhelänge l_0 ist z.B. die Komponente σ_{11} des Spannungstensors durch

$$\sigma_{11} A_1 = k(l - l_0) \quad (13)$$

gegeben. Je nachdem, ob die Feder unter Druck- oder Zugspannung steht, ist $l < l_0$ oder $l > l_0$, wodurch sich das Vorzeichen von σ_{11} entsprechend einstellt. Im Fall einer isotropen Flüssigkeit oder eines Gases ist $\vec{\sigma}$ durch den Druck P gegeben,

$$\sigma_{ij} = -P \delta_{ij} . \quad (14)$$

Wiederum haben die Komponenten dieses kontinuumsdynamischen Spannungstensors die Dimension einer Energiedichte.

Wir betonen, dass die Gleichungen der Kontinuumsmechanik, zu denen neben der Euler'schen Gleichung die Erhaltungsgleichungen der Masse und der Energie gehören, nicht als Gleichungen einer Theorie zu verstehen sind, die über die Newton'sche Mechanik hinausgeht. Stattdessen formulieren diese Gleichungen auf makroskopischer Ebene, was durch die Stoßinvarianten auf mikroskopischer Ebene vorgegeben ist. Die mikroskopischen Stöße unterliegen aber der Newton'schen Mechanik. Beispielsweise setzt die Euler'sche Gleichung der Kontinuumsmechanik Impulserhaltung auf mikroskopischer Ebene voraus, die wiederum aufgrund des dritten Newton'schen Axioms gilt. Zusätzlich zu den Newton'schen Axiomen baut die Kontinuumsmechanik aber auf der weiteren Annahme auf, dass die Zeit- und Längenskalen mikroskopischer Stoßvorgänge sehr klein gegenüber den relevanten makroskopischen Skalen sind. In diesem Sinn ist die Kontinuumsmechanik keine Theorie, die über die Newton'sche Mechanik hinausgeht, sondern eine Anwendung der Newton'schen Mechanik in einer angemessenen Näherung.

Grundgleichungen

Mithilfe des Spannungstensors lässt sich die Euler'sche Gleichung der Kontinuumsdynamik in der Form

$$\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial t} + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial T_{ij}^{\text{KD}}}{\partial x_j} = 0 \quad (15)$$

schreiben. Diese Gleichung drückt nichts anderes aus als das zweite Newton'sche Axiom, spezialisiert auf kontinuierliche Medien: Die zeitliche Änderung der materiellen Impulsdichte (ρv_i) des Mediums wird durch die Divergenz innerer Spannungen verursacht, zu denen beispielsweise der Druck gehören kann. Die Euler'sche Gleichung kann als die Kontinuitätsgleichung für die Impulsdichte interpretiert werden und damit als lokale Erhaltungsgleichung des Impulses. Befindet sich das Medium in einem zusätzlichen äußeren Kraftfeld, genügt es, den Spannungstensor des Mediums um denjenigen des äußeren Feldes zu ergänzen. Beispielsweise führt die Ersetzung

$$\vec{T}^{\text{KD}} \rightarrow \vec{T}^{\text{KD}} + \vec{T}^{\text{ED}} \quad (16)$$

geradewegs zur Eulergleichung der Magnetohydrodynamik. Dann wird die materielle Impulsdichte ρv_i des Mediums nicht allein durch seine inneren Spannungen verändert, sondern zusätzlich durch die Maxwell'schen Spannungen des elektromagnetischen Feldes. Wenn die inneren Spannungen durch einen isotropen Druck P dargestellt werden können, tritt an die Stelle der Divergenz von $\overleftrightarrow{\sigma}$ der einfache Druckgradient

$$\sum_{j=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} . \quad (17)$$

Die inneren oder äußeren Spannungstensoren, für die wir hier $\overleftrightarrow{\sigma}$ oder $\overleftrightarrow{T}^{\text{ED}}$ als Beispiele eingeführt haben, stellen auch im Fall der Kontinuumsdynamik Impulsstromdichten dar. Werden sie über *geschlossene* Flächen integriert, geben sie den Netto-Impulsstrom an, d.h. die Differenz der Impulsströme, die in das Volumen einfließen und derer, die es verlassen. Integriert man stattdessen über eine *offene* Fläche und setzt den so erhaltenen Teil des Impulsstroms dem gesamten Impulsstrom gleich, verletzt man in der Regel die Impulserhaltung, die durch die Eulergleichung (15) ausgedrückt wird (vgl. dazu [3]). Zudem zeigen die beiden Beiträge $\rho v_i v_j$ und σ_{ij} zum Spannungstensor der Kontinuumsmechanik, dass die Impulsstromdichte einem materiell strömenden Medium entsprechen kann, aber keineswegs muss. Wir betonen hier ausdrücklich, dass diese Darstellung mit derjenigen vollkommen im Einklang ist, die Gottfried Falk, der an der Universität Karlsruhe das Institut für die Didaktik der Naturwissenschaften leitete, in seinem Buch [1] auf Seite 71 gibt.

Integriert man die Eulergleichung (15) über ein beliebig aus dem Kontinuum gegriffenes Volumen V , erhält man mithilfe des Gauß'schen Satzes

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V (\rho v_i) dV + \int_A \sum_{j=1}^3 (\rho v_i v_j - \sigma_{ij}) dA_j = 0 , \quad (18)$$

wobei A die Fläche ist, die das Volumen V umschließt. Wenn die inneren Spannungen durch einen Druck dargestellt werden, $\sigma_{ij} = -P\delta_{ij}$, besagt die letzte Gleichung beispielsweise, dass eine Flüssigkeit oder ein Gas durch einen Druckgradienten in Bewegung gesetzt wird.

Beispiele

Um diese eher abstrakte Diskussion durch Beispiele zu illustrieren, behandeln wir nun einige konkrete Fälle, die auch für die Schule geeignet sind.

Feder zwischen zwei Wagen

Auf einer geraden Schiene befinden sich zwei Wagen derselben Masse m , die zunächst auf der Schiene arretiert seien. Wir führen zweckmäßig ein Koordinatensystem ein, dessen x -Achse entlang der Schiene verläuft. Zwischen den Wagen sei eine Feder eingespannt, die unter Druckspannung steht (vgl. Abb. 1). Wird die Arretierung der beiden Wagen gelöst, treibt die Spannung der Feder die beiden Wagen symmetrisch auseinander. Was sagt nun die Gleichung (18) dazu?

Integrieren wir dazu diese Gleichung über ein Volumen V_L , das den linken Wagen genau einschließt. Da die Geschwindigkeit überall im Wagen dieselbe ist, ergibt das Volumenintegral im ersten Term gerade die Änderung des Gesamtimpulses des linken Wagens

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V_L} (\rho v_1) dV = m \dot{v}_1, \quad (19)$$

denn v_1 ist die einzige nicht verschwindende Komponente der Geschwindigkeit des Wagens. Das Integral über die Oberfläche von V_L verschwindet überall, außer dort, wo die Feder ansetzt. Das Flächenintegral über die Spannung ist gerade die Kraft, die durch die Federspannung gegeben ist,

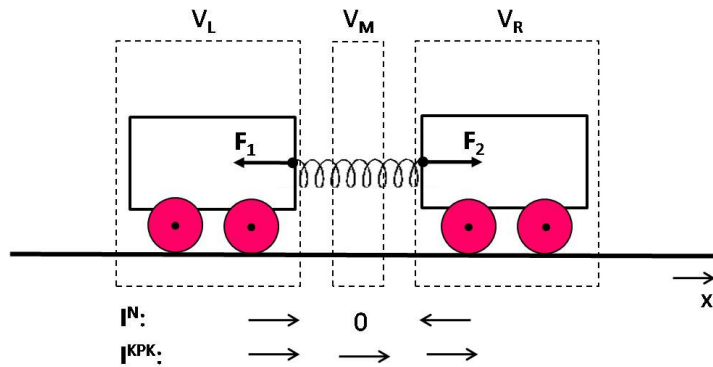


Abb. 1: Eine gespannte Feder beschleunigt zwei Wagen gleicher Masse. Die eingezeichneten Volumina V_L und V_R umschließen jeweils den linken und den rechten Wagen, das Volumen V_M umschließt einen Teil der Feder zwischen den beiden Wagen.

$$F_1 = \sigma_{11} A_1, \quad (20)$$

wobei A_1 die Querschnittsfläche der Feder ist. Das Ergebnis ist, dass der Wagen durch die Spannung der Feder beschleunigt wird,

$$m \dot{v}_1 = \sigma_{11} A_1 = k(l - l_0), \quad (21)$$

die hier durch den Spannungstensor der Feder ausgedrückt wird. Würde man die Feder unter Zugspannung setzen, würde sich lediglich das Vorzeichen von σ_{11} ändern. In der konventionellen Ausbildung würde man sofort mit der Gleichung (21) beginnen, wobei die Kraft der Feder aus dem Hooke'schen Gesetz abgeleitet wird.

Betrachten wir nun den Impulsstrom, der durch das mittlere Volumen V_M fließt, das nur einen Ausschnitt der Feder umschließt. Da wir die Masse der Feder der Einfachheit halber vernachlässigen, trägt hier allein der Spannungsterm in (18) bei. Natürlich ist die Spannung längs der Feder

überall gleich, so dass wir σ_{11} aus dem Integral ziehen können. Es verbleiben die beiden gerichteten Querschnittsflächen der Feder an den beiden längs der x -Achse gegenüberliegenden Seiten des Volumens V_M . Die linke Querschnittsfläche zeigt nach links, die rechte nach rechts. Beide heben sich auf: Das Integral verschwindet. Diese Aussage entspricht dem dritten Newton'schen Axiom.

Im Rahmen des KPK wird das in Abb. 1 gezeigte Problem wie folgt behandelt: In der Feder fließt ein Impulsstrom $\vec{I}^{\text{KPK}}$ durch die Fläche $d\vec{A} = \vec{n} dA$, wobei die Flächennormale in Richtung der positiven x -Achse willkürlich gewählt wird, denn die Symmetrie des Problems zeichnet keine Richtung aus. Damit ergibt sich

$$\vec{I}^{\text{KPK}} = - \int_{A_1} \sigma_{11} dA_1 = -\sigma_{11} A_1 . \quad (22)$$

Im Falle einer Druckspannung ($l < l_0$) fließt I^{KPK} in Richtung der positiven x -Achse, wie in Abb. 1 gezeigt. Nach den Vorstellungen des KPK beginnt der linke Wagen, sich nach links zu bewegen, weil aus ihm Impuls herausströmt. Dieser fließt in den rechten Wagen, der sich dadurch nach rechts in Bewegung setzt. Der KPK-Impulsstrom wird in diesem Beispiel eingeführt, um die globale Impulserhaltung buchhalterisch zu beschreiben. Er entspricht keinem physikalisch realen (d.h. messbaren) Strom. Diesen kann es schon wegen der Symmetrie des Problems nicht geben. Aber der tiefere Grund ist die Verletzung der lokalen Impulserhaltung durch den KPK-Impulsstrom, die daraus folgt, dass die Impulsstromdichte nicht über geschlossene, sondern über offene Flächen integriert wird. Abbildung 1 zeigt das unterschiedliche Verhalten des KPK-Impulsstroms und des Netto-Impulsstroms.

Unberührt bleibt hier die Frage, ob man diese Darstellung der Beschleunigung eines Wagens durch eine Feder für einfacher hält als die konventionelle, die der Spannkraft der Feder das Produkt aus Masse und Beschleunigung des Wagens gleichsetzt. Hier geht es nur darum zu zeigen, dass die vollkommen korrekte Darstellung der Kontinuumsmechanik z.B. in [1] zu Schlussfolgerungen führt, die der konventionellen Erklärung exakt entsprechen, dem KPK aber widersprechen.

Diese Darstellung ändert sich nur unerheblich, wenn man die Masse der Feder berücksichtigt. Dann fließt natürlich ein Netto-Impulsstrom durch die rechten und linken Seitenflächen des Volumens V_M , der aber dann durch die Bewegung der Feder gegeben ist. Dann besagt die Gleichung (18), dass die Spannkraft der Feder zum Teil dazu verwendet wird, um der Feder selbst materiellen Impuls zu verleihen. Auch hier wird ein Impulsstrom durch eine Kraft erzeugt.

Im Joch eingespannte Feder

Beleuchten wir noch einmal im Detail, woher der Widerspruch zwischen dem KPK-Impulsstrom $\vec{I}^{\text{KPK}}$ und dem physikalischen Netto-Impulsstrom $\vec{I}^{\text{N}}$ kommt. Dazu betrachten wir die statische Situation einer Spiralfeder, die in ein Joch eingespannt und auf Zug belastet sei, wie in Abb. 2 dargestellt. In der konventionellen Beschreibungsweise übt die Feder eine Kraft F_1 auf das Joch aus, ebenso das Joch eine Kraft F_2 auf die Feder. Die Beträge dieser Kräfte sind gleich groß, ihre Richtungen entgegengesetzt, so dass die Feder in Ruhe bleibt.

In einer physikalisch korrekten, von der Kontinuumsmechanik ausgehenden Beschreibungsweise hätte man beliebige Volumina aus der gezeigten Anordnung herauszugreifen, über deren geschlossene Randflächen die Impulsstromdichte zu integrieren wäre, die durch den Spannungstensor dargestellt wird. Für jedes der beispielhaft in Abb. 2 oben eingezeichneten Volumina ist das Ergebnis dieser Integration gleich Null: Die gegenüberliegenden Flächenelemente zeigen in entgegengesetzte Richtungen, während die an den Flächen anliegenden Spannungen gleich sind.

Im Rahmen des KPK (vgl. dazu Abb. 2 unten) berechnet sich der Impulsstrom, indem man jede der gerichteten Querschnittsflächen mit der Spannung σ_{11} multipliziert. Dieser so berechnete KPK-Impulsstrom verschwindet in der Tat nicht. Seine ausgezeichnete Richtung ergibt sich aus der Festlegung, dass die Richtung der Flächennormalen $\vec{n}$ in Richtung der positiven x -Achse zeigen soll. Wenn aber der KPK-Impulsstrom einen physikalisch realen Impuls transportieren (und nicht nur eine buchhalterische Funktion haben) soll, dann muss er dem Gesetz von der lokalen Impulserhaltung genügen: Der Netto-Impulsstrom, der in jedes beliebig gewählte Volumen hinein- oder aus diesem herausströmt, muss gleich Null sein. Oder anders ausgedrückt: Wenn dem in Abb. 2 eingezeichneten KPK-Impulsstrom eine Kraft entsprechen sollte, wie der KPK behauptet, dann müsste diese innerhalb der Feder wirken und die Glieder der Feder in Bewegung setzen, was nicht der Fall ist, weil das System im Gleichgewicht ist.

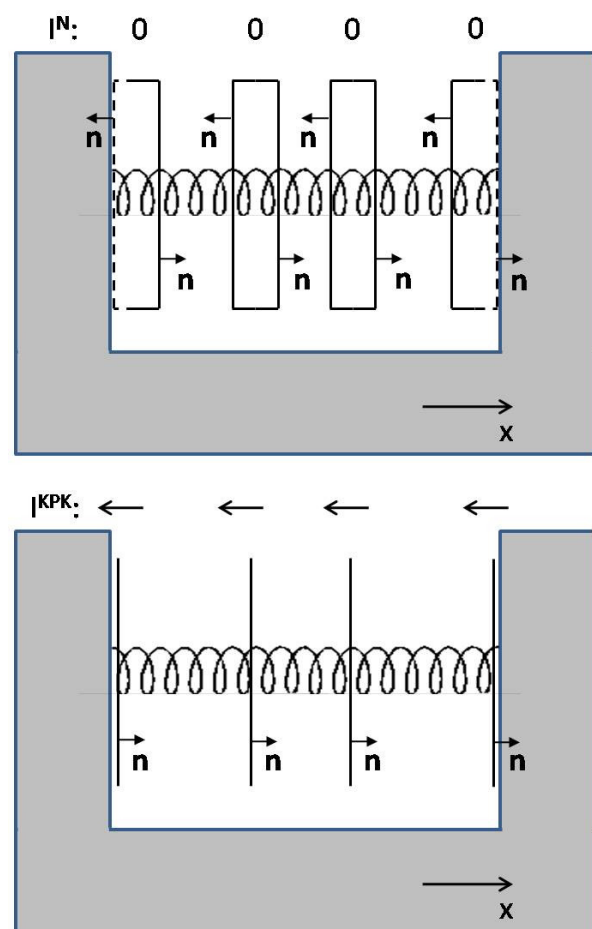


Abb. 2: Eine Spiralfeder ist in ein Joch eingespannt und auf Zug belastet. Oben: Angedeutet ist die physikalisch korrekte Integration der Impulsstromdichte über geschlossene Flächen. Unten: Integriert man stattdessen über offene Flächen, ergibt sich ein Impulsstrom, der aber den Impulserhaltungssatz verletzt.

Kommunizierende Röhren

Betrachten wir zur weiteren Verdeutlichung das Beispiel zweier kommunizierender Röhren (vgl. Abb. 3). Zunächst seien beide Enden gleich hoch mit Wasser gefüllt. Wir wählen die x -Achse so, dass sie parallel zum Verbindungsrohr zwischen den beiden senkrechten Enden verläuft. Wir greifen ein Volumen heraus, das einen Teil dieses Verbindungsrohrs umschließt und dessen rechte und linke Begrenzungsflächen der Einfachheit halber senkrecht auf dem Rohr stehen sollen.

Die linke Wand des Volumens ist dann längs der negativen x -Achse, die rechte Wand längs der positiven x -Achse gerichtet. Der Spannungstensor σ_{ij} wird hier durch den Druck P dargestellt, der im Rohr herrscht, $\sigma_{ij} = -P\delta_{ij}$.

Die Divergenz des Spannungstensors ist dann einfach der negative Gradient des Drucks. Da die kommunizierenden Röhren gleich hoch gefüllt angenommen werden, ist der Druck überall gleich: Der Druckgradient verschwindet, infolgedessen auch die Divergenz des Spannungstensors, und gleichfalls der Impulsstrom durch das Rohr. Wiederum ist damit ausgehend von [1] bewiesen, dass es in dieser statischen Situation keinen Impulsstrom gibt, wohingegen der KPK einen Impulsstrom längs der positiven x -Achse sieht, da die Flüssigkeit zwischen den kommunizierenden Röhren unter Druckspannung steht.

Gehen wir nun von diesem statischen Beispiel zu einer dynamischen Situation über, indem wir den Wasserpegel im linken Ende über den Wasserpegel im rechten Ende erhöhen. Der Höhenunterschied erzeugt einen Druckgradienten längs des Verbindungsrohrs, der in negativer x -Richtung zeigt. Die einzige nicht verschwindende Komponente des Spannungstensors ist wiederum $\sigma_{11} = -P$, wobei nun der Druck an der linken Wand des Volumens etwas größer als an seiner rechten Wand ist. Das Flächenintegral über σ_{ij} in (18) ergibt daher

$$\int_{A_1} \sum_{j=1}^3 \sigma_{ij} dA_j = -\Delta P A_1, \quad (23)$$

wobei $\Delta P = P_{\text{rechts}} - P_{\text{links}}$ der (negative) Druckunterschied zwischen der rechten und der linken Wand des Volumens V_M ist. Von den anderen beiden Termen in (18) verschwindet nur der erste nicht,

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V_M} (\rho v_1) dV = m \dot{v}_1, \quad (24)$$

weil im zweiten die Geschwindigkeit v_1 längs des Rohrs schon wegen der Kontinuitätsgleichung konstant sein muss. In (24) ist m die von V umschlossene Masse des Wassers im Rohr. Aus

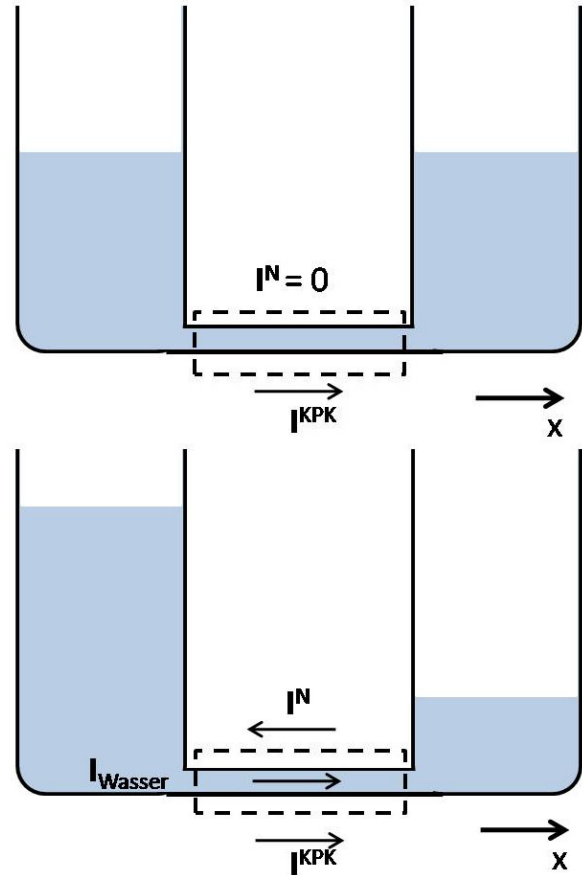


Abb. 3: Kommunizierende Röhren mit gleichen (oben) oder unterschiedlichen Pegelständen. Im oben dargestellten Fall verschwindet der physikalische Impulsstrom, im unten dargestellten Fall zeigt er zum höheren Pegelstand hin, während das Wasser zum niedrigen Pegelstand hin fließt. Der KPK-Impulsstrom dagegen zeigt in beiden Fällen nach rechts.

Gleichung (18) folgt damit

$$m\dot{v}_1 = -\Delta PA_1 . \quad (25)$$

Wiederum besagt diese Gleichung, was wir sofort aus dem zweiten Newton'schen Axiom hätten folgern können: Das Wasser im Volumen V_M (und damit in jedem beliebigen Teilvolumen des Verbindungsrohrs) wird durch eine Kraft beschleunigt, die sich durch den Druckgradienten ergibt. Diese Kraft ist positiv: Die Flüssigkeit wird nach rechts beschleunigt, zu dem Ende hin, in dem der Wasserpegel niedriger ist. So muss es sein, denn der Höhenunterschied muss ausgeglichen werden, um zu einer stabilen Konfiguration zu gelangen.

Im dynamischen Fall, Abb. 3 unten, betrachten wir drei Ströme: den Wasserstrom, den Netto-Impulsstrom und den KPK-Impulsstrom. Die Richtungen von $\vec{I}_{\text{Wasser}}$ und $\vec{I}^N$ müssen immer entgegengesetzt gerichtet sein, weil die Kraft $\vec{F}$, die auf das Wasser wirkt, gleich $-\vec{I}^N$ ist. Anders ausgedrückt, muss wegen der lokalen Impulserhaltung der aus dem Druckgradienten berechnete Netto-Impulsstrom $\vec{I}^N$ zusammen mit dem materiellen Impulsstrom des Wassers gleich Null ergeben. In unserem Beispiel ist dagegen der KPK-Impulsstrom in Richtung des fließenden Wassers gerichtet. Man könnte deshalb vermuten, dass $\vec{I}^{\text{KPK}}$ den Impulsstrom des fließenden Wassers beschreibt. Das ist jedoch falsch, denn $\vec{I}^{\text{KPK}}$ zeigt weiter in diese Richtung, auch wenn gar kein Wasser fließt (vgl. Abb. 3 oben). Selbst wenn man den Druckgradienten umkehrt, indem man die beiden Füllgefäße austauscht und damit die tatsächliche Fließrichtung umkehrt, bleibt die Richtung von $\vec{I}^{\text{KPK}}$ unverändert, weil $\vec{I}^{\text{KPK}}$ proportional zum Druck und nicht zum Druckgradienten ist. Auch dies ist wieder eine unmittelbare Folge davon, dass $\vec{I}^{\text{KPK}}$ durch Integration der Impulsstromdichte über eine offene statt über eine geschlossene Fläche erhalten wird.

Schlussbemerkungen zu Impulsströmen in der Mechanik

Die vorangehenden Beispiele zeigen, wie eine physikalische Beschreibung mechanischer Vorgänge anhand von Impulsströmen entwickelt werden kann. Sie beginnt mit der Kontinuitätsgleichung (15) für die Impulsdichte, die über geeignete Volumina integriert wird. Sie kann als lokale Erhaltungsgleichung des Impulses interpretiert werden. Wird diese Integration korrekt ausgeführt, ergibt sich, dass in statischen Situationen kein physikalischer Impulsstrom existiert. Der KPK-Impulsstrom tritt dennoch auf, weil der KPK die Impulsstromdichte über offene Flächen integriert. Deshalb verletzt der KPK-Impulsstrom den lokalen Impulserhaltungssatz.

Während bei einer korrekten physikalischen Beschreibung Flächenelemente längs ihrer äußeren Flächennormalen orientiert sind, die unabhängig vom Koordinatensystem definiert sind, legt der KPK die willkürlich gewählte positive x -Achse als Richtung fest. Daraus ergeben sich die fehlerhaften Transformationseigenschaften des KPK-Impulsstroms unter Koordinatendrehungen.

Selbst wenn die Mechanik mithilfe von Impulsstromdichten und Impulsströmen korrekt aufgebaut wird – was möglich ist –, bleibt die Frage, ob die hier in Beispielen gezeigten Betrachtungen tatsächlich als einfacher anzusehen wären als die Beschreibung anhand der Newton'schen Mechanik. In solchen Situationen, in denen die Impulsstromdichte zum Teil oder ganz durch innere Spannungen erzeugt wird, bleibt der Impulsstrom abstrakt, weil mit ihm kein materielles Medium fließt.

Abschnitt II: Elektrodynamik

Elektrische und magnetische Ladungen

Bis jetzt sind keine Experimente im Bereich der klassischen (Nichtquanten-) Elektrodynamik bekannt, die nicht von den Maxwellgleichungen

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (26) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0, \quad (29)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (27) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho, \quad (30)$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad (28) \quad \vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \vec{B} - \vec{M}. \quad (31)$$

unter Berücksichtigung der Materialgleichungen beschrieben werden, die wir hier in differentieller Form und im SI-System wiedergeben.

Aus den Maxwellgleichungen folgt, dass die elektrischen Ladungsdichten ρ die Quellen der dielektrischen Verschiebung $\vec{D}$ sind (30). Im Vakuum stimmt die dielektrische Verschiebung $\vec{D}$ bis auf einen Faktor ϵ_0 mit dem elektrischen Feld $\vec{E}$ überein. In Materie unterscheiden sich die beiden Terme noch um die Polarisation $\vec{P}$, die der Dichte der in der Materie induzierten elektrischen Dipole entspricht (28).

In den Maxwellgleichungen treten explizit keine magnetischen Ladungsdichten auf, die mit dem Symbol ρ_m bezeichnet werden könnten, ebenso wenig wie magnetische Monopole. Dies stimmt mit der Tatsache überein, dass bis jetzt trotz intensiver Bemühungen keine isolierten magnetischen Ladungen gefunden wurden (mit einer Fehlerabschätzung $\rho_m/\rho < 10^{-20}$). Wegen $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ (29) können die Linien des $\vec{B}$ -Feldes, das auch als magnetische Induktion bezeichnet wird, nicht enden. Im Vakuum stimmen $\vec{B}$ - und $\vec{H}$ -Feld bis auf den Faktor μ_0^{-1} überein. In Materie unterscheiden sie sich noch um den Beitrag der Magnetisierung $\vec{M}$ (31). Die Magnetisierung $\vec{M}$ ist die Dichte magnetischer *Dipole* in der Materie.

Historisch sei angemerkt, dass magnetische Phänomene ebenso lange wie elektrische untersucht wurden. Doch erst zwischen 1819 und 1825 wurde der Zusammenhang von magnetischen Eigenschaften und elektrischen Strömen erkannt und detailliert untersucht (durch Oersted, Biot, Savart und Ampère). Erst im Jahre 1864 wurde mit den Maxwell'schen Gleichungen der volle Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Eigenschaften hergestellt. In diesen Gleichungen ist der entscheidende Unterschied zwischen elektrischen und magnetischen Phänomenen enthalten: Elektrische Ladungen treten unabhängig voneinander als positive und negative Ladungen auf, während in magnetischen Phänomenen bisher nie separate einzelne Ladungen gefunden wurden [2, S. 168]. Immer treten Nord- und Südpole paarweise auf und werden als Dipole bezeichnet.

Beispiele

Wir wollen im Folgenden drei Beispiele betrachten, um den fundamentalen Unterschied zwischen elektrischen Ladungsdichten und der Magnetisierung zu verdeutlichen.

Aus der Maxwellgleichung (29) folgt mit der Materialgleichung (31)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = -\vec{\nabla} \cdot \vec{M} \quad (32)$$

Diese Gleichung zeigt unmittelbar, dass die Quellen des $\vec{H}$ -Feldes durch die Änderungen der Dipoldichte $\vec{M}$ gegeben sind. Bei einem langen, dünnen Stabmagnet kann man $\vec{M}$ im Inneren als praktisch konstant ansehen, während die Magnetisierung an den Stirn- und Seitenflächen von $\vec{M}$ im Inneren auf Null im Äußeren springt. Bildet man die Divergenz von $\vec{M}$, entsteht durch diesen Sprung an den Stirnflächen des Stabmagneten (näherungsweise) eine δ -Funktion mit der Amplitude $|\vec{M}|$. An den Seitenflächen gibt es trotz des Sprungs keinen Beitrag, da $\vec{M}$ in Sprungrichtung keine Komponente hat. Somit sind die Quellen des $\vec{H}$ -Feldes auf die Stabenden konzentriert und erzeugen dadurch magnetische H -Feldlinien so, als ob dort „magnetische Ladungen“ säßen.

Allgemein gilt, dass auf der rechten Seite der Gleichung (32) für die Quellen des H -Feldes die Divergenz $\vec{\nabla} \cdot \vec{M}$ der Magnetisierung auftritt. Diese Größe wird in der Literatur [2, S. 193] gelegentlich mit $-\rho_m$ abgekürzt und auch als „magnetische Ladungsdichte“ bezeichnet. Wie das obige Beispiel belegt, sind diese „magnetischen Ladungen“ aber keine isolierbaren Ladungen, weil die Magnetisierung $\vec{M}$ aus nicht zerlegbaren Dipolen aufgebaut ist.

Aus den Gleichungen (27) und (31) lässt sich eine Gleichung für $\vec{\nabla} \times \vec{B}$ herleiten, die die Größe $\mu_0 \vec{\nabla} \times \vec{M}$ enthält. Diese Größe wird gelegentlich als Magnetisierungsstrom $\vec{j}_m$ bezeichnet. Wieder ist es die Magnetisierung, genauer deren Rotation, die einer formalen Analogie mit einem „Strom“ zugrunde liegt, keinesfalls aber eine magnetische Ladung.

Schließlich lässt sich in dem speziellen Fall verschwindender elektrischer Ströme und verschwindender zeitlicher Ableitungen (Stationarität) aus den Gleichungen (27) und (32) eine Poissongleichung für ein magnetisches Potential ϕ_m mit $\vec{H} = -\vec{\nabla}\phi_m$ herleiten. Auch in dieser Gleichung tritt als Inhomogenität die Magnetisierung $\vec{M}$ auf, genauer deren Divergenz $\vec{\nabla} \cdot \vec{M}$, in Übereinstimmung mit oben, aber damit gerade keine magnetischen Ladungen, sondern die magnetische Dipoldichte.

Schlussbemerkungen zur Elektrodynamik

Diese Beispiele zeigen, dass bezüglich der magnetischen Eigenschaften die wesentlichen Größen, die in den Maxwellgleichungen und den daraus abgeleiteten Gleichungen auftreten, die Magnetisierung und ihre räumlichen Änderungen bzw. ihr Sprung an einer Grenzfläche sind. Die Magnetisierung beschreibt die Dichte von magnetischen *Dipolen* und keineswegs die von magnetischen Ladungen. Es ist deshalb nicht angebracht, im Zusammenhang mit räumlichen Änderungen der Magnetisierung von magnetischen Ladungsdichten zu sprechen, denen eine messbare Realität zukäme. Selbst der Begriff „magnetische Sprungladungen“ kann noch falsche Assoziationen wecken.

Diese zusammenfassende Darstellung lässt sich dahingehend weiterführen, dass in der Lorentz-invarianten, vierdimensionalen Form der Maxwellgleichungen, die gegenwärtig experimentell sehr gut gesichert ist, magnetische Ladungen allein keinen Platz hätten. Die Inhomogenität und Quelle für die elektromagnetischen Felder wird durch den Vierervektor aus elektrischer Stromdichte und elektrischer Ladungsdichte vollständig beschrieben. Wenn magnetische

Ladungen experimentell gefunden werden, müssen die Lorentz-invarianten Gleichungen erweitert werden; dann aber nicht nur um eine magnetische Ladungsdichte, sondern auch um eine magnetische Stromdichte, also um einen magnetischen Viererstrom.

Die Maxwell-Gleichungen beschreiben die bekannten Phänomene der Elektrodynamik sehr gut. Bisher besteht keinerlei Notwendigkeit, eine „magnetische Ladungsdichte“ als zusätzliche Größe einzuführen. Alle bekannten magnetostatischen Eigenschaften können mit Hilfe von elektrischen Strömen sowie mit der Magnetisierung und ihrer räumlichen Änderung beschrieben werden. Dennoch werden in dem KPK-Lehrbuch für die Sekundarstufe II [5, S. 41] magnetische Ladungen eingeführt, um – vermutlich in analoger Weise wie in der Elektrostatik elektrische Phänomene – magnetostatische Phänomene damit zu beschreiben. Es wird nicht gesagt, dass bisher kein experimenteller Beweis für diese Ladungen gefunden wurde. Als Einschränkung wird verwendet, dass der Betrag von positiven (Nordpol) und negativen (Südpol) Ladungen gleich sei. In dem Schulbuch [5] wird auch nicht erwähnt, dass diese Gleichheit der positiven und negativen Ladungen unabhängig von der Teilchengröße gelten müsste.

Der Begriff eines Dipols bzw. einer magnetischen Dipoldichte, der die messbaren Verhältnisse stattdessen richtig wiedergeben würde und schon in der Elektrostatik eingeführt werden kann, wird nicht verwendet. Dies erstaunt umso mehr, als in den zugehörigen Unterrichtshilfen [6, S. 15] klar gesagt wird, dass magnetische Monopole nicht existieren. Allerdings wird in [6] dann versucht, magnetische Ladung von Teilchen zu trennen. Korrekt durchgeführt, mag dies eine interessante Idee sein, hat aber mit der Analogie zu elektrisch geladenen Teilchen nichts zu tun. Bei diesen ist die Ladung eine Eigenschaft der Teilchen. Auch bei den magnetischen Eigenschaften ist der Ursprung völlig klar: sie werden von magnetischen Dipolen und – wie oben im Detail beschrieben – von elektrischen Strömen verursacht.

Abschließend soll noch die in Nature [7], Science [8] und anderen Zeitschriften [9, als Beispiel] vermeldete Entdeckung von magnetischen Monopolen gestreift werden. Dabei handelt es sich nicht um magnetische Ladungseinheiten im Sinne von Dirac, sondern um Quasiteilchen (emergente Zustände), die sich auf Dipole zurückführen lassen.

Literatur

- [1] Falk, G.: „Physik: Zahl und Realität“. Basel, Birkhäuser (1990)
- [2] Jackson, J. D.: „Classical Electrodynamics“. JohnWiley & Sons (1975)
- [3] Herrmann, F., Schmid, G. B.: „Statics in the momentum current picture“. American Journal of Physics 52 (2), 146 (1984)
- [4] Herrmann, F.: „Der Karlsruher Physikkurs. Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe II. Mechanik“. 2. Auflage, Aulis-Verlag (2010)
- [5] Herrmann, F.: „Der Karlsruher Physikkurs. Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe II. Elektrodynamik“. 6. Auflage, Aulis-Verlag (2010)
- [6] Herrmann, F.: „Der Karlsruher Physikkurs. Ein Lehrbuch für den Unterricht in der Sekundarstufe I. Elektrodynamik – Unterrichtshilfen“. 4. Auflage, Aulis-Verlag (2008)

- [7] Castelnovo, C., Moessner, R., Sondhi, S. L.: „Magnetic Monopoles in Spin Ice“. Nature 451, 42 (2008)
- [8] Morris, D. J. P., Tennant, D. A., Grigera, S. A., Klemke, B. et al.: „Dirac Strings and Magnetic Monopoles in the Spin Ice $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ “. Science 326, 411 (2009)
- [9] Vojta, M.: „Frustriert zum Monopol“. Physik Journal 8 Nr. 11, 22 (2009)

Bericht des Moderators, Prof. Joachim Treusch, über das Treffen am 10. Januar 2014 in Frankfurt

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) hat ein Gutachten über die in den Lehrbüchern des Karlsruher Physikkurses (KPK) für die Sekundarstufe II vermittelten physikalischen Konzepte in Auftrag gegeben und am 28. Februar 2013 veröffentlicht. Aus der Diskussion dreier Beispiele, welche die Gutachter für besonders markant hielten, wurde der Schluss gezogen: „Der KPK ist als Grundlage eines physikalischen Unterrichts ebenso ungeeignet wie als Leitlinie zur Formulierung physikalischer Lehr- oder Bildungspläne. Wir empfehlen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, mit allem Nachdruck dafür einzutreten, dass der KPK nicht in der physikalischen Ausbildung verwendet wird.“ Die DPG ist dieser Empfehlung in ihrer Verantwortung für die Ausbildung in dem Fach, das sie vertritt, gefolgt.

Die drei von der Gutachtergruppe angeführten Beispiele waren:

1. „Der Begriff des Impulsstroms in der Mechanik“,
2. „Entropie und Wärme in der Thermodynamik“ und
3. „Magnetische Ladungen und der Begriff des Vakuums in der Elektrodynamik“.

Am 9. April 2013 wurden von der Gutachtergruppe „Ergänzende Bemerkungen zum DPG-Gutachten über den Karlsruher Physikkurs“ veröffentlicht mit dem Ziel, die vorgebrachte Kritik über die Alltagsbeispiele hinaus auch mit fundamentalen Prinzipien der Physik zu begründen.

Eine Gruppe von Professoren der Theoretischen Physik hat das Gutachten und diese ergänzenden Bemerkungen als fehlerhaft kritisiert und vom Vorstand der DPG die Zurücknahme der Empfehlung gefordert. Die Kritik dieser Gruppe bezog sich ausdrücklich nicht auf Aussagen der Gutachter zur Sinnhaftigkeit, Anschlussfähigkeit oder ggf. auch Fehlerhaftigkeit des KPK-Konzepts, sondern basierte auf einem nach Meinung der Gruppe fehlerhaften Argument des Gutachtens im Zusammenhang mit dem Impulsstrom.

Da die schriftlichen Auseinandersetzungen zwischen den beiden Parteien zu keiner fachlichen Einigung führten, hat die Präsidentin der DPG beide Parteien zu einem Treffen eingeladen, das der fachlichen Klärung der bestehenden Differenzen dienen sollte. Dies Treffen fand am 10. Januar 2014 in Frankfurt statt und wurde vom Unterzeichner moderiert.

Während die Zielsetzung der fachlichen Einigung nicht uneingeschränkt erreicht werden konnte, erhob sich am Ende einer fairen und von wechselseitigem Respekt getragenen Diskussion kein Widerspruch gegen die Feststellung, dass der KPK-Kurs zur Vermittlung des Grundverständnisses der Physik an Schulen ungeeignet ist.

Die meisten der verbliebenen Differenzen in der fachlichen Interpretation lassen sich nach Meinung des Moderators dadurch erklären, dass die Gutachter den KPK-Kurs primär unter dem Aspekt kritisiert haben, wo seine Setzungen (Impulsstrom in der Newtonschen Mechanik, Gleichsetzung von Entropie und Wärme, Magnetische Ladungen, Gleichsetzung von Äther und Vakuum) falsch sind oder notwendig zu falschem „Wissen“ der Schüler führen müssen, während die Gruppe der Theoretiker das Gutachten unter dem Aspekt gelesen haben, ob ein Physiker mit voller Kenntnis der Kontinuumsmechanik, der Thermodynamik, des Unterschiedes zwischen mikroskopischen und makroskopischen Maxwell-Gleichungen und der modernen Quantenfeldtheorie Interpretationen finden kann, die mit den Aussagen des KPK kompatibel sind und somit das Urteil der Gutachter als falsch erscheinen lassen.

Besonders deutlich wurde das am Beispiel des Impulsstromes, der in der Kontinuumsmechanik seinen von allen unbestrittenen Platz hat (was man aus dem Gutachten nicht notwendig schließen musste). Während dieser Impulsstrom im statischen Fall der eingespannten Feder zwar mikroskopisch aus Kenntnis des Spannungstensors lokal gemessen werden kann, wird er makroskopisch aus Symmetriegründen zu Null. Das würde zunächst nur ein Hinweis neben anderen sein, dass die Anwendung der Kontinuumsmechanik zur Ableitung der Newtonschen Massenpunkt-Mechanik unpraktikabel ist, und darüber bestand auch allgemeine Einigkeit. Die Abbildung im KPK-Kurs zum Impulsstrom durch die eingespannte Feder und die dort gemachte Analogiesetzung zum supraleitenden Kreisstrom sind aber explizit falsch, da im zweiten Fall eine physikalische Symmetriebrechung vorliegt, die zur objektiven Messbarkeit der Stromrichtung führt, während es im ersten Fall nur eine Möglichkeit der Richtungsmessung des Impulsstromes nach Vorgabe eines willkürlich gewählten Koordinatensystems gibt.

Ebenso grundsätzlich falsch ist und bleibt die KPK-Setzung Entropie = Wärme (wobei das Wort „umgangssprachlich“, das im KPK-Kurs, aber nicht in den zugrundeliegenden Papieren zur „Altlastenentsorgung“ der Wärme zugefügt wird, diesen Fehler nicht behebt). Auch wenn in den folgenden Ableitungen des Kurses keine formalen Fehler auftauchen, worüber wiederum Einigkeit erzielt wurde, bleiben die meisten Folgerungen intuitiv unverständlich oder falsch, wenn man die Gleichheit von Wärme und Entropie konsequent unterstellt (z. B. Expansion eines idealen Gases ins Vakuum bei Entropieerhöhung ohne Wärmezufuhr, Heizen eines Zimmers bei Wärmezufuhr und gleichzeitiger Entropieerniedrigung).

Über didaktische Konzepte, die für oder gegen den KPK sprechen könnten, wurde nicht explizit diskutiert. Es wurde aber eindrucksvoll deutlich, dass ein Kurskonzept, das unter ausgewiesenen Fachphysikern derart komplexe Diskussionen auslöst, die unter anderem auf der verschiedenen Auswahl des zur Argumentation genutzten Vorwissens beruhen, für die Schule nicht taugen kann.

Der Ablauf des gesamten Vorgangs und dessen Behandlung durch die Gremien der DPG war ebenso nicht expliziter Gegenstand der Diskussion, es bestand aber erkennbar Einigkeit, dass hier in künftigen Fällen ähnlicher Art deutliche Verbesserungen möglich sind und genutzt werden sollten.

Dieser Bericht erhebt nicht den Anspruch, ein von allen Teilnehmern abgestimmtes Ergebnis zu sein. Deswegen und um die Diskussionen nachvollziehen zu können, werden die Diskussionsbeiträge des 10. Januar zusammen mit dem Gutachten, seinen Ergänzungen und dem Brief der Gruppe der Professoren der Theoretischen Physik ins Netz gestellt.

An die Präsidentin der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
Frau Prof. Dr. Johanna Stachel

24. Januar 2013

Sehr geehrte Frau Kollegin Stachel,

ich bin der Autor des Karlsruher Physikkurses (KPK) und wende mich an Sie, weil ich von verschiedenen Seiten gehört habe, dass es innerhalb der DPG eine Diskussion über dieses Schulbuch gibt. Mein Karlsruher Kollege Schön sagte mir auch, dass die DPG einige Kultusministerien auf Probleme hinweisen will, die entstehen, wenn der KPK am Gymnasium eingesetzt wird.

Jeder, der mir von diesem Vorgang gesprochen hat, hat zumindest durchblicken lassen, dass man dem KPK fachliche Fehler oder Mängel vorwirft. Nun ist es guter Brauch, eine fachliche Diskussion in der Physik öffentlich zu führen, in wissenschaftlichen Zeitschriften und auf Tagungen. Alle die Themen im KPK, die offenbar als anfechtbar gesehen werden, sind veröffentlicht, und zwar zum Teil seit vielen Jahrzehnten von prominenten Wissenschaftlern, zum Teil von uns selbst, natürlich in referierten Zeitschriften. (Ich denke dabei an die Mechanik mit Impulsströmen, die Entropie als bilanzierbarer Größe, die magnetische Polladung.) Mir ist in diesem Zusammenhang keine Entgegnung bekannt geworden.

Es mag sein, dass es andere Themen gibt, die bei einigen Kollegen Anstoß erregt haben, und von denen ich nichts weiß. Ich möchte Sie aber dringend bitten, darauf zu achten, dass die wissenschaftliche Auseinandersetzung so geführt wird, wie es sonst bei uns Naturwissenschaftlern üblich ist. Um konkret zu sein: Ich erwarte von der DPG:

- dass man dafür sorgt, dass Einwände gegen den KPK veröffentlicht werden;
- dass man mir Gelegenheit gibt, mich zu den Vorwürfen zu äußern bevor im Namen der DPG irgendeine Stellungnahme erscheint oder an ein Ministerium geschickt wird.

Falls Sie mit dem Vorgang nichts zu tun haben, bitte ich Sie, meine E-Mail an die zuständige Person weiterzuleiten.

In Erwartung einer Antwort verbleibe ich mit freundlichen Grüßen

Friedrich Herrmann

Prof. Dr. Friedrich Herrmann
Institut für Theoretische Festkörperphysik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
76128 Karlsruhe
f.herrmann@kit.edu
Tel: ##49-721-608-43364
Fax: ##49-721-608-47040
SKYPE: FFHerrmann
<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de>

Von: Friedrich Herrmann <friedrich.herrmann@icloud.com>
Betreff: Gutachten zum Karlsruher Physikkurs
Datum: 16. Februar 2013 19:42:22 MEZ
An: stachel@dpg-physik.de
Kopie: Wulfhekel Wulf <wulf.wulfhekel@kit.edu>

Sehr geehrte Frau Stachel,

gestern habe ich das Gutachten und Ihren Begleitbrief erhalten. Ich danke Ihnen sehr, – besonders dafür, dass ich so die Gelegenheit habe, noch einmal Stellung zu nehmen.

Ich werde die Frist, die Sie gesetzt haben, benötigen, da ich zwischendrin mit einigen Kollegen über das Thema diskutieren möchte. Für nächsten Freitag habe ich ein Seminar angesetzt, in dem die Einwände mit Kollegen von unserer Fakultät durchgesprochen werden.

Hinzu kommt, dass sich die Vorwürfe nicht einfach gegen den Karlsruher Physikkurs richten, sondern auch gegen die Urheber der entsprechenden Ideen, darunter Georg Job aus Hamburg (Vor Kurzen ist sein Lehrbuch der Physikalischen Chemie erschienen, siehe <http://www.amazon.de/gp/search?index=books&linkCode=qs&keywords=3835100408>). Job ist im Augenblick in Afrika, kommt aber nächste Woche zurück, sodass er hoffentlich noch Zeit hat, zu dem Entropieteil der DPG-Einwände Stellung zu nehmen.

Im Augenblick möchte ich aber schon einige Bemerkungen und Vorschläge zum weiteren Vorgehen machen.

1. Man merkt dem Gutachten an, dass es mit Emotionen geschrieben wurde. Das erschwert die Diskussion. Und eine solche Diskussion ist nun wohl unvermeidlich. Ich hatte eigentlich gedacht, dass ich die Fragen oder Einwände der DPG-Kommission auf die KPK-Homepage stelle, im Anschluss an die Bemerkungen, die ich dort kürzlich als Rubrik „Diskussion und Kritik“ eingerichtet hatte. Ich habe die alte Seite aus dem Web genommen, da sie nun obsolet ist, habe aber die neue Version der Einwände, so wie sie in Ihrem Gutachten stehen, nicht öffentlich gemacht, aus folgendem Grund: Die Bemerkungen der DPG-Kommission sind in einem Ton verfasst, der einer nüchternen Diskussion der Fragen im Weg steht. Statt die Diskussion zu versachlichen, würde sie weiter angeheizt. Ich hätte deshalb eine erste Bitte an Sie: Könnten Sie das Gutachten noch einmal einer Person zum Lesen und Korrigieren geben, die sich nicht so stark einer Partei verschrieben hat? Ich könnte mir denken, dass man sogar jemanden wählt, der oder die gar nicht vom Fach ist. Es wäre der Sache dienlich, wenn die Formulierungen, die allzu hitzköpfig sind, etwas abgemildert oder ganz herausgenommen würden. Nebenbei: Bedenken Sie bitte auch, dass ich persönlich eine Aussage wie „Das nun ist ein Argument, das das Vorgehen des KPK in den Augen seriöser Wissenschaftler vollständig diskreditiert“ nicht auf mir sitzen lassen kann.

2. Viele Kolleginnen und Kollegen, die den Karlsruher Physikkurs für gut halten, oder die wenigstens der Meinung sind, das man einem solchen Konzept eine Chance geben sollte, werden das Gutachten als „einseitig“ empfinden. Nun ist das sicher das Problem jeder Gutachterkommission – das kennen wir ja aus der Politik. Um eine derartige Interpretation des Gutachtens gar nicht erst aufkommen zu lassen, hätte man auch solche Kollegen in die Kommission einladen können, die dem KPK etwas freundlicher gegenüberstehen, und von denen gibt es genug. Ich bin zwar Partei, aber gleichzeitig bekennendes DPG-

Mitglied, und ich habe ernsthaft das Gefühl, dass die DPG hier einen Fehler machen könnte. Sicher werden Sie, nachdem das Gutachten fertig ist, das Ganze nicht noch einmal grundsätzlich in Frage stellen wollen. Man könnte aber vielleicht daran denken, die Stellungnahme vorab im Physik-Journal zu veröffentlichen und dort der „Gegenseite“ die Möglichkeit geben, sich zu äußern.

3. Ein Vorwurf, den ich der Kommission jetzt schon machen muss, ist, dass das Gutachten gar nicht auf die dem KPK zu Grunde liegende Literatur eingeht. Es ist ja alles, was beanstandet wird, auch so in der Literatur zu finden, und darauf weisen wir auch hin. Könnte man die Kommissionsmitglieder vielleicht bitten, dazu Stellung zu nehmen?

4. In dem Gutachten bleiben unsere eigenen Publikationen unerwähnt. Ich hatte schon früher daran erinnert, dass ein gesitteter wissenschaftlicher Diskurs in Zeitschriften und auf Tagungen stattfindet.

5. Das Konzept des KPK war innerhalb der Fachdidaktik Physik lange Zeit umstritten. Dieser Streit hat auch die Arbeit der entsprechenden Bildungsplankommissionen erschwert. Nach der Stellungnahme der MNU schien die damit verbundene fachliche Auseinandersetzung beendet. Die von dem jetzt vorliegenden Gutachten ausgehende Botschaft ist aber: Jetzt beginnt dieser Streit von Neuem.

6. Schließlich noch ein letzter Wunsch. Besonders riskant erscheinen mir die Aussagen des Gutachtens zur Mechanik und zur Wärmelehre. Es wäre peinlich für die DPG und auch für die Kollegen, deren Namen auf dem Gutachten stehen, wenn sich herausstellte, dass man hier zu wenig Sorgfalt hat walten lassen. Ich bitte Sie deshalb dringend, gerade die Kritik zu diesen beiden Gebieten noch einmal prüfen zu lassen, und zwar die Mechanik möglichst von einem Theoretiker und die Wärmelehre von einem ausgewiesenen Thermodynamiker. Könnte es sein, dass die Formulierung der Einwände gar nicht von allen Mitgliedern der Kommission geprüft worden sind? Es sind ja angesehene Namen darunter, Kollegen, die ich immer geschätzt habe.

In der Hoffnung, dass es uns gelingt, den Konflikt etwas zu entschärfen, verbleibe ich mit freundlichen Grüßen

Friedrich Herrmann

PS: Ich schicke eine Kopie dieser E-Mail an unseren Studiendekan, Herrn Wulfhekel.

Institut für Theoretische Festkörperphysik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
76128 Karlsruhe
f.herrmann@kit.edu
Tel: ##49-721-608-43364
Fax: ##49-721-608-47040
SKYPE: FFHerrmann
<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de>

Montag, 25. Februar 2013

Entgegnung zum Gutachten der DPG über den Karlsruher Physikkurs

Überblick

Die Stellungnahme besteht aus drei Teilen. Im ersten Teil wird Literatur aufgeführt, die im Zusammenhang mit den im DPG-Gutachten angesprochen Problemen steht. Dabei wird nur knapp erläutert, auf welche Details sich die einzelnen Veröffentlichungen beziehen. Diese Literatur widerlegt die Einwände, die im Gutachten gemacht werden.

Im zweiten Teil wird zu den Vorwürfen im Einzelnen Stellung genommen.

Der dritte Teil ist eine Abhandlung von *Georg Job* vom Institut für Physikalische Chemie der Universität Hamburg. Job war der wichtigste Ideenlieferant für die Teile Thermodynamik und Chemie des KPK, nämlich die Kapitel 10 bis 14 und 24 bis 26 in den Bänden für die Sekundarstufe I sowie der ganze Band 2 für die Sekundarstufe II.

Dem KPK zu Grunde liegende Literatur

Zur Mechanik mit Impulsströmen

Die Äquivalenz von Kraft und Impulsstrom (genauer Impulsstromstärke) wurde erstmals von Max Planck gezeigt.

M. Planck: Physikalische Zeitschrift, 9. Jahrgang, Nr. 23 (1908), S. 828

Auszug: „Wie die Konstanz der Energie den Begriff der Energieströmung, so zieht notwendig auch die Konstanz der Bewegungsgröße den Begriff der ‘Strömung der Bewegungsgröße’, oder kürzer gesprochen: der ‘Impulsströmung’ nach sich.“

Danach findet man das Konzept Impulsstrom in der physikalischen Literatur, allerdings erscheint es zunächst als ein Konzept für Fortgeschrittene.

Weyl, H.: Die Naturwissenschaften 12, III (1924)

Landau, L. D., Lifshitz, E. M.: Theory of Elasticity, Chapter 1, Section 2, Pergamon press, Oxford (1959)

Landau, L. D., Lifshitz, E. M.: The Classical Theory of Fields, Chapter 4, S. 91, Pergamon press, Oxford (1962)

Falk, G.: Physik – Zahl und Realität, Birkhäuser Verlag Basel, 1990, S. 70.

Fuchs, H.: The Dynamics of Heat, 2nd edition, Springer, New York, 2010, S. 75.

Dass es ein Potenzial hat, die Anfängermechanik zu vereinfachen, wurde Ende der siebziger Jahre vorgeschlagen, und zwar fast gleichzeitig von uns und von A. diSessa am MIT. (Die beiden Publikationen erschienen unabhängig voneinander. Der amerikanische Artikel erschien zwar etwas später, aber diSessa konnte von unserer Arbeit noch nichts wissen.)

Herrmann, F.: Mechanik – Abriß einer Neudarstellung, Konzepte eines zeitgemäßen Physikuterrichts, Heft 3, Hermann Schroedel Verlag, Hannover (1979), S. 80-87.

DiSessa, A.: Momentum flow as an alternative perspective in elementary mechanics, Am. J. Phys., Volume **48** 365-369 (1980)

Die Anwendbarkeit der Impulsstromdarstellung auf Fragen auf mittlerem Niveau wurde durch unsere Arbeitsgruppe untersucht. Daraus hervorgegangen sind mehrere Arbeiten:

Herrmann, F., Schmid, Gary B.: Statics in the momentum current picture, Am. J. Phys. **52**, 146 (1984)

Herrmann, F., Schmid, Gary B.: Momentum flow in the electromagnetic field, Am. J. Phys. **53**, 415 (1985)

Herrmann, F., Schmid, Gary B.: Analogy between mechanics and electricity, Eur. J. Phys. **6**, 16-21 (1985)

Heiduck, G., Herrmann, F., Schmid, Gary B.: Momentum flow in the gravitational field, Eur. J. Phys. **8**, 41-43 (1987)

Grabois, M., Herrmann, F.: Momentum flow diagrams for just-rigid static structures, Eur. J. Phys. **21**, 591-601 (2000)

Zur Entropie als Wärme

Dass sich die Eigenschaften der Entropie weitgehend mit denen der umgangssprachlichen Wärme decken, und dass die Entropie weitgehend übereinstimmt mit dem Wärmebegriff in der Zeit von etwa 1780 bis 1850 (der einer Zustandsgröße entsprach), wurde seit Anfang des 20. Jahrhunderts in der wissenschaftlichen Literatur mehrere Male hervorgehoben.

Callendar, H. L.: The caloric theory of heat and Carnot's principle, Proc. Phys. Soc. London **23**, p. 153 (1911)

Auszug: „Finally, in 1865, when its importance was more fully recognised, Clausius (Pogg. Ann. 125, p. 390) gave it the name of 'entropy', and defined it as the integral of dQ/T . Such a definition appeals to the mathematician only. In justice to Carnot, it should be called caloric, and defined directly by his equation $W = AQ(T - T_0)$, which any schoolboy could understand. Even the mathematician would gain by thinking of caloric as a fluid, like electricity, capable of being generated by friction or other irreversible processes. Conduction of caloric is closely associated with the electrons, and the science of heat would gain, like the science of electricity, by attaching a more material conception to the true measure of a quantity of heat, as distinguished from a quantity of thermal energy.“

Job, G.: Neudarstellung der Wärmelehre– Die Entropie als Wärme, Akademische Verlagsgesellschaft Frankfurt (1972)

Hund, F.: Geschichte der physikalischen Begriffe (Teil2) B-I-Hochschultaschenbücher Bd. 544, Bibliogr. Institut Mannheim (1978)

Auszug S.105: „Historisch ist der am Mischungskalorimeter im 18. Jahrhundert entstandene und bei der Wärmeleitung im 19. Jahrhundert bewährte mit Q bezeichnete Begriff an den Anfang der quantitativen Wärmelehre gekommen, und S ist sehr viel später damit verknüpft worden. Irreversible Vorgänge standen also am Anfang. Man könnte (nach G. Job¹) heute auch den am reversiblen Carnot-Prozess gewonnenen Begriff S an den Anfang einer Lehre von den Wärmeerscheinungen stellen und Wärme nennen. Zum Verständnis des Kalorimeters und der Wärmeleitung käme man dann über den Energiesatz, mit dem man neben dem Begriff der Entropie-(„Wärme“-)Zufuhr $\Delta_z S$ und der Entropie-(„Wärme“-)Produktion $\Delta_p S$ einen Begriff der thermischen Energiezufuhr ΔQ und spezifischer thermischer Energien c_p und c_v gewinnen könnte.“

Falk, G.: Entropy, a resurrection of caloric – a look at the history of thermodynamics, Eur. J. Phys. **6**, 108-115 (1985)

Auszug: „Entgegen weit verbreiteter Lehrmeinung handelte es sich bei der durch Clausius eingeführten Entropie keineswegs um eine neue Größe der Physik, sondern um die Rekonstruktion einer viel älteren Größe, nämlich der hundert Jahre früher von dem schottischen Chemiker Black konzipierten 'Quantity of heat'. Dieselbe Größe benutzte Carnot unter dem Namen Calorique in seiner berühmten Abhandlung, in der er die Grundlagen der Thermodynamik entwickelte. Dass Entropie und Wärmemenge (im Sinne Blacks) lediglich zwei verschiedene Namen für dieselbe Größe sind, ist nicht nur für die Geschichte der Physik von Bedeutung, sondern sollte es vor allem für ihre Didaktik sein – besagt es doch, dass die Entropie anschaulich verstanden werden kann als die Menge von Wärme. Diese wie eine Art Substanz betrachtete Wärme befolgt einen 'halben' Erhaltungssatz: Sie kann zwar erzeugt, aber nicht vernichtet werden.“

Job, G., Rüffler, R.: Physikalische Chemie - Eine Einführung nach neuem Konzept mit zahlreichen Experimenten, Vieweg+Teubner Verlag, 2010.

Auszug S. 45: „Kernbegriffe der Wärmelehre sind Entropie S und Temperatur T . Während die Temperatur jedoch jedermann geläufig ist, gilt die Entropie als besonders schwierig, sozusagen als „schwarzes Schaf“ unter den physikochemischen Begriffen. Schulbücher haben sie früher ganz übergangen, einführende Physikbücher haben sie oft nur erwähnt und selbst Fachleute umgehen sie gern.

Doch warum meidet man eigentlich die Entropie? Denn an sich ist sie etwas ganz Einfaches: recht genau das, was man sich im Alltag unter Wärme vorstellt! Sie ist, grob gesagt, das Etwas, was man in einem Suppentopf anreichern muss, um das Kochgut zu erwärmen, was der Kaffee verliert, wenn er in der Tasse erkaltet, was in der elektrischen Herdplatte, dem Mikrowellenherd, dem Ölofen erzeugt wird oder was im heißen Wasser befördert, über die Heizkörper verteilt und durch wärmedämmende Wände in der Wohnung und wollene Kleidung im Leib zusammengehalten wird. Leider wurde früher der Name „Wärme“ in der Wissenschaft an eine andere Größe vergeben und damit S einer natürlichen Deutung beraubt. So wurde die Entropie nur abstrakt einföhrbar, d. h. indirekt durch Integration eines aus Energie und Temperatur gebildeten Quotienten definiert, und damit begrifflich schwer zu handhaben.“

Fuchs, H.: The Dynamics of Heat, Springer New York 2010

Auszug S. 116: „The quantity I have been calling *heat* in the interpretations of thermal processes was called caloric by Sadi Carnot and his contemporaries. This easily visualized and intuitively understood quantity best fits what after 1850 was called *entropy* in physics, chemistry, and engineering. Therefore, the concept of entropy which, in standard presentations of thermodynamics is considered to be formal, derived, and non-intuitive, has simple and intuitive roots. It is analogous to volume and to charge in fluids and electricity, respectively.“

Magnetische Ladung und magnetische Monopole

Die Größe, die im KPK magnetische Ladung genannt wird, heißt in der Literatur meist *magnetische Polstärke*, manchmal auch *magnetische Ladung* und bei Maxwell *Menge des Magnetismus*.

Maxwell, J. C.: Lehrbuch der Electricität und des Magnetismus, Verlag von Julius Springer 1883, zweiter Band

Auszug, S. 7: „377. Die Menge Magnetismus, die ein Pol eines Magnets beherbergt, ist stets der Größe nach gleich und dem Zeichen nach entgegengesetzt der Menge Magnetismus, die der andere Pol desselben in sich birgt.

Allgemeiner: In jedem Magnete ist die Gesamtmenge an Magnetismus algebraisch genommen gleich Null.“

Sommerfeld, A.: *Elektrodynamik*, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig 1964

Auszug, S. 39: „Wir gehen jetzt auf (9) zurück und bilden die Divergenz der links und rechts stehenden Vektoren. Dann folgt die Poissonsche Gleichung der Magnetostatik, nämlich

$$\Delta\psi = -\rho_m.$$

Auszug S. 78: „Wir kehren noch einmal zum Stabmagneten und zur Definition seiner Polstärke P zurück. Sie wird von unseren Standpunkt aus als Quantitätsgröße gegeben durch

$$P = \oint H_n d\sigma,$$

[...]. Diese Definition von P entspricht der Definition (7.2) der magnetischen Raumdichte $\rho_m = \text{div } H$ und besagt, dass P gleich der Summe aller in der betreffenden Stabhälfte vorhandenen magnetischen Mengen $\rho_m d\tau$ ist.“

Macke, W.: *Elektromagnetische Felder*, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, 1960

Auszug S. 78: „Alle Folgerungen und Lösungen der elektrostatischen Theorie (1) lassen sich daher unmittelbar auf die Magnetostatik (2) übertragen. Als magnetische Ladungsdichten kommen allerdings nur solche in Frage, die durch Dipole hervorgerufen werden. Entsprechend (224.7) beschreibt

$$\rho_m(\vec{r}) = -\sum_i \vec{m}_i \frac{\partial}{\partial \vec{r}} \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) \quad \vec{m} = q_m \vec{a}$$

die Magnetpoldichte magnetischer Dipole m_i , die sich an Orten $\vec{r}_i$ befinden.“

Jackson, J. D.: *Classical Electrodynamics*, 2nd edition, John Wiley & Sons New York, 1975

Auszug S. 193: „Then with (5.93) it becomes a magnetostatic Poisson equation,

$$\nabla^2 \phi_M = -4\pi \rho_M$$

with the effective charge density,

$$\rho_M = -\nabla \cdot \mathbf{M} \quad (\text{Hier ist } \mathbf{M} \text{ die Magnetisierung.})$$

Bemerkungen zu den einzelnen Einwänden

Mit „der Autor“ ist im Folgenden der Autor des Textes des DPG-Gutachtens gemeint. Zitate aus dem Gutachten sind eingerückt.

Zur Mechanik mit Impulsströmen

Seite 2 und Seite 3

Wenn Kraft bzw. KPK-Impulsstrom als Ursachen den Wagen in gleichem Maße beschleunigen, müssten eigentlich beide Größen in Betrag und Richtung gleich groß sein. Während dies bei den Beträgen zutrifft, kann es bei den Richtungen Unterschiede geben, wie im Folgenden gezeigt wird.

...

In Abb.2a zieht ein Lastwagen einen Anhänger nach rechts (diese Situation ist mit der aus Abb. 1 vergleichbar). Der KPK-Impulsstrom zeigt nach links, während der Kraftpfeil nach rechts zeigt. In der nächsten Abb. 2b ist der Lastzug um 180° gedreht worden: Dem KPK zufolge hat sich die Richtung des KPK-Impulsstroms beim Übergang von Abb. 2a nach 2b nicht verändert. Dagegen ist die Richtung der Kraft der Drehung des Lastzugs um 180° gefolgt: In beiden Fällen, Abb. 2a und 2b, zeigt die Kraft in Richtung der Zugmaschine. Das ist auch vernünftig, weil sie die Ursache für die Beschleunigung des Anhängers ist.

Die Probleme des Autors kommen daher, dass er die Stromrichtung mit der Richtung des **Stromstärkevektors** verwechselt.

Unter der Richtung des Stroms einer skalaren Größe versteht man in der Physik allgemein die Richtung des **Stromdichtevektors**.

Ist die strömende Größe selbst, und damit auch die Stromstärke, ein Vektor, so ist die Stromdichte ein Tensor zweiter Stufe, gewöhnlich mechanischer Spannungstensor genannt. Man kann nun die drei kartesischen Komponenten des Impulses und der Impulsstromstärke einzeln betrachten und mit ihnen umgehen wie mit 3 Skalaren (unter der Voraussetzung, dass man das Koordinatensystem nicht mehr dreht). Zu jeder der drei Impulskomponenten gibt es nun wieder einen Stromdichtevektor, und damit eine Stromrichtung. Die Komponenten dieser drei Vektoren sind gerade die drei Zeilen des Spannungstensors (in kartesischer Komponentenschreibweise). Die Richtung der drei Impulsstromdichte-Vektoren ist natürlich zu unterscheiden von der Richtung des Stromstärke-(= Kraft-)Vektors. Der Autor des Gutachtens hat anscheinend diese beiden Richtungen miteinander identifiziert.

In dem entsprechenden Unterrichtsteil sind noch keine Vektoren eingeführt. Es wird also nur mit Impuls- und mit Impulsströmen einer einzigen Richtung gearbeitet. Es gibt noch keinen Stromstärkevektorpfeil, da nur die eine Komponente der Stromstärke auftritt. Es gibt dagegen eine Stromrichtung: die Richtung des Stromdichtevektors.

Dass man die Richtungen des Impulses und die der Stromdichten voneinander unterscheiden muss, wird im Unterricht ausführlich behandelt in Kapitel 6, Abschnitt 6.2 unter der Überschrift „Die Richtung des Stroms und die Richtung dessen was strömt“. Dort wird auch der folgende Merksatz formuliert: *Verwechsle nicht die Richtung des Weges mit der Richtung des transportierten Impulses.*

Eine weitere Schwierigkeit tritt auf, wenn sich z.B. zwei Schüler über die Ausrichtung ihrer Koordinatensysteme nicht einigen können. Dann werden sie verschiedene Antworten auf die Frage nach der Richtung des KPK-Impulsstroms geben. Und beide Antworten können gleichzeitig richtig sein! In Anbetracht solcher Probleme beginnt man zu sich zu fragen, ob der Richtung des KPK-Impulsstroms überhaupt eine objektive Realität zukommt und sie nicht nur eine willkürliche Festsetzung ist. Diese Überlegungen werden im nächsten Abschnitt noch vertieft.

Das ist in der Tat ein Problem. Aber solche „willkürlichen“ Festsetzungen haben wir überall in der Physik. Wenn wir den Wert einer physikalischen Größe angeben wollen, müssen wir den Nullpunkt bzw. Bezugssystem wählen. Ein Auto fährt relativ zur Erde mit 40 km/h in Richtung Osten. Ist die Geschwindigkeit positiv oder negativ? Das hängt davon ab, in welche Richtung man die Geschwindigkeitsachse orientiert. Aber man kann die Geschwindigkeit auch angeben in Bezug auf irgendeinen anderen Bezugskörper, die Sonne zum Beispiel. Damit müssen die Schüler auch klarkommen. Das ist Teil des Physikunterrichts. Diese Probleme treten auf, sobald wir ein Naturphänomen mathematisch beschreiben.

Seite 4

Da an dem System keine Bewegung zu erkennen ist, müsste ein aufgeweckter Schüler eigentlich fragen, wie man denn nachweisen könne, dass wirklich etwas durch die Feder fließt. Eine etwas schwierigere Frage könnte lauten: Warum ist an einem offensichtlich symmetrischen System eine Richtung vor der anderen ausgezeichnet? Und wenn der Lehrer das schon behauptet, wie kann er uns das beweisen?

...

Gibt es nun ein dem Amperemeter vergleichbares Instrument für den KPK-Impulsstrom? Ein solches Instrument wird in dem Schulbuch für den KPK nicht beschrieben.

Doch, ein solches Instrument wird im KPK beschrieben, auf Seite 36:

- verlängerte Feder: Impulsstrom in die eine Richtung,
- verkürzte Feder: Impulsstrom in die andere Richtung.

Die käuflichen Kraftmesser kann man nicht auf Druck beanspruchen.

Nebenbei: Wir haben einen Impulsstrommesser gebaut, den man auch umpolen kann. Wie ein Amperemeter nach dem Umpolen in die andere Richtung ausschlägt, so schlägt dieser Impulsstrommesser nach dem Umpolen in die andere Richtung aus. Wichtig ist dabei: Umpolen bedeutet nicht, dass man das Gerät einfach im Raum umdreht (das würde beim Amperemeter auch nicht zu einem anderen Ausschlag führen), sondern, dass man die Anschlüsse „innen“ und „außen“ vertauscht. Mit „innen“ ist der innere Stab, mit „außen“ der äußere Zylinder des Kraftmessers gemeint.

Der Kraftmesser ist deshalb mit der Glühlampe im elektrischen Fall vergleichbar, aber nicht mit dem Amperemeter.

Die Vorzeichen-Unempfindlichkeit der Glühlampe kommt von der Gleichung $P = U \cdot I$, in der beide Faktoren ihr Vorzeichen wechseln, wenn die elektrische Stromrichtung umgekehrt wird. Das Entsprechende ist beim Federkraftmesser nicht der Fall. Der Kraftmesser entspricht also in dieser Hinsicht dem Amperemeter.

Damit kann auch die Richtung des KPK-Impulsstroms willkürlich, d.h. unabhängig vom Geschehen im System allein durch eine neue Wahl des Koordinatensystems verändert werden. Wir schließen daraus: die Richtung des KPK-Impulsstroms ist keine Eigenschaft des Systems.

Die Tatsache, dass sich Vorzeichen und Beträge bei Bezugssystemwechsel ändern, heißt nicht, dass die entsprechenden Größen keine Eigenschaften des Systems beschreiben.

Seite 5

Es gibt diesen Strom in der Natur nicht. Damit hat der KPK-Impulsstrom auch keinen Platz im Gebäude der Physik und ganz gewiss auch nicht im Physikunterricht.

Ob es den Impulsstrom im Gebäude der Physik gibt, erkennt man daran, ob er in Büchern und sonstigen Veröffentlichungen auftritt, und das tut er.

Entropie und Wärme in der Thermodynamik

Seite 6

Auch bei den Begriffen Wärme und Energie bringen die Schüler ein gewisses Vorverständnis mit. Das gilt sicher nicht für die Entropie.

Hier sind wir anderer Meinung. Die Schüler haben ein gutes Vorverständnis für die Entropie, siehe auch die angegebene Literatur. Etwa Callendar: „In justice to Carnot, it should be called caloric, and defined directly by his equation $W = AQ(T - T_0)$, which any schoolboy could understand.“

Bekanntermaßen ist Entropie eine der schwierigsten Größen der Physik.

Dies ist eine weit verbreitete Meinung. Die entgegengesetzte Meinung ist allerdings auch verbreitet. (Siehe die angegebene Literatur)

Seite 7

Aber deshalb ist Entropie noch lange nicht der Wärme gleichzusetzen, auch keiner „umgangssprachlich“ so bezeichneten. Beide haben verschiedene Maßeinheiten, können also schon deshalb nicht gleich sein. Wärme misst man in Joule. Entropie in Joule/Kelvin.

Es trifft nicht zu, dass wir die Entropie mit der Wärme oder einer anderen energetischen Größe gleichsetzen.

Die Logik des Satzes stimmt auch nicht ganz. Man kann nicht sagen, dass man die umgangssprachliche Wärme in Joule misst.

Was wir tun, ist etwas, was im Physikunterricht gang und gäbe ist: Wir versuchen eine Anschauung von einer Größe zu erzeugen, indem wir zeigen, dass sie etwas misst, das wir aus dem Alltagsleben kennen.

Hier als Beispiel, wie man die Einführung der Kraft beginnt. Es sind Zitate aus zwei angesehenen Hochschulbüchern:

„Ebenso wie die Begriffe Länge und Zeit besitzt auch der Kraftbegriff eine unmittelbar anschauliche Bedeutung, die keiner weiteren Erklärung bedarf. Körperliche Kraft wird durch Muskeln ausgeübt, sie wird als eine Muskelempfindung vom Ausübenden erlebt.“

„Wir meinen, daß wir in unserem Muskelgefühl eine unmittelbare, wenigstens *qualitative* Vorstellung des Kraftbegriffs besitzen.“

Diese Zuordnung zwischen der Größe Kraft und dem Muskelgefühl ist gewiss nicht eindeutig.

Der KPK stützt seine Argumentationen fast ausschließlich auf die Gleichung $\Delta S = \Delta Q/T$, die im eingeschränkten Fall einer reversiblen Wärmezufuhr ΔQ bei einer Temperatur T die Entropieänderung ΔS angibt.

Die Gleichung kommt im KPK nicht vor. Die Autoren machen möglicherweise keinen Unterschied zwischen

$$\Delta S = \Delta Q/T$$

und

$$P = T \cdot I_S$$

(P = Leistung, I_S = Entropiestrom).

Ein wichtiger Unterschied in den Aussagen der beiden Beziehungen ist, dass sich die erste auf einen Raumbereich, die zweite auf eine Fläche bezieht. Die zweite ist daher unabhängig davon, ob Entropie produziert wird oder nicht.

Er wendet die Gleichung unverändert auch bei irreversiblen Prozessen an, obwohl dort $\Delta S \geq \Delta Q/T$ gilt.

Nein, er wendet sie nicht an.

Damit behindert er den Zugang zu den für das Verständnis unserer Welt so ungeheuer wichtigen irreversiblen Prozessen.

Irreversible Prozesse sind eines der zentralen Themen der Thermodynamik im KPK. Sie werden ab der 5. Unterrichtsstunde der Thermodynamik der Mittelstufe ausführlich behandelt.

Es gibt wichtige Prozesse, in denen die obige Formel gar nicht anwendbar ist, weil sich die Entropie als Zustandsgröße ohne Wärmezufuhr verändert.

Wir wenden die obige Formel nicht an. Dass sich die Entropie ohne Wärmezufuhr ändern kann, wird im Unterricht ausführlich behandelt, siehe Mittelstufenband 10.5 und 11.3, und Oberstufenband 1.5, 1.11, 2.7 und 7.4.

Seite 8

... so dass nach dem Temperatúrausgleich mehr Entropie in dem System aus beiden Behältern ist als am Anfang. Das ist keineswegs ein kleiner Effekt, den man übergehen dürfte, sondern diese Entropiezunahme ist das Wesentliche an diesem Versuch überhaupt! Sie ist der eigentliche Antrieb für diesen Prozess: Die Entropiezunahme legt fest, dass der Wärmeaustausch vom heißeren zum kälteren Behälter erfolgt, aber eben niemals umgekehrt. Dieser entscheidende Aspekt wird vom KPK einfach verschwiegen.

Den fachlichen Bemerkungen des Gutachters stimme ich zu. Die Frage ist nur, wie man das im Unterricht macht. Im KPK wird die Rolle der Entropieerzeugung bei der Wärmeleitung auf S. 133 behandelt. Man kann uns nicht vorwerfen, etwas nicht an einer bestimmten Stelle des Unterrichtsgangs zu tun. Hinzu kommt, dass dieses Thema in den meisten Schulbüchern überhaupt nicht behandelt wird.

Seite 9

Hier stolpert der KPK über seine eigene Definition, dass nämlich die Entropie nur erhöht werden kann, wenn Wärme zugeführt wird und sich damit die Temperatur erhöht.

Das sagt der KPK nicht, das wäre unsinnig. Er sagt etwas anderes: Die Entropie nimmt zu durch Entropiezufuhr oder -produktion. Im vorliegenden Beispiel liegt Produktion vor, und das wird auch gesagt.

Hier verweist der KPK auf eine frühere Beobachtung, wo bei der Expansion eines Gases die Temperatur gesunken war. Dabei handelte es sich um eine adiabatische Expansion, bei der das Gas Arbeit verrichtet. Der KPK betont zutreffend, dass bei einem solchen Prozess die Entropie konstant bleibt, benutzt ihn aber - für uns nicht nachvollziehbar -, um die Expansion ins Vakuum zu erklären, bei der die Entropie zunimmt, wie der KPK schließlich selbst feststellt! Davon unabhängig sieht man sofort ein, dass sich die Temperatur des Gases nicht verändert, weil bei der Expansion ins Vakuum keine Arbeit nach außen verrichtet wird.

Das Verfahren, das der KPK hier benutzt, ist in der Thermodynamik gang und gäbe. Um zu verstehen, wie sich bestimmte Größen bei einem Übergang von einem Zustand A in einen Zustand B verhalten, geht man einen anderen Weg als den, den das System tatsächlich genommen hat. Dieses Vorgehen kann das Bilanzieren erleichtern. Im KPK wird der Übergang vom Zustand mit dem kleinen Volumen in den mit dem großen auf einem anderen Weg als der freien Expansion durchgeführt: Zuerst eine isentrope Expansion. Dabei nimmt die Temperatur ab. Um in den sich tatsächlich einstellenden Endzustand B zu gelangen muss man Entropie von außen zuführen. Auf diese Art versteht man, dass die Entropie von B tatsächlich größer sein muss als die von A. Und damit weiß man: Bei konstanter Temperatur enthält ein Gas um so mehr Entropie, je größer sein Volumen ist. Wenn der Autor, dieses Ergebnis an den Anfang stellen will, so ist das eine methodische Entscheidung, gegen die nichts einzuwenden ist. Wir haben einen anderen Weg gewählt. Siehe zu unserem Verfahren auch *Falk-Ruppel*, S. 248-249.

Seite 10

Der KPK geht auf diese physikalische Tatsache überhaupt nicht ein, sondern gibt in Tab. 1.3 ([5], S. 14) Werte für die Entropieleitfähigkeit von Stoffen an, indem er einfach die Wärmeleitfähigkeit durch eine willkürlich gewählte mittlere Temperatur teilt.

Nein, es wird nicht durch eine willkürlich gewählte mittlere Temperatur geteilt. Wenn man überhaupt so genaue Werte verwenden wollte, müsste man die normale, energetische Wärmeleitfähigkeit bei einer bestimmten Temperatur nehmen und durch genau diese Temperatur dividieren. Beide, die Wärmeleitfähigkeit und die Entropieleitfähigkeit sind temperaturabhängig.

Er setzt zwei physikalisch unterschiedliche Größen gleich und begeht damit einen elementaren Fehler. Die an den Anfang gestellte, fundamental falsche Identifikation von Entropie und Wärme führt sofort zu Widersprüchen.

Noch einmal: Wir setzen nicht zwei unterschiedliche Größen gleich, und wir identifizieren nicht Entropie und physikalische Wärme.

Magnetische Ladungen

Seite 11

Das ist kein Einzelfall, sondern wie oben schon berichtet ist bisher die Suche nach magnetischen Monopolen erfolglos geblieben. Also gibt es für magnetische Ladungen bisher keine experimentelle Rechtfertigung.

Der Autor unterscheidet nicht zwischen dem physikalischen System „magnetisch geladenes Teilchen“ und der physikalischen Größe „magnetische Ladung“. Körper oder Teilchen, die eine magnetische Nettoladung tragen, gibt es nicht. Aber schon um diese Tatsache auszudrücken, braucht man die physikalische Größe magnetische Ladung. Es ist aber sicher nicht meine Aufgabe, diese Größe zu verteidigen. Es gibt sie in der Literatur, siehe unsere Literaturangaben. Sie trägt dort verschiedene Namen: *magnetische Menge*, *Polstärke* oder *magnetische Ladung*. Wenn betont werden soll, dass es sich um die Ladung handelt, die auf magnetischer Polarisation beruht, benutzt man die Bezeichnungen *magnetische Polarisationsladung* oder *gebundene Ladung*. Nur Maxwell möchte ich noch einmal zitieren, da er sich besonders klar ausdrückt:

„Die Menge Magnetismus, die ein Pol eines Magnets beherbergt, ist stets der Größe nach gleich und dem Zeichen nach entgegengesetzt der Menge Magnetismus, die der andere Pol desselben in sich birgt. Allgemeiner: In jedem Magnete ist die Gesamtmenge an Magnetismus algebraisch genommen gleich Null.“

Das könnte für einen Schüler zunächst überzeugend klingen. Aber dann wird er fragen, wie man diese Ladungen räumlich trennen kann, so dass man von wirklichen Ladungen und nicht nur von Eigenschaften eines Stabmagneten sprechen kann.

Hier werden ungewöhnliche Forderungen an eine physikalische Größe gestellt. Was sind *wirkliche* Ladungen? Warum soll die Ladung nicht eine Eigenschaft des Magneten beschreiben? Die elektrische Ladung beschreibt doch auch eine Eigenschaft des Elektrons.

„Die Frage ist nicht, ob es magnetische Ladungen gibt oder nicht, sondern ob ihre Einführung zweckmäßig ist“. Das nun ist ein Argument, das das Vorgehen des KPK in den Augen seriöser Wissenschaftler vollständig diskreditiert.

Zur Frage, mit welchem Recht man eine physikalische Größe einführt, möchte ich einige Autoren zitieren, deren Aussagen mehr Gewicht haben als meine eigenen:

1. Aus einem von Heisenberg (Der Teil und das Ganze, Piper & Co Verlag München 1969 S. 91-92) nacherzählten Dialog mit Einstein:

Einstein: Aber Sie glauben doch nicht im Ernst, daß man in eine physikalische Theorie nur beobachtbare Größen aufnehmen kann.

Heisenberg: Ich dachte, daß gerade Sie diesen Gedanken zur Grundlage Ihrer Relativitätstheorie gemacht hätten? Sie hatten doch betont, daß man nicht von absoluter Zeit reden dürfe, da man diese absolute Zeit nicht beobachten kann. Nur die Angaben der Uhren, sei es im bewegten oder im ruhenden Bezugssystem, sind für die Bestimmung der Zeit maßgebend.

Einstein: Vielleicht habe ich diese Art von Philosophie benützt, aber sie ist trotzdem Unsinn. Oder ich kann vorsichtiger sagen, es mag heuristisch von Wert sein, sich daran zu erinnern, was man wirklich beobachtet. Aber vom prinzipiellen Standpunkt aus ist es ganz falsch, eine Theorie nur auf beobachtbare Größen begründen zu wollen...

2. *Einstein, A.*: Grundzüge der Relativitätstheorie, AkademieVerlag Berlin, 1973, S. 6

„Es ist deshalb nach meiner Überzeugung eine der verderblichsten Taten der Philosophen, daß sie gewisse begriffliche Grundlagen der Naturwissenschaft aus dem Kontrolle zugänglichen Gebiete des Empirische-Zweckmäßigen in die unangreifbare Höhe des Denknötwendigen (Apriorischen) versetzt haben. Denn wenn es auch ausgemacht ist, daß die Begriffe nicht aus den Erlebnissen durch Logik (oder sonstwie) abgeleitet werden können, sondern in gewissem Sinn freie Schöpfungen des menschlichen Geistes sind, so sind sie doch ebensowenig unabhängig von der Art der Erlebnisse, wie etwa die Kleider von der Gestalt der menschlichen Leiber.“

3. *Falk, G., Ruppel, W.*: Mechanik, Relativität, Gravitation, Springer-Verlag Berlin 1973, S. 2

„Schließlich ist es irrtümlich anzunehmen, die Objektivität der Physik bestünde darin, dass ihre Begriffe nichts zu tun hätten mit der menschlichen Fantasie oder überhaupt mit dem Menschen. Tatsächlich sind die physikalischen Größen Erfindungen des menschlichen Geistes, die dazu dienen, die verwirrende Fülle der uns umgebenden Erscheinungen durch durch einfache Regeln überschaubar zu machen.

Äther/Vakuum

Seite 12

Zwar kann man aufgrund der Quantenfeldtheorie das Vakuum als einen modernen Nachfolger des Äthers ansehen. Ein entscheidender Unterschied zum klassischen Äther ist aber, dass das Vakuum der Quantenfeldtheorie lorentz-invariant ist, damit der Relativitätstheorie genügt und somit kein Bezugssystem auszeichnet.

Wir können aus den Bemerkungen des Autors nicht ableiten, dass es unpassend wäre, das Vakuum der QED als Träger der elektromagnetischen Felder zu bezeichnen.

Anthologia Calorica

GEORG JOB

i. R. Institut für Physikalische Chemie, Universität Hamburg

Zusammenfassung: Zur Frage, durch welche Größe der Begriff Wärme am besten zu beschreiben ist, gibt es eine Reihe widersprüchlicher Auffassungen. Man sollte sie kennen, wenn man sich aus den abweichenden Angaben verschiedener Lehrbücher ein eigenes, konsistentes Bild von den Eigenschaften der Wärme zu machen versucht. In dem folgenden Beitrag werden neun mehr oder minder verbreitete Ansichten in Worten und Formeln kurz charakterisiert und mit Zitaten belegt und veranschaulicht.

Was ist Wärme? – Eine Frage, viele Antworten

Die Überzeugung, dass Wärme eine Energieform darstellt, ist anderthalb Jahrhunderte alt. Man sollte also erwarten, dass vielleicht nicht jedes Kind, aber doch jeder Physiker oder zu allermindestens jeder Physikprofessor heute ohne viel Wenn und Aber angeben kann, um *welche* Energieform¹⁾ es sich dabei handelt.

Aber diese Erwartung trügt. Zur Frage, was Wärme eigentlich ist oder wie man sie auffassen sollte, gibt es ein buntes Spektrum von Lehrmeinungen. Nicht einmal der Ansatz, Wärme sei eine spezielle Form der Energie, ist unbestritten. Diese Vielfalt der Auffassungen über einen zentralen Begriff passt schlecht zum Selbstverständnis des Naturwissenschaftlers. Daher werden Abweichungen meist stillschweigend übergangen, obwohl die Gegensätze unübersehbar und unvereinbar sind. Der unkundige Leser sieht sich mit widersprüchlichen Aussagen konfrontiert, die alle im zugehörigen Rahmen richtig sein können, sich aber dennoch nicht, wie er es erwartet, zu einem einheitlichen Bild der Wärme zusammenfügen lassen. Studenten etwa, die sich mit der Wärmelehre befassen müssen und verschiedene Fachbücher zur Rate ziehen, bringt die Auseinandersetzung mit diesen differierenden, jedoch nicht benannten und gegeneinander abgegrenzten Auffassungen in eine missliche Lage. Wie verheerend die Folgen sind, macht K. STIERSTADT in seinem Aufsatz „Was ist Wärme?“ deutlich (siehe Zitat im Block 4). Es wäre zu überlegen, ob sich frustrierende Erlebnisse dieser Art nicht vermeiden oder wenigstens mildern ließen, wenn man nicht die Meinungsverschiedenheiten über den Wärmebegriff verschweigt (wohl aus gut gemeinten lernpsychologischen Gründen), sondern umgekehrt diese Auffassungsunterschiede kenntlich macht und angemessen bespricht. Ziel dieses Beitrages ist es, auf dieses schwelende Problem aufmerksam zu machen.

Als Ursache für diese Meinungsvielfalt kann gelten, dass sich durch eine Energiegröße, ganz gleich wie man sie wählt, jeweils nur gewisse Aspekte des Wärmebegriffes wiedergeben lassen. CLAUSIUS operierte daher mit zwei Wärmegrößen, der einem Körper *zugeführten* Wärme Q und der in einem Körper *vorhandenen* Wärme H , die er der kinetischen Energie der ungeordneten Molekularbewegung gleichsetzte²⁾. Aber auch H und Q zusammen ergeben keine befriedigende Beschreibung. H ist heute als Größe ausgestorben und auf manchen Gebieten durch die Enthalpie ersetzt worden, geistert aber als Begriff oder Vorstellung nach wie vor durch viele Lehrbücher (vergleiche etwa die zum zweiten Block der Liste gehörende Zitate).

Das Bekenntnis des Verfassers eines Lehrbuches oder Aufsatzes zu einer bestimmten Auffassung bedeutet noch keineswegs, dass er sich auch konsequent daran hält. Immer wieder verirren sich unbewusst fremde Ausdrucksweisen in den Text, selbst bei Wissenschaftlern wie PLANCK oder GIBBS, die entscheidend an der Entwicklung der thermodynamischen Begriffe mitgewirkt haben.

¹⁾ Die Abgrenzbarkeit der Energieformen gegeneinander wird oft als selbstverständlich unterstellt, erweist sich aber oft als recht problematisch.

²⁾ Vgl. etwa R. Clausius: „Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie“ Vieweg: Braunschweig (1864) S.252

Ansichten über die Wärme im Überblick

In der nachstehenden Liste sind neun verschiedenen Auffassungen des Begriffes Wärme aufgeführt und in Stichworten gekennzeichnet. In der ersten Zeile jedes nummerierten Blockes steht links in Anführungszeichen ein möglicher Name und ganz rechts eine Formel, welche die Wärme durch andere physikalische Größen³⁾ umschreibt. Der besseren Vergleichbarkeit wegen wurde versucht, dabei möglichst immer dieselben Variablen S , T , U ... zu verwenden. Vor der Formel steht die Angabe „Prozess“- oder „Zustandsgröße“, ein Merkmal, aus dem man auf den rechnerischen Aufwand beim Umgang mit der Wärme schließen kann. Schon das Integralzeichen in der Formel bei den Prozessgrößen lässt diese als die mathematisch schwierigeren erkennen. In den Zeilen danach folgt jeweils eine ganz knappe Kennzeichnung des Wärmebegriffs, sowie einige Angaben zu Verbreitung, Vor- und Nachteilen der jeweiligen Auffassung. In der Liste finden sich auch zwei überlebte, aber in verschiedenen Redewendungen und Begriffsbildungen noch nachklingende oder wieder auftauchende Auffassungen (Block 8 und 9).

- | | | | |
|----|---------------------|--|---------------------------------------|
| 1) | „orthodox“ | | Prozessgröße $\int T d_a S$ |
| | <i>Wärme ist:</i> | die durch thermische Kontakte einem System zugeführte Energie | |
| | <i>Verbreitung:</i> | unter Thermodynamikern bevorzugte Auffassung | |
| | <i>Vorteil:</i> | streng definierte Begriffe | |
| | <i>Nachteil:</i> | abstrakter Kalkül, anwendungsferne Begriffsbildung; Es gibt keinen Wärmehalt, keine Wärmeerzeugung, keine Reibungswärme; selbst Begriffe wie Wärmeleitung und Wärmekapazität sind nicht theoriekonform und werden nur mangels besserer Bezeichnungen geduldet. | |
| | <i>Bemerkung:</i> | gilt unter ihren Vertretern als einzig korrekte Auffassung | |
| | | | |
| 2) | „mechanistisch“ | | Zustandsgröße $\frac{f}{2} N k T$ |
| | <i>Wärme ist:</i> | die in der regellosen Molekularbewegung steckende (kinet.) Energie | |
| | <i>Verbreitung:</i> | die „herrschende Meinung“ in einführenden Physikbüchern, Enzyklopädien und Lexika | |
| | <i>Vorteil:</i> | vergleichsweise anschaulich und anspruchslos, wegen dehnbarer Begriffe gut geeignet zur Vermittlung fast jeder Art von Einsicht | |
| | <i>Nachteil:</i> | so dehnbar wie die Begriffe, so vage sind auch die Erkenntnisse; versagt bei Spinsystemen, Hohlraumstrahlung, entarteten Gasen | |
| | <i>Bemerkung:</i> | Relikt der mechanistischen Physik des 19. Jahrhunderts | |
| | | | |
| 3) | „chaokalorisch“ | | Zustandsgröße $U(S, ...) - U(0, ...)$ |
| | <i>Wärme ist:</i> | ungeordnete Energie | |
| | <i>Verbreitung:</i> | beginnt die mechanistische Auffassung zu ersetzen oder zu ergänzen | |
| | <i>Vorteil:</i> | auch anwendbar auf Spinsysteme, Hohlraumstrahlung, entartete Gase | |
| | <i>Nachteil:</i> | ähnlich vage Begriffe wie im Falle der mechanistischen Auffassung | |
| | <i>Bemerkung:</i> | Verallgemeinerung der zu engen mechanistischen Auffassung | |

³⁾ Es bedeutet S die Entropie, N die Atomzahl (bei einfachen Feststoffen) oder Molekelzahl (bei Gasen), k die BOLTZMANN-Konstante, T die Temperatur, U die innere Energie, ferner $dS = d_a S + d_i S$ das Entropiedifferential, das (in Anlehnung an BRØNSTED, PRIGOGINE und andere) in einen durch Zustrom von außen und eine durch Erzeugung im Innern hervorgerufenen Beitrag, $d_a S$ und $d_i S$, aufgeteilt ist.

- 4) „reformiert“ Prozessgröße $\int T dS$
- Wärme ist: die zu Entropiezufuhr oder Entropieerzeugung erforderliche Energie
 Verbreitung: gelegentlich vorgeschlagen und benutzt
 Vorteil: erlaubt es, von Wärmeerzeugung durch Reibung, elektrischen Strom, chemische Reaktion usw. zu sprechen
 Nachteil: es gibt keinen Wärmeinhalt
 Bemerkung: Erweiterung der sehr restriktiven orthodoxen Auffassung
- 5) „anergetisch“⁴⁾ Zustandsgröße TS
- Wärme ist: der isotherm nicht als Arbeit verfügbare Teil der inneren Energie
 Verbreitung: mehr beiläufig verwendet, selten systematisch benutzt
 Vorteil: latente Wärme bei Dehnung, Magnetisierung, Reaktionen usw. sind als Differenzen des Wärmeinhalts berechenbar
 Nachteil: nicht erweiterungsfähig auf andere als isotherme Prozesse
 Bemerkung: Erweiterung der orthodoxen Auffassung um den Begriff Wärmeinhalt
- 6) „akalorisch“ entfällt
- Wärme ist: wie Arbeit ein überflüssiger Begriff
 Verbreitung: gelegentlich vorgeschlagen, selten praktiziert
 Vorteil: vermeidet die unnötige und leicht missverständliche Differenzierung der Energie in Arbeiten und Nichtarbeiten
 Nachteil: die Ausschaltung des Wärmebegriffs bei der Diskussion von Wärmeeffekten wirkt paradox
 Bemerkung: Verzicht auf die problematischen Prozessgrößen Wärme und Arbeit
- 7) „entropokalorisch“ Zustandsgröße S
- Wärme ist: keine Energie, sondern identisch mit der Entropie
 Verbreitung: sporadisch, jedoch mit zunehmender Tendenz
 Vorteil: frei von abstrakten Größen, alle Rechengänge kurz und anschaulich, mit der außerwissenschaftlichen Wärmeverstellung voll kompatibel
 Nachteil: widerspricht alten Denkgewohnheiten, Wärmeleitung in Medien ohne merkliche thermische Ausdehnung (in der Technik häufig vorkommend) ist als Energiefluss einfacher darstellbar als als Entropiefluss
 Bemerkung: Abkehr von der Zwangsvorstellung, Wärme sei eine Energieform
- 8) „archekalorisch“[†] bei reversiblen Vorgängen Zustandsgröße S
- Wärme ist: ein der elektrischen Ladung oder einem Stoff vergleichbares Fluidum
 Verbreitung: nur in Namen von Wärmegrößen und -begriffen überlebend
 Vorteil: besonders einfach und anschaulich
 Nachteil: wegen der angenommenen Wärmeerhaltung falsche Deutung vieler Wärmeeffekte (etwa der Reibungswärme)
 Bemerkung: erste Erfolge bei der quantitativen Beschreibung der Wärmeeffekte

⁴⁾ Anergie $\equiv$ „Unarbeit“. In der technischen Thermodynamik bezeichnet man das Produkt $T_0 S$, in dem T_0 die Umgebungstemperatur bedeutet, als Anergie; $U - T_0 S$ wird Exergie genannt.

- 9) „*kinekalorisch*[†]“ entfällt
Wärme ist: die Folge unsichtbarer Teilchen- oder Ätherschwingungen
Verbreitung: als qualitative Beschreibung weitest verbreitet
Vorteil: erklärt modellhaft eine Vielzahl von Erscheinungen
Nachteil: nur qualitativ
Bemerkung: erste Versuche zu einem atomistischen Verständnis der Wärmeeffekte

Zitate

1. „Orthodoxe“ Auffassung Prozessgröße $\int T d_a S$

G. KORTÜM / H. LACHMANN: „Einführung in die chemische Thermodynamik“, Verlag Chemie, Weinheim 1981

S. 16: Der Begriff „Wärme“ ist schwer zu definieren ... Die Erkenntnis, dass Wärme eine Energieform darstellt, wurde relativ spät gewonnen.

S. 60: Der Energiesatz verlangt, dass in diesem Fall [nicht vollständig adiabatischer Prozess] eine weitere Energieform Q zwischen System und Umgebung ausgetauscht worden sein muss, so dass $Q = \Delta U - A$. Q wird als Wärme bezeichnet, sie stellt die Differenz zwischen der Änderung der inneren Energie eines Systems und der zwischen System und Umgebung ausgetauschten Arbeit bei beliebigen Prozessen dar. Durch diese Definition wird die Wärme auf schon bekannte Größen zurückgeführt, sie ist nichts anderes als eine Energieform.

M. BORN: „Kritische Betrachtungen zur traditionellen Darstellung der Thermodynamik“ Physik. Zeitschr. 1921, 22, 218 ... 286

S. 221: Sobald man erkannt hat, dass Körper erwärmt werden können, ohne dass die umgebenden Körper ihnen Wärme abgeben, nämlich etwa durch Aufwendung mechanischer Arbeit, verliert der Begriff der Wärmemenge zweifellos seinen Inhalt. Erst muss das Gesetz dieser Verwandelbarkeit bekannt sein, bevor man wissen kann, unter welchen speziellen Vorichtsmaßnahmen die Warmheit durch eine Quantitätsgröße „Wärmemenge“ gemessen werden darf. Wir werden daher den Begriff Wärmemenge zunächst nicht einführen und ihn erst nachträglich an die im ersten Hauptsatz formulierten Erfahrungen anschließen.

1. Hauptsatz: Um einen Körper (oder ein System von Körpern) von einem bestimmten Anfangszustand zu einem bestimmten Endzustand auf adiabatische Weise zu bringen, ist immer ein und dieselbe mechanische Arbeit (bzw. äquivalente elektrische Energie) notwendig, unabhängig von der Art des Überganges. Hält man den Anfangszustand fest, so ist demnach die Arbeit A nur noch von den Parameterwerten des Endzustandes abhängig; man schreibt $A = U - U_0$ wo U eine Funktion des Zustandes ... und U_0 ihr Wert im Anfangszustand ist. U heißt die Energie des Systems.

S. 222: Jetzt können wir die Wärmemenge auch für ganz beliebige Prozesse definieren: dazu muss angenommen werden, dass die Energie als Funktion des Zustandes bekannt und die bei einem beliebigen Prozess aufgewandte Arbeit gemessen sei, dann ist die bei dem Prozess zugeführte Wärme $Q = U - U_0 - A$. Im folgenden spielt der Begriff Wärme keine selbstständige Rolle; wir gebrauchen ihn durchaus nur als kurze Bezeichnung der Differenz von Energiezunahme und zugeführter Arbeit.

2. „Mechanistische“ Auffassung Zustandsgröße $\frac{f}{2} Nk T$

C. GERTHSEN / H. O. KNESER / H. VOGEL: „Physik“, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1986

S. 193: Was ist Wärme? Die ganze Wärmelehre lässt sich in einem Satz zusammenfassen: Wärme ist ungeordnete Molekülbewegung. Wir beginnen mit der Feststellung, dass Wärmeenergie nichts anderes ist als kinetische⁵⁾ Energie der ungeordneten Molekülbewegung.

S. 196: Freiheitsgrade Moleküle können nicht nur Translationsenergie haben, sondern auch Rotationsenergie. Außerdem können ihre Bestandteile ... gegeneinander schwingen. Jede solche unabhängige Bewegungsmöglichkeit nennt man einen *Freiheitsgrad*. Bei einer Schwingung sind ... kinetische und potentielle Energie im Mittel gleich groß. Daher hat ein Teilchen im Kristall i. allg. 6 Freiheitsgrade, 3 der kinetischen, 3 der potentiellen Schwingungsenergie. Es gilt der *Gleichverteilungssatz* ...: *Auf jeden Freiheitsgrad entfällt im thermischen Gleichgewicht die gleiche mittlere Energie, und zwar für jedes Molekül $W_{FG} = (1/2) kT$.* Ein Molekül mit f Freiheitsgraden enthält also die mittlere Gesamtenergie $W_{mol} = (f/2) kT$.

S. 197: Wärmekapazität Ein homogener (aus lauter gleichen Molekülen bestehender) Körper der Masse M enthält M/m Moleküle der Masse m . Jedes davon braucht die Energie $(1/2) fk(T_2 - T_1)$, um von T_1 nach T_2 zu gelangen, der ganze Körper braucht also die Energie $\Delta W = (M/m) (f/2) k \Delta T$. Man nennt das Verhältnis $C = \Delta W / \Delta T = (M/m)(f/2)k$ die *Wärmekapazität* des Körpers. Bezogen auf 1 kg eines bestimmten Stoffes erhält man die *spezifische Wärmekapazität* $c = \Delta W / (M \Delta T) = fk / (2m) = \dots$.

S. 199: Kalorimeter Die spezifische Wärmekapazität c kann mit dem *Mischungskalorimeter* bestimmt werden. In einem Gefäß bekannter Wärmekapazität C_w befindet sich eine Wassermasse m_1 der Temperatur T_1 . Der Probekörper, dessen c gemessen werden soll, hat die Masse m_2 und wird auf T_2 erhitzt. Lässt man ihn in das Kalorimeter fallen, stellt sich nach einer Weile eine Mischungstemperatur T_m ein. Der Energiesatz fordert Gleichheit von abgegebener und aufgenommener Wärmemenge: $Q_2 = c m_2 (T_2 - T_m) = Q_1 = (c_0 m_1 + C_w) (T_m - T_1)$. c_0 ist die spezifische Wärmekapazität des Wassers. Es folgt $c = \dots$.

S. 201: Der erste Hauptsatz der Wärmelehre Führt man einem System von außen die Wärmeenergie ΔQ zu, so kann sie teilweise zu einer Arbeitsleistung $-\Delta W$ verbraucht werden Der Rest von ΔQ führt zur Steigerung der inneren Energie U des Systems um ΔU : $\Delta Q = \Delta U - \Delta W$. Die innere Energie kann Bewegungsenergie der Moleküle sein ... , also zu einer Erwärmung führen Sie kann aber auch zum Umbau oder zum Aufbrechen des Festkörper- oder Flüssigkeitsverbandes dienen (Schmelz-, Verdampfungs-, Lösungsenergie). Sie kann auch in Arbeit gegen chemische und elektro magnetische Kräfte bestehen.

R. W. POHL: „Mechanik, Akustik, Wärmelehre“, S. 248ff; Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1962

S. 244: Das Verständnis der Wärmelehre wird erleichtert, wenn man das früher so oft angewandte Wort „Wärmemenge“ ganz vermeidet und vom Worte Wärme nur sparsam Gebrauch macht.

S. 248: Das Wort Wärme wird leider noch immer nebeneinander in zwei verschiedenen Bedeutungen benutzt. Meist kennzeichnet es nicht eine besondere Form der Energie, wie es die Worte potentielle, kinetische, elektrische und magnetische Energie tun. Meist kennzeichnet das Wort Wärme lediglich eine besondere Art, in der Energie aus einer Stoffmenge in eine andere *übergeht*: Es ist der Übergang, der *unter Ausschluss aller sonstigen Hilfsmittel* allein durch eine *Temperaturdifferenz* verursacht wird. Wir nennen einen solchen Übergang kurz

⁵⁾ Wärme und Wärmeenergie werden synonym gebraucht. Später wird stillschweigend – im Widerspruch zur Feststellung am Anfang – auch der potentielle Anteil der Schwingungsenergie der Wärmeenergie zugerechnet.

„thermisch“, vermeiden also zur Kennzeichnung dieses Übergangs das Wort Wärme. – Im Sonderfall bezeichnet Wärme den kinetischen Anteil einer inneren Energie. Wir werden es allein in diese Bedeutung benutzen.

3. „Chaokalorische“ Auffassung Zustandsgröße $U(S, \dots) - U(0, \dots)$

F. J. DYSON: „What Is Heat?“, Scientific American 1954, 191, No. 3 (September), 58...63

S. 58: Wärme ist *ungeordnete Energie*. Die zwei Worte genügen, um die Natur der Wärme zu erklären. ... Energie kann ohne Unordnung vorkommen. Zum Beispiel trägt eine fliegende Gewehrkugel oder ein $^{235}\text{Uran}$ -Atom geordnete Energie. ... Wenn die Kugel auf eine Stahlplatte prallt, geht ihre Bewegungsenergie in eine Zufallsbewegung der Atome in Geschoss und Platte über. Diese ungeordnete Energie wird in Form von Wärme fühlbar Wenn das [Uran-]Atom zerfällt, wird die Bewegungsenergie der fliegenden Bruchstücke durch Zusammenstöße in eine Zufallsbewegung der Elektronen und Atome in der Umgebung verwandelt, das heißt in Wärme. ... Diese zwei Beispiele veranschaulichen das allgemeine Prinzip, dass Energie als Wärme erscheint, sobald sie ungeordnet ist. Umgekehrt gilt, dass Unordnung ohne Energie vorkommen kann und dass Unordnung Wärme wird, sobald Energie hinzukommt. Um zu sehen, wie Wärme erzeugt wird, indem man Energie der Unordnung zufügt, betrachte man die Luft in einer Fahrradpumpe. Vor einer Verdichtung bewegen sich die Luftatome bereits zufällig in alle Richtungen. Das heißt, dies ist ein ungeordnetes System und seine Energie liegt als Wärme vor, obwohl wir sie nicht fühlen, weil die Luft nur Zimmertemperatur hat. Nun pumpen wir kräftig. Wenn wir die Luft schnell verdichten, erhitzt sie sich, und wir fühlen, dass die Pumpe heiß wird. Die Luft hat dieselbe Unordnung wie zuvor, aber mehr Energie. Durch die verrichtete Arbeit haben wir mehr Energie in die Luft gedrückt und die beobachtete Wärmeerzeugung ist die Folge dieser Energiezufuhr zu der schon vorhandenen Unordnung.

S. 61: Wenn elektromagnetische Wellen ungeordnet sind, erscheinen sie als Wärme wie andere Formen der Energie auch. Ungeordnete elektromagnetische Energie ist eine Form der Wärme, die zum leeren Raum gehört, genauso wie ungeordnete Bewegung der Atome eine Form der Wärme ist, die zur Materie gehört.

K. STIERSTADT: „Was ist Wärme? – Erfahrungen mit einem Vorlesungskonzept“, Phys. Bl. 1983, 39, 126 ... 128 „*verbal chaokalorisch, faktisch reformiert*“

S. 126: Die Fragen „Was ist Wärme, was ist Temperatur?“ werden von etwa 90% der Physikstudenten im Vorexamen und von etwa 65% im Hauptexamen falsch oder sehr unvollständig beantwortet. ... Inzwischen wissen wir aber, dass sie [die Wärmelehre] eines der begrifflich schwierigsten Gebiete der Physik ist. ...

S. 127: Ich habe die 30 gebräuchlichsten Lehrbücher der allgemeinen Physik und der Wärmelehre sowie einige Lexika daraufhin durchgesehen, ob die Begriffe Wärme und Temperatur vernünftig eingeführt sind. Das Ergebnis ist niederschmetternd: Insgesamt habe ich für die Temperatur (bzw. die Wärme) 10 (bzw. 9) befriedigende und 25 (bzw. 26) unbefriedigende Erklärungen der genannten Art gefunden. ... [STIERSTADT propagiert als Konsequenz davon eine Wärmelehre auf quantenstatistischer Grundlage, die er in Stichworten skizziert:] Wärme ist eine Form ungeordneter Energie. Temperatur ist ein Maß für die Änderung dieses ungeordneten Anteils. Quantitativer Ausdruck für die Unordnung ist notwendig, z. B. die Zahl ω der möglichen Energiezustände. ... [Weitere Schritte seines „Königsweges“ sind:]

$$[\omega \text{ „geglättet“}] \quad \Omega(E) \equiv \int_E^{E+\delta E} \omega(E') dE', \quad \text{Definition der Temperatur: } T \equiv 1/k \left(\partial \ln \Omega / \partial E \right)^{-1},$$

$$\text{Definition von Arbeit } \Delta W \text{ und Wärme } \Delta Q: \quad \Delta(\ln \Omega) = \frac{\partial \ln \Omega}{\partial E} \Delta E + \frac{\partial \ln \Omega}{\partial V} \Delta V \equiv \frac{\Delta Q}{kT} - \frac{\Delta W}{kT} \text{ usw.}$$

4. „Reformierte“ Auffassung Prozessgröße $\int T dS$

J. N. BRØNSTED: „Principles and Problems in Energetics“, Interscience Publishers, New York, London 1955

S. 2: ... der Verfasser dieses Buches macht auf einige Ungenauigkeiten in der herkömmlichen Deutung aufmerksam, die auf eine Mehrdeutigkeit der Grundbegriffe zurückzuführen sind. Dies gilt besonders für den Wärmebegriff, der in der klassischen Darstellung nur im Fall der Wärmeleitung befriedigend definiert ist.

S. 56: Daher scheint es vertretbar und sprachlich konsequent ... allgemein den gleichen Namen für δQ in der Gleichung $T dS = \delta Q$ zu verwenden, ganz gleich, ob die Entropie dem System von außen zugeführt oder in seinem Innern erzeugt wird.

W. RUPPEL: „Entropie und Wärme“ in Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 1, Schroedel Verlag, Hannover 1977.

S. 92: Der Gebrauch des Wortes Wärme ist so verworren und hat sich historisch so wenig im Einklang mit dem Kalkül der Thermodynamik entwickelt, dass das Wort „Wärme“, ganz im Gegensatz zur „Entropie“, mehr als ein Hindernis als ein Hilfsmittel beim Verständnis der Thermodynamik ist.

G. FALK / W. RUPPEL: „Energie und Entropie“, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1976.

S. 92: Die zur Energieform⁶⁾ Wärme gehörige extensive Variable ... hat den Namen *Entropie* S . Es ist also die Energieform $\text{Wärme} = T dS$. Die intensive Variable T heißt die absolute Temperatur. Durch [diese Gleichung] werden die beiden Variablen T und S ... auf einmal eingeführt. ... Die Wärme ist aber kein Energieanteil, sondern eine Energieform. Ebenso sind Sätze wie „Wärme ist ungeordnete Bewegung von Teilchen“ oder „Wärme ist kinetische Energie der Teilchen“ irreführend; denn sie besagen, dass Wärme eben kinetische Energie, also doch wieder ein Energieanteil sei. Dass aber Wärmeenergie nicht in einem System „drinsteckt“, sondern nur bei Energieaustausch auftritt, wie alle Energieformen, ist der springende Punkt der Thermodynamik, auf den man nicht hartnäckig genug hinweisen kann.

5. „Anergetische“ Auffassung Zustandsgröße TS

H. H. STEINOUR: „Heat and Entropy“, J. Chem. Educ. 1984, 25, 15...20.

S. 16: Es ist lehrreich im Hinblick auf diese Betrachtungen die bekannte Gleichung zu untersuchen, die die innere Energie in zwei Teile aufspaltet, $E = A + TS$ wovon der erste, A , eine Energie darstellt, die, soweit sie abgebar ist, Arbeit bei der Temperatur T zu verrichten vermag. Die Größe A kann daher als Arbeitsinhalt bei der Temperatur T angesehen werden und wird in der Tat oft so genannt. Entsprechend erscheint TS für die Rolle des Wärmehalts ausersehen Mach (12) scheint ebenfalls TS als Wärme betrachtet zu haben. Trevor (19, 20) zeigt klar, dass er sich früher TS als Wärme gedacht hat Berthelot (2) und Leaf (5) nennen TS „thermische Energie“. Dodé (4) nennt es „Wärmeenergie“ und in einem Fall „Wärme“. Babor und Thiessen (1) sagen ausdrücklich, dass TS „tatsächlich Wärme ist oder eine Energieform, die nur als Wärme greifbar ist.“

6. „Akalorische“ Auffassung entfällt

H. A. BENT: „A Note on the Notation and Terminology of Thermodynamics“, J. Chem. Educ. 1972, 49, 44...46.

⁶⁾ Der Begriff „Energieform“ wird hier ausschließlich im Sinne von „Energie-Übertragungsform“ gebraucht, während die verschiedenen „Energie-Daseinsformen“ (kinetische, potentielle, elektrische usw.) als „Energieanteile“ bezeichnet werden.

S. 44: In der chemischen Thermodynamik sind gewöhnlich drei Dinge im Auge zu behalten: ein System, seine thermische Umgebung und seine mechanische Umgebung. ... Vereinbarungsgemäß ist die thermische Umgebung in starre, wärmeleitende Wände eingeschlossen, die mechanische Umgebung in bewegliche, wärmedämmende Wände. ... Die folgenden Abkürzungen haben sich als nützlich erwiesen.

$\sigma \equiv$ das System $\vartheta \equiv$ die thermische Umgebung $wt \equiv$ die mechanische Umgebung. ... In dieser Schreibweise lauten die algebraischen Ausdrücke für den ersten und zweiten Hauptsatz ... $\Delta E_{\text{total}} = \Delta E_{\sigma} + \Delta E_{\vartheta} + \Delta E_{wt} = 0$ ([Gl.] 5) $\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\sigma} + \Delta S_{\vartheta} \geq 0$ ([Gl.] 6) ferner gilt gemäß Definition: $\Delta S_{\vartheta} = \Delta E_{\vartheta}/T \dots$ ([Gl.] 7). Die Gleichungen (5) – (7) sind bei allen üblichen Aufgaben in der chemischen Thermodynamik anwendbar. Die Gleichung (5) für den ersten Hauptsatz schreibt man gewöhnlich als $\Delta E = q - w$ ([Gl.] 8) ...

$q \equiv$ Energie, die die thermische Umgebung verliert $\equiv -\Delta E_{\vartheta}$

$w \equiv$ Energie, die die mechanische Umgebung gewinnt $\equiv \Delta E_{wt}$

$\Delta E \equiv$ Energieterm, der sich aus der Energieerhaltung ergibt $\equiv \Delta E_{\sigma}$

S. 46: Zusammenfassend gesagt, die „ σ - ϑ - wt -total“-Schreibweise erlaubt es, den ersten und zweiten Hauptsatz der Thermodynamik in symmetrischer, analoger, leicht merkbarer Form auszudrücken Die Schreibweise bringt Klarheit in die Definitionen von „ q “ und „ w “ und bietet die Möglichkeit, die oft quälenden Ausdrücke „Wärme“ und „Arbeit“ aus dem thermodynamischen Vokabular zu streichen, indem man diese durch die zwar umständlicheren, aber eindeutigeren Wendungen ersetzt: „Energie, die die thermische Umgebung verliert“ bzw. „Energie, die die mechanische Umgebung gewinnt“.

G. M. BARROW: „Thermodynamics Should Be Built on Energy – Not on Heat and Work“ J. Chem. Euc. 1988, 65, 122...125

S. 122: „Wärme“ und „Arbeit“ sollten von der thermodynamischen Bühne verschwinden. Man sehe sich einmal an, was in Thermodynamikbüchern oder irgendwelchen Chemiebüchern, die sich mit Thermodynamik oder Thermochemie befassen, über Wärme und Arbeit gesagt wird. Man findet viele vage und seltsame Aussagen. Wärme „fließt“ oder „Wärme ist eine Form der Energie“ oder „Wärme ist Energie im Übergang“ oder sie ist „Energie an der Grenze“ oder sie ist „der Vorgang“ oder „der Mechanismus“ durch den Energie übertragen wird. Arbeit „wird getan“ oder „wird umgewandelt in Wärme“. Wir werden vor den Schwierigkeiten, die diese Begriffe verursachen, schon bei der Geburt der modernen Thermodynamik gewarnt. In ihrem Buch „Thermodynamics“ [McGraw-Hill: New York, 1923, S. 53] schrieben Lewis und Randall:

Es gibt zwei Begriffe, Wärme und Arbeit, die eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Thermodynamik gespielt haben. Aber ihr Gebrauch hat oft eine Verschwommenheit in diese Wissenschaft gebracht, die der größten Genauigkeit fähig wäre.

Die Schwierigkeiten, die Wärme und Arbeit mit sich bringen, setzen sich mit der Weiterentwicklung der Thermodynamik fort. ... Wir werden dann zu einer ganz unnötigen Auseinandersetzung mit „unvollständigen Differentialen“ und seltsamen Differentialsymbolen – rundes d , großes d , quergestrichenes d – veranlasst. Der Bezug zur Wärme stammt von der Wärmetheorie des 18. und frühen 19. Jahrhunderts, wo man glaubte, Wärme sei die Wirkung eines „Caloricum“ genannten Stoffes. ... Die „kalorische Periode“ endete. Indem wir das Wort „Wärme“ weiterbenutzen, verharren wir in einer „modifizierten kalorischen Periode“. Es ist Zeit, dieses linkische Überbleibsel der Vergangenheit aufzugeben.

S. 123: Im Gegensatz zu Wärme und Arbeit ist Energie eine wohlbestimmte Eigenschaft. ... Davidson [Statistical Mechanics; McGraw-Hill: New York, 1962] meint, „es ist wichtig, dass man Wärme und Arbeit als Änderungen definiert, die nicht im System, sondern in der Umgebung auftreten.“ Wenn wir die Energie heranziehen, fällt es uns leichter, das System und seine thermische und mechanische Umgebung gleichartig zu behandeln. ... Auf diese Weise können wir statt von Wärme von der Energieänderung in der thermischen Umgebung,

$\Delta U(\text{therm})$, sprechen. Analog kann man statt von Arbeit von der Energieänderung in der mechanischen Umgebung, $\Delta U(\text{mech})$, reden.

S. 125: Schlussfolgerungen. Es gibt in der Thermodynamik keine Rolle für die schlüpfrigen Begriffe „Wärme“ und „Arbeit“. Wir sollten mit Energien umgehen, insbesondere in der Thermodynamik mit den Energien von System und seiner thermischen und mechanischen Umgebung.

7. „Entropokalorische“ Auffassung Zustandsgröße S

H. L. CALLENDAR: „The Caloric Theory of Heat and Carnot's Principle“, Proc. Phys. Soc. 1911, 23, 153 ... 189.

S. 178: Niemand zu der Zeit [19. Jahrhundert] scheint ... erkannt zu haben, dass die Entropie lediglich das Caloricum [der Wärmestoff] unter einem anderen Namen war.

S. 184: Das Caloricum besitzt eine wichtige Eigenschaft, die wesentlich für ein natürliches Maß der Wärmemenge ist, nämlich bei einem reversiblen Austausch unverändert zu bleiben Wenn wir daher als Maß der Wärmemenge das Caloricum übernehmen, das je nach Temperatur mehr oder weniger Energie besitzt, werden alle Gleichungen und Herleitungen, die Gleichgewichte betreffen, sehr vereinfacht und leichter erhältlich.

H. U. FUCHS: „The Dynamics of Heat“, Springer-Verlag, New York, Berlin ... 1996

S. 65: Die hier eingeführte Größe Wärme, die so viel mit dem alten Begriff des Caloricums gemein hat, trägt eindeutig die Merkmale dessen, was Physiker, Chemiker und Ingenieure Entropie nennen.

S. 66: Deshalb ... sollte die Entropie im ersten Akt des Dramas als zentrale Figur der Wärmelehre erscheinen, nämlich als formales Maß an der Größe Wärme, für die wir sehr brauchbare Alltagsvorstellungen besitzen. Um die Vorstellung weiter zu festigen, wollen wir in Abschnitt 1.3 für die Beschreibung einfacher Wärmeerscheinungen das Wort *Wärme* verwenden. Vom Abschnitt 1.4 an wird dann der Begriff *Entropie* benutzt. Auch danach ist stets die Entropie gemeint, wenn umgangssprachlich von Wärme die Rede ist. In Ausdrücken wie „Der Körper wurde erwärmt“ oder „Bei diesem Vorgang wurde Wärme erzeugt“ soll auch weiterhin das Wort Wärme statt Entropie beibehalten werden.

8. „Archekalorische“[†] Auffassung bei reversiblen Vorgängen Zustandsgröße S

A. L. LAVOISIER, P. S. DE LAPLACE: „Zwei Abhandlungen über die Wärme von 1780 und 1784“ Ostwalds Klassiker, Band 40, Engelmann, Leipzig 1892.

S. 5: Die Physiker sind nicht einer Meinung über die Natur der Wärme. Mehrere unter ihnen betrachten sie als eine Flüssigkeit welche in der ganzen Natur verbreitet ist und welche die Körper mehr oder weniger durchdringt, je nach dem Grade der Temperatur und der ihnen eigenen Fähigkeit, sie zurückzuhalten. Sie kann sich mit den Körpern verbinden und in diesem Zustande hört sie auf, auf das Thermometer zu wirken und sich von einem Körper zum anderen mitzuteilen. Nur im Zustand der Freiheit, welche ihr gestattet, sich in den Körpern ins Gleichgewicht zu setzen, bildet sie das, was wir freie Wärme nennen.

9. „Kinekalorische“[†] Auffassung entfällt

A. L. LAVOISIER, P. S. DE LAPLACE: „Zwei Abhandlungen über die Wärme von 1780 und 1784“ Ostwalds Klassiker, Band 40, Engelmann, Leipzig 1892.

S. 5: Andere Physiker glauben, dass die Wärme nichts ist, als das Ergebnis unmerklicher Bewegungen der Moleküle der Materie. ... Um diese Hypothese zu entwickeln, machen wir darauf aufmerksam, dass bei allen Bewegungen ... ein allgemeines Gesetz besteht, welches die Geometer mit dem Namen „Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kräfte“ bezeichnet haben.

Quellen:

- R. CLAUSIUS : „Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie“; Vieweg: Braunschweig (1864), S. 252
- G. KORTÜM / H. LACHMANN: „Einführung in die chemische Thermodynamik“, Verlag Chemie, Weinheim 1981
- M. BORN: „Kritische Betrachtungen zur traditionellen Darstellung der Thermodynamik“ Physik. Zeitschr. 1921, 22, 218...286
- C. GERTHSEN / H. O. KNESER / H. VOGEL: „Physik“; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1986
- R. W. Pohl: „Mechanik, Akustik, Wärmelehre“, S. 248ff; Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1962
- F. J. DYSON: „What is Heat?“; Scientific American 1954, 191, No. 3 (September), 58...63
- K. STIERSTADT: „Was ist Wärme? – Erfahrungen mit einem Vorlesungskonzept“; Phys. Bl. 1983, 39, 126...128
- J. N. BRØNSTED: „Principles and Problems in Energetics“, Interscience Publishers, New York, London 1955
- W. RUPPEL: „Entropie und Wärme“ in Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 1, Schroedel Verlag, Hannover 1977
- G. FALK / W. RUPPEL: „Energie und Entropie“; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1976
- H. H. STEINOUR: „Heat and Entropy“; J. Chem. Educ. 1984, 25, 15...20
- H. A. Bent: „A Note on the Notation and Terminology of Thermodynamics“; J. Chem. Educ. 1972, 49, 44...46
- G. M. BARROW: „Thermodynamics Should Be Built on Energy – Not on Heat and Work“ J. Chem. Educ. 1988, 65, 122...125
- G. N. LEWIS / M. RANDALL „Thermodynamics“, McGraw-Hill: New York, 1923, S. 53
- H. L. CALLENDAR: „The Caloric Theory of Heat and Carnot's Principle“; Proc. Phys. Soc. 1911, 23, 153...189
- H. U. FUCHS: „The Dynamics of Heat“, Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg ... 1996
- A. L. LAVOISIER / P. S. DE LAPLACE: „Zwei Abhandlungen über die Wärme von 1780 und 1784“ Ostwalds Klassiker, Band 40, Engelmann, Leipzig 1892

Als Lehrer drängt es mich, mit dem Rotstift an die neue DPG-Vorstands-Stellungnahme heranzugehen. Ich korrigiere und mache meine Bemerkungen, so als wäre es eine Kurs- oder Studienarbeit. Eine Note zu geben verkneife ich mir.

F. Herrmann

Das DPG-Gutachten zur Verwendung des Karlsruher Physikkurses (KPK) an Schulen wurde kürzlich kritisiert, weil es die im KPK definierten Impulsströme als unphysikalisch bezeichnet.

Unklar: Wann ist eine physikalische Größe „unphysikalisch“?

Die Kritiker benutzen eine mathematische Konstruktion von Größen, die in einer gewissen Verallgemeinerung unbestritten als „Impulsströme“ bezeichnet werden können.

Warum der Plural der „Größe“? Der Impulsstrom ist *eine* physikalische Größe. Den Impulsstrom, den die „Kritiker“ benutzen, als „mathematische Konstruktion“ zu bezeichnen, wird der Sache nicht gerecht. Der Impulsstrom kann unabhängig von anderen Größen gemessen werden, ebenso seine Stromdichte. Warum also „mathematische Konstruktion“?

In der Tat können noch weit abstraktere Größen als „Impulsströme“ eingeführt werden.

Wie ist der Satz gemeint: ‘Größen, die abstrakter sind als Impulsströme’, oder ‘abstrakte Größen, die als Impulsströme eingeführt werden’? In beiden Fällen:

Was soll der Satz? Und: Warum ist der Impulsstrom „abstrakt“?

Im Hinblick auf den KPK als Instrument der schulischen Ausbildung muss jedoch die Frage gestellt werden, ob abstrakt definierte „Impulsströme“ in der Lage sind, dynamische Bewegungszustände von Materie zu beschreiben.

Noch einmal: Was ist eine „abstrakte Definition“? Warum „dynamische Bewegungszustände von Materie“? Geht es nicht etwas bescheidener, etwa: „die Bewegung von Körpern“?

Selbstverständlich lag dem DPG-Gutachten und den Ergänzungen dazu die Interpretation des Impulses als Bewegungsgröße von Materie zugrunde, weil sie sowohl an die alltägliche Erfahrung der Trägheitsbewegung anschließt, als auch vom KPK selbst vorausgesetzt wird.

Wieso ist die „Bewegungsgröße von Materie“ eine „Interpretation“ des Impulses? Was ist mit Trägheitsbewegung gemeint? Vielleicht einfach Bewegung?

Das Gutachten stellt nicht das mathematische Konzept der Impulsströme in Frage.

Was ist mit dem „mathematischen Konzept“ der Impulsströme gemeint?

Vielmehr wendet es sich gegen den inkonsistenten Gebrauch dieses Konzepts in den KPK-Schulbüchern.

Der Gebrauch der Impulsströme im KPK ist nicht inkonsistent.

Der Ansatz des KPK verwendet sogenannte „mengenartige“ Größen als Basisgrößen, denen dann Ströme und Stromdichten zugeordnet werden. In der Mechanik verzichtet der KPK durch diesen Ansatz weitgehend auf die Newtonsche Axiome, insbesondere auf das Trägheitsprinzip.

Die Newtonschen Axiome sind äquivalent zum Impulserhaltungssatz. Sie sind Ausdruck der Impulserhaltung in drei speziellen Situationen. Der KPK „verzichtet“ nicht auf dem Impulserhaltungssatz.

An Stelle der Kräfte wird mit „Impulsströmen“ gearbeitet.

Unabhängig vom gewählten Ansatz muss die Bewegung von Massen unter dem Einfluss solcher Impulsströme korrekt durch Lösungen beschrieben werden können, die mit denen der Newtonschen Bewegungsgleichung identisch sind.

Im KPK wird die Bewegung von Körpern (nicht Massen) genau so beschrieben wie in anderen Büchern.

Diese Bedingung führt zu Einschränkungen bei der Verwendung des allgemeineren Prinzips der Impulsströme.

Der Impulsstrom ist nicht ein „Prinzip“, sondern eine physikalische Größe.

Diese Einschränkungen werden jedoch im KPK nicht konsistent befolgt, wie wir im folgenden Text nochmals belegen möchten.

Der Karlsruher Physikkurs identifiziert Impuls umgangssprachlich mit „Schwung“ oder „Wucht“. Dafür sprechen auch die Analogien, die sich der KPK herzustellen bemüht. Damit setzt er die elementare (warum elementar?) Bedeutung des Impulses als Kennzeichen einer Bewegung voraus. Das ist der schulischen Ausbildung auch angemessen.

Dieser dynamischen Interpretation des Impulses entspricht die Auffassung, dass Impulsströme von Materieströmen getragen werden.

Nein, entspricht ihr nicht. Impulsströme, die von Materie getragen werden, nennt man konvektive Impulsströme. Sie spielen im KPK (wie auch in anderen Schulbüchern) nur eine kleine Rolle, siehe KPK Sek II, S. 22. (Man kann sie in Analogie setzen zu elektrischen Strömen in Elektronenstrahlen. Beide Arten von Strömen lassen sich durch Bezugssystemwechsel wegtransformieren.)

Für solche materiellen Impulsströme ergibt jedes beliebige Volumenintegral über die Eulergleichung, dass der Spannungstensor über die geschlossene Oberfläche des gewählten Volumens integriert werden muss, damit der resultierende Impulsstrom einer Änderung des Bewegungszustandes derjenigen Materie entspricht, in die bzw. aus der er strömt.

Unverständlich. Bei einem rein konvektiven Impulsstrom ist der Spannungstensor überall null. Der Impulsstrom entspricht nicht einer Änderung des Bewegungszustandes der strömenden Materie. Die strömende Materie hat Impuls, dieser muss sich aber nicht ändern.

Mathematisch widerspruchsfrei kann selbstverständlich jedes Flächenintegral über den Spannungstensor als „Impulsstrom“ bezeichnet werden. Jede kanonische Transformation zeigt, dass wesentlich abstraktere Auffassungen des Impulses möglich sind. (Was soll hier dieser Satz?) Wie das Beispiel so definierter „Impulsströme“ in statischen Situationen zeigt, entspricht ihnen aber keine Materieströmung.

Richtig.

Damit genügen sie nicht der vom KPK selbst zu Grunde gelegten Auffassung des Impulses als einer dynamischen Eigenschaft der Materie.

Was wird hier dem KPK unterstellt? Was ist denn eine dynamische Eigenschaft? Jedenfalls geht es im KPK fast immer um nicht-konvektive Impulsströme, also solche, bei denen der Spannungstensor von null verschieden ist.

„Impulsströme“, die aus Spannungstensoren hervorgehen, die über beliebige Flächen integriert werden, würde man bei einer konsequenten dynamischen Interpretation des Impulses als (mechanische) Kraftkomponenten bezeichnen, die auf die gewählte Fläche wirken.

Es gibt keine unterschiedlichen Interpretationen des Impulses. Man kann den Spannungstensor als einen Anteil des Impulsstromdichtetensors (den nicht-konvektiven) bezeichnen und die Kraft als die entsprechende Impulsstromstärke – oder man kann es bleiben lassen. Beim KPK haben wir uns für die Impulsstromsprache entschieden.

Ihre Richtung ergibt sich maßgeblich aus der frei wählbaren Orientierung der Fläche, über die integriert wird. Wiederum entsprechen solche Kraftkomponenten nur dann einer Änderung des Bewegungszustands von Materie, wenn sie über die gesamte (geschlossene) Fläche integriert werden, die diese Materie einschließt.

Diese Gegenüberstellung zeigt: Eine Auffassung des Impulses als Kennzeichen bewegter Materie führt zwingend zu geschlossenen Flächenintegralen über Tensoren der Impulsstromdichte bzw. Spannungstensoren.

Nein.

Im Fall der statisch eingespannten Feder lässt sich mit völlig gleichwertigen Argumenten behaupten, der „Impulsstrom“ fließe durch Feder und Joch in eine Richtung, die der vom KPK behaupteten entgegengesetzt ist.

Richtig

Dazu muss nur die zur Integration gewählte Fläche entgegengesetzt orientiert werden.

Nein. Dazu muss die positive Richtung des Impulses anders herum definiert werden.

Da sich sowohl die vom KPK willkürlich ausgezeichnete Richtung des Impulsstroms als auch ihre Gegenrichtung gleichwertig begründen lassen, kann dieser Richtung keine physikalisch messbare Realität entsprechen.

Sobald man die Welt physikalisch, d.h. mit physikalischen Größen beschreibt, muss man Festlegungen über Nullpunkte, Vorzeichen, Richtungen und Bezugssysteme treffen. Die Geschwindigkeit eines Körpers hängt vom Bezugssystem ab, das elektrische Potenzial vom der Festlegung des Nullpunktes. Sobald man ein Koordinatensystem an die Tafel zeichnet und die Achsen orientiert, bricht man eine in der Natur vorliegende Symmetrie. Man würde daraus nicht schließen, dass der Geschwindigkeit „keine physikalisch messbare Realität“ entspricht. Die Geschwindigkeit ist messbar, aber ihr Wert hängt vom Bezugssystem ab. Genau so verhält es sich mit der Richtung des Impulsstroms. Man legt, bevor man an die Beschreibung eines mechanischen Vorgangs geht, ein Koordinatensystem fest. Im Mechanikunterricht benutzt der KPK dieselbe Konvention, die auch im Mathematikunterricht üblich ist: Ein Körper, der sich nach rechts bewegt, hat positiven Impuls.

Dieses Ergebnis spiegelt nur die wohl bekannte Eigenschaft des Spannungstensors wider, dass er im Raum zwar Achsen, aber keine Richtungen auszeichnet.

Der Tensor zeichnet keine Richtung aus, seine kartesischen Komponenten hängen aber von der Wahl des Koordinatensystems, und damit von der Orientierung von x-, y- und z-Achse ab.

Die Komponenten des Tensors können auch in statischen Systemen experimentell nachgewiesen werden. Spannungsoptische Experimente lassen sich leicht im Schulunterricht durchführen, haben aber mit der Physik des Newtonschen Impulses gar nichts zu tun.

Doch. Man beschleunigt einen Körper über einen Plexiglasstab und betrachtet das spannungsoptische Bild des Stabes. Man sieht so den Impulsstrom.

Die Gutachtergruppe unterstreicht mit diesem Papier nochmals die im ursprünglichen Gutachten getätigte Aussage, dass die Verwendung des Impulsstromes im Karlsruher Physikkurs keine physikalisch korrekte Alternative zu Kräften in der Newtonschen Bewegungsgleichung darstellt.

Nicht korrekt? Wo ist der Fehler?

Von: **Friedrich Herrmann** friedrich.herrmann@icloud.com
Betreff: **Karlsruher Physikkurs**
Datum: 12. Dezember 2017 um 09:05
An: heuer@dpg-physik.de
Kopie: **Job Georg** Georg.Job@gmx.de

HF

Sehr geehrter Herr Präsident, lieber Herr Kollege Heuer,

ich wende mich mit einer Bitte an Sie. Ich bin der Autor des *Karlsruher Physikkurses* (KPK) und meine Bitte hat mit dem KPK zu tun.

Ich nehme an, dass Sie von der Affäre vor fünf Jahren etwas mitbekommen haben. Hier noch einmal kurz, was passiert war: Die DPG war auf unser Projekt aufmerksam geworden. Man war der Meinung, dass der KPK physikalische Fehler enthält, man gab eine Stellungnahme in Auftrag und stellte sie ins Internet.

Darauf entbrannte ein ungewöhnlich heftiger und unschöner Streit. Natürlich hätte ich mich gefreut, wenn es eine sachliche Auseinandersetzung über unsere Vorschläge gegeben hätte. Merkwürdigerweise lief es ganz anders.

Dabei wurde erheblicher Schaden angerichtet:

Für alle, die an meinem Projekt beteiligt waren: Unsere bisherigen Erfolge bei der Einführung des KPK an den Schulen wurden zum Teil zunichte gemacht, sehr viele Mitarbeiter an dem Projekt wurden tief enttäuscht, mein Ruf erheblich geschädigt, und es gab finanzielle Schäden für zwei Verlage, einer davon im Ausland.

Für die DPG war es, soweit ich es beurteilen kann, auch nicht gerade ein Ruhmesblatt.

Inzwischen haben sich die Gemüter beruhigt und ich denke, dass man sich dem Thema jetzt mit etwas mehr Nüchternheit zuwenden könnte.

Ich möchte noch eine Bemerkung zum Verhalten der DPG machen: Die Verantwortlichen für den Kurs, d.h. die Kollegen, von denen die von der DPG beanstandeten Ideen ausgingen, sind zu keinem Zeitpunkt in die Diskussion einbezogen worden. Ich meine damit Georg Job, den Autor von zwei Büchern zur physikalischen Chemie, und mich selbst. Wir wurden zu keinem der zahlreichen Treffen eingeladen, und keine unserer Publikationen (in referierten internationalen Zeitschriften) wurde während der Auseinandersetzungen erwähnt.

Ich möchte daher die DPG bitten, nun mit etwas zeitlichem Abstand sich einer ernsthaften Diskussion zu stellen.

Hier mein Vorschlag:

Ich veranstalte (seit mehr als 30 Jahren) an der Uni Karlsruhe (jetzt KIT) jedes Jahr Ende Mai oder Anfang Juni ein zweitägiges *Didaktik-Workshop*. Es werden immer auch auswärtige Referenten eingeladen. Teilnehmer sind vor allem Lehrerinnen und Lehrer, Lehrerausbilder von den Seminaren, einige Hochschullehrer, und einige Vertreter von Fachhochschulen.

Ich würde gern im kommenden Jahr als Thema noch einmal den Unterricht der Wärmelehre aufgreifen, oder genauer: den Umgang mit der Entropie im Unterricht von Schule und Hochschule.

Termin: 1. und 2. Juni 2018

Ort: Fakultät für Physik am KIT

Ich würde das folgende Format vorschlagen:

Wir sehen vier Zeitfenster vor für Vorträge von je etwa einer Stunde. Zwei davon, um den Standpunkt der DPG zu vertreten, zwei für Herrn Job und mich.

Ich möchte Sie also bitten, zu versuchen, zwei Referenten zu finden, die den Standpunkt vertreten, der in der Stellungnahme der DPG zum Ausdruck gebracht wird.

Wahrscheinlich wäre es geschickt, keinen der Kollegen zu bitten, der die Stellungnahme selbst unterschrieben hat. Ich befürchte, das würde die Diskussion polarisieren und den Streit erneut anfachen. Wir würden unsererseits dafür sorgen, dass die Vertretung unserer Ideen nicht den Hitzköpfen überlassen bleibt.

Ich würde mich freuen, wenn Sie Verständnis für mein Anliegen hätten und verbleibe

mit freundlichen Grüßen

Friedrich Herrmann

Prof. Dr. Friedrich Herrmann
Institut für Theoretische Festkörperphysik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
76128 Karlsruhe
f.herrmann@kit.edu
Tel: ##49-721-608-43364
Fax: ##49-721-608-47040
SKYPE: FFHerrmann
<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de>

Herrn Prof. Dr.
Friedrich Herrmann
Institut für Theoretische Festkörperphysik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
D - 76128 Karlsruhe

Kontakt:
Dr. Anja Metzsch
metzsch@dpkg-physik.de
Tel: 02224-9232-34
Fax: 02224-9232-58

Bad Honnef, 10. Januar 2018

Ihre E-Mail vom 12. Dezember 2017

Sehr geehrter Herr Kollege Herrmann,

vielen Dank für Ihre E-Mail vom 12. Dezember 2017 mit der Bitte um Entsendung von zwei Referenten zu einem Didaktik-Workshop im Juni 2018 in Karlsruhe, u.a. zum Thema Karlsruher Physikkurs (KPK).

Im Jahr 2013 veröffentlichte die Deutsche Physikalische Gesellschaft ein Gutachten mit einer Ergänzung, in dem der von Ihnen entwickelte Karlsruher Physikkurs als fachlich in vieler Hinsicht falsches und fachdidaktisch fragwürdiges Konzept erkannt wurde. Darüber hinaus wurde die Anschlussfähigkeit beim Übergang von der Schule zur Hochschule in Frage gestellt. Entsprechend rieten die Gutachter in ihrem Fazit mit Nachdruck davon ab, den Karlsruher Physikkurs in der physikalischen Ausbildung an Schulen zu verwenden. Dieser Schlussfolgerung folgten die Gremien der DPG, insbesondere der Vorstand und der Vorstandsrat. An diesem Fazit des Gutachtens änderte auch die Erklärung der 19 Theoretiker nichts, da die Kernaussagen dieser Erklärung physikalische Inhalte betreffen, die das Gutachten nicht in Frage stellt. Des Weiteren trifft diese Erklärung ausdrücklich keine Aussage zur Anschlussfähigkeit und zur Frage, ob der KPK Fehler enthält.

In den nachfolgenden Diskussionen wurde die DPG von zahlreichen Lehrerinnen und Lehrern sowie auch von zahlreichen Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktikern unterstützt, die den Gutachtern und der DPG ausdrücklich dankten. Im Rahmen dieser Diskussionen wurde auch offenkundig, dass es dem Karlsruher Physikkurs niemals gelungen war, eine Mehrheit der Lehrerinnen und Lehrer von seinen etwaigen Vorteilen zu überzeugen.

Bei mehreren Gelegenheiten haben die Gutachter sich der fachlichen und der fachdidaktischen Diskussion mit Anhängern und Vertretern des KPK gestellt. Leider mussten sie bei allen diesen Gelegenheiten feststellen, dass von Seiten der KPK-Vertreter keinerlei Bereitschaft bestand, sich mit den Argumenten des Gutachtens auseinanderzusetzen. Stattdessen wurden die Gutachter und Vertreter der DPG von Anhängern des KPK teilweise sogar diffamiert.

Prof. Dr. Rolf-Dieter Heuer

Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Hauptstr. 5, 53604 Bad Honnef

Telefon +49 (0)22 24/92 32-0, Telefax +49 (0)22 24/92 32-50

heuer@dpkg-physik.de



Die DPG ist und bleibt offen gegenüber neuen fachdidaktischen Ansätzen und würde insbesondere solche Ansätze begrüßen, die in der Lage wären, moderne Konzepte der Physik zu vermitteln. Aus Sicht der DPG hat sich die Bewertung des KPK in inhaltlicher und fachdidaktischer Hinsicht jedoch in keinsten Weise geändert, das Gutachten und die Ergänzung gelten ohne Einschränkung. Es bleibt dabei, dass die DPG ein Konzept, das fachlich und fachdidaktisch fragwürdig ist und große Teile des Kernbestandes der Physik als Altlasten abkanzelt, nicht unterstützen kann.

Wir können deshalb nicht erkennen, welche neuen Aspekte wir diskutieren könnten und bitten Sie um Verständnis, wenn wir davon absehen, Ihrer Einladung zu folgen.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. Johanna Stachel an die Kultusminister der Länder

Bad Honnef, den x. März 2013

Sehr geehrter Herr Minister/Frau Ministerin,

als Präsidentin der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) wende ich mich an Sie mit einem aus unserer Sicht sehr ernsthaften Anliegen. Es geht um die Verwendung des sogenannten Karlsruher Physikkurses (KPK) [1] im Physikunterricht an Schulen. Der KPK wurde vor über 20 Jahren entwickelt, lokal im Schuleinsatz getestet und in einigen Bundesländern zum Gymnasialunterricht zugelassen. Vor allem in Baden-Württemberg und in Rheinland-Pfalz ist der Karlsruher Physikkurs mittlerweile verbreitet.

Der Vorstand der DPG wurde erstmals Mitte des letzten Jahres durch Hinweise zahlreicher Gymnasiallehrer auf den KPK aufmerksam gemacht und darauf, dass lokal z.T. erheblicher Druck ausgeübt wird, nach diesem Konzept Physik zu unterrichten. Wie wir zudem jetzt nachvollziehen können, gab es von Anfang an eine erhebliche Kontroverse um das Herangehen des KPK, die seitdem nie verstummt ist.

Die DPG, die größte Physikalische Fachgesellschaft der Welt, in der mehr als 62.000 Physikerinnen und Physiker organisiert sind, hat nun eine fachwissenschaftliche Überprüfung der Inhalte des Karlsruher Physikkurses veranlasst. Die Überprüfung basiert auf den Inhalten der *Lehrbücher für die Sekundarstufe 2* (Aulis Verlag, 2010) und wurde von einer Arbeitsgruppe der DPG durchgeführt. Diese Arbeitsgruppe setzt sich aus Universitätsprofessoren und Gymnasiallehrern mit einschlägiger Erfahrung zusammen.

Nach dem Studium des Gutachtens und einer Replik des Autors des KPK, um die ich ihn als Präsidentin der DPG gebeten hatte, schließe ich mich der Meinung der von mir beauftragten Gutachtergruppe an und muss den KPK aufgrund der unten aufgeführten Punkte als ungeeignet für die Physikausbildung bezeichnen. Hierbei stellen wir exemplarisch und nach unserer Überzeugung allgemeingültig fest, dass die theoretischen Grundlagen dieser international ungewöhnlichen Betrachtungsweise der Physik sich nicht so weit vereinfachen lassen, dass sie ohne wissenschaftliche Falschaussagen im Schulunterricht verwendet werden können.

1. Bei dem Versuch, die Physik mit Hilfe des KPK auf wenige übergreifende Konzepte zu reduzieren, um sie damit für die Schüler „eingängiger“ zu machen, müssen nach der Überzeugung der DPG notwendigerweise viele falsche Aussagen auftreten. Dies ist auch der Fall. Exemplarisch werden einige dieser Fehler im angefügten Gutachten detailliert diskutiert.

2. Weiterhin führt der Karlsruher Physikkurs Begriffe, Einheiten und Konzepte ein, die in der üblichen Physik nicht vorkommen oder bereits anders verwendet werden. Diese mangelnde Anschlussfähigkeit führt dazu, dass Schüler, die nach dem Karlsruher Physikkurs unterrichtet wurden, in ihrer weiteren Berufsausbildung in technischen oder naturwissenschaftlichen Fächern Nachteile haben, weil sie sich mit den dort gebräuchlichen Begriffen nicht zurechtfinden. Besonders fatal wird sich jedoch die An-

wendung des KPK im Physikunterricht der Schule für all jene Jugendliche erweisen, die nach dem Schulabschluss in ein Berufsleben wechseln, wo ihr falsches Physikbild nach dem KPK nie mehr korrigiert wird.

3. Der Karlsruher Physikkurs beraubt die Physik ihrer größten Stärke: Einer Beschreibung der Realität, die objektiv und unabhängig von persönlichen Anschauungen ist.

4. Der KPK verstößt eindeutig gegen die Kriterien für Schulbuchwissen, da nicht international anerkanntes Wissen vermittelt wird, sondern lediglich eine Mindermeinung.

Der Karlsruher Physikkurs ist daher ungeeignet für den Schuleinsatz und wird bei weiterer Verbreitung Schaden anrichten. Er gefährdet in erheblichem Maße die Qualität des Physikunterrichts in Deutschland, die für ein Hochtechnologieland unerlässlich ist. Die Deutsche Physikalische Gesellschaft ist deshalb der Ansicht, dass der Karlsruher Physikkurs nicht zur Vermittlung der Physik im Schulunterricht oder als Leitlinie zur Formulierung physikalischer Lehr- oder Bildungspläne eingesetzt werden darf.

Abschließend möchte ich aber nachdrücklich darauf hinweisen, dass der DPG die anschauliche und Begeisterung weckende Vermittlung der Physik in der Schule ein zentrales Anliegen ist. Hier ist ein gemeinsamer Kraftakt von Schulen, Hochschulen und Ministerien gefordert, an dem sich die DPG gern beteiligen wird.

Mit freundlichen Grüßen

Johanna Stachel

[1] Der Name weist darauf hin, dass der KPK von einem jetzt pensionierten Kollegen an der Universität Karlsruhe und Mitarbeitern entwickelt wurde. Allerdings unterstützt die Fakultät für Physik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) den KPK nicht. Keiner der aktiven Professoren der Fakultät für Physik am KIT verwendet den KPK in der Lehre.

Prof. Dr. Johanna Stachel, Präsidentin der DPG

Sehr geehrte Kollegen,

die Deutsche Physikalische Gesellschaft ist vor einiger Zeit auf den Karlsruher Physikkurs (KPK) aufmerksam gemacht worden. Der KPK wird vor allem in Baden-Württemberg und in Rheinland-Pfalz zunehmend im schulischen Physikunterricht eingesetzt und auch aggressiv bei den Physiklehrern propagiert; er verfolgt in mehrfacher Hinsicht Ansätze, die als zumindest „unkonventionell“ auffallen.

Die DPG hat bei ausgewiesenen Experten ein Gutachten zum KPK in Auftrag gegeben. Ergebnis des Gutachtens ist, dass der KPK als Grundlage eines physikalischen Unterrichts ebenso ungeeignet ist wie als Leitlinie zur Formulierung physikalischer Lehr- oder Bildungspläne. Die DPG ist mit den Entwicklern des KPK in Kontakt und hat diese zu einer Stellungnahme aufgefordert. Nachdem diese Stellungnahme nun eingetroffen ist, wird die DPG auf Grundlage dieser Stellungnahme und den Ausführungen der Gutachter ihr weiteres Vorgehen planen.

Sie an den Fakultäten möchten wir schon über das Gutachten informieren

(http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/stellungnahmen_gutachter/index.html),

da es sein kann, dass Sie von verschiedener Seite zum Thema angefragt werden könnten. Ich möchte Sie zugleich bitten, nicht eigenständig aktiv zu werden, damit die Maßnahmen der DPG auf politischer Ebene und in der Öffentlichkeitsarbeit konzentrierter folgen können.

Mit freundlichen Grüßen Prof. Johanna Stachel

The Karlsruhe Physics Course (KPK)

Information and Request
from the German Physical Society (DPG)
to Members of EPS Council

Karlheinz Meier (DPG Delegate to EPS Council)

Strasbourg, 5.4.2013

KPK : Historical Background

- Concept for physics teaching at schools driven by didactic principles :
 - Analogies between different areas of physics
 - Differences between *intensive quantities* drive currents of *substance like quantities*
 - Examples : Momentum currents, entropy currents, charge currents
- Developed by F. Herrmann et al. at the former *Institute for Didactics of Physics* at Karlsruhe University (now KIT) since the late 1970s
- Substantial political work to instantiate the KPK at schools during the 1980s
- 1988 – 1992 : Government approved trial phase at approx. 20 schools in the German State of Baden-Württemberg (BW)
- 2004 : KPK textbooks approved in BW for official school use
- Course spreads into other German States and other countries (e.g. China), translations in many languages available
- 2012: First secondary school exams (Abitur) based on KPK teaching in BW
- Reports about discrimination of young physics teachers when using the traditional physics approach (non-availability of traditional teaching support materials)
- Increasing number of complaints about KPK expressed from involved teachers to university professors (style of introduction and content)

February 2013 / April 2013

Publication of an **expert opinion** based on a study commissioned by DPG and performed by a group of 13 experimental / theoretical physicists from German universities and schools (Bartelmann, Bühler, Großmann, Herzog, Hübner, Lehn, Löhken, Meier, Meschede, Reineker, Tolan, Wambach, Weber).

Expert opinion (in German) available on DPG website, sent to German physics departments and ministries of education

http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/stellungnahmen_gutachter/Stellungnahme_KPK.pdf

Conclusion from expert opinion (translated)

The KPK does neither qualify as a basis for teaching nor as a reference for education and teaching guidelines in physics. We recommend that the German Physical Society (DPG) ensures with particular emphasis that the KPK will not be used in Physics teaching.

Some major Problems of the KPK as identified in the DPG Study

- Incorrect transfer of the momentum flow concept from field theory to classical mechanics
- Renunciation of Newtons Laws (concept of inertia, inertial frames of reference)
- Equalisation of entropy and heat
- Incorrect use of entropy, inability to explain simple processes like the expansion of a gas at constant T or the mixing of substances
- Introduction of magnetic charges in analogy to electric charges
- Introduction of the vacuum as a carrier for electromagnetic waves
- Ad-hoc introduction of new physical units outside approved SI standards
 - Huygens (Hy) for Momentum Current
 - Carnot (Ct) for Entropy
 - Weber (Wb) for „Magnetic Charge“ (already in use for Magnetic Flux $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$)

ESSENTIAL : The DPG study does not question the fundamentally important right of all physicists to develop our science based on new insights. It rather points to obvious mistakes and inconsistencies in the KPK. It underlines the essential fact, that Physics cannot be altered for the sake of didactics.

The term „Altlast“ came into being in the early 1990s to describe a phenomenon that showed up after the breakdown of the communist regime in East Germany. The rotten and hazardous industrial plants and other infrastructure remnants that are not only useless, but also necessitate large investments for their rehabilitation, are called „Altlasten“.

In physics there are such infrastructure remnants from the historical development of the subject. We hope that by identifying them, we can begin to make the investment towards fixing them. We have chosen the title „Historical Burdens of Physics“: Like the hazardous sites of East Germany, these concepts once served a purpose, but now they must be cleaned up before further gains can be made.

F. Herrmann, Proceedings of the GIREP Conference on Modeling in Physics and Physics Education, August 20 – 25, 2006, Amsterdam, Netherlands

Petition to EPS Council Members

Please contact me or the DPG office if you notice that KPK based teaching is used at your schools or universities. DPG will supply you with the necessary arguments and materials to counteract this development which is damaging to the reputation of our field and to the necessary improvement of Physics teaching at all school levels

8. April 2013

Prof. Dr. John Dudley, Präsident der Europäischen Physikalischen Gesellschaft
*an Vertreter der nationalen physikalischen Gesellschaften in
Italien, Niederlande, Serbien, Ungarn, Spanien, England, Frankreich, Schweiz,
Deutschland, Griechenland:*

Dear All

The purpose of this message is to follow-up on the discussion at Council on the Karlsruhe Physics Course (KPK) which was brought to our attention by the DPG.

The KPK has been developed over a number of years with a view to making physics more accessible, but its content has come under serious scrutiny because it is being widely promoted as a “preferred” way to teach physics and indeed some teachers are being actively directed to teach in this way instead of following more traditional approaches.

However, the DPG has identified a number of very serious problems with the KPK such as misrepresentations of basic concepts, and they published a statement in February 2013 critical of the KPK and discouraging its use.

Please note that the DPG did not ask EPS for endorsement of their position but, during discussions, there was broad agreement that if EPS looked independently at the KPK and agreed with the DPG position, then it could be appropriate to issue either a statement of support, or perhaps a more general statement on the role of learned societies in providing oversight of national educational programmes, textbooks etc.

But the first thing of course is to check the material. I have already asked the Physics Education Division of EPS for their help and they have agreed. In addition, if you have the time, I would appreciate your personal and/or collective opinions on the KPK. This will be of great help in deciding if/how we formulate a statement on the subject.

The relevant links to all the material are given below and attached; the core material is available in multiple languages, and I also attach the DPG report in German, as well as a word file that can be used together with <http://translate.google.com/> if you wish. But perhaps the best approach is if you can find some time to quickly review a small selection of the original course material and see what you think.

If possible I wonder if I could ask for some reactions within the next two weeks. This will ensure that we can make a timely response if needed.

Best regards

John

**KPK PHYSICS WEBSITE WITH FILES FOR DOWNLOAD (German and English,
many other languages)**

<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index.html>

http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index_en.html

http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/pub_fremdsprachen/englisch.html

WIKIPEDIA ENTRY (German)

http://de.wikipedia.org/wiki/Karlsruher_Physikkurs

DPG REPORTS

I attach the PDF as well as a word file I have converted. If one does not read German, paragraphs can be translated at <http://translate.google.com/> if you wish.

Korrespondenz mit dem Präsidenten der Europäischen Physikalischen Gesellschaft
Prof. Dr. John Dudley

In chronologischer Reihenfolge; E-Mail-Texte eingerückt

4. November 2013

M. le Professeur
John M. Dudley
Département d'Optique
Institut FEMTO-ST
Université de Franche-Comté
16 Route de Gray 25000
Besançon, France

Dear Professor Dudley, dear Colleague,

I address to you with a request related to the controversy about the Karlsruhe Physics Course (KPK). I am the author of the KPK and thus the person which is most strongly affected by the initiative of the German Physical Society (DPG), about which you are informed.

First my questions: Does there exist any resolution or statement of the EPS on this subject? Does the EPS support the DPG initiative?

Let me briefly explain the reason for my request.

Due to the DPG initiative a problem has arisen, which is related to an important international project. Among several other measures the President of the DPG had sent a letter to the Chinese Physical Society (CPS), in which she insistently warns against the KPK, and in which she claims that the KPK contains "substantial errors". I attach a copy of her letter to this email.

The reason why she wrote this letter is that I am running a project in Shanghai since 2007. The KPK has been translated into Chinese. It was tested in China at several elite schools. The teachers involved have been coached by us in many training seminars. Their teaching was evaluated. The results have been reported in several symposia. A great number of Chinese teachers have visited German schools.

Upon successful completion of the testing our Chinese publisher (Shanghai Educational Publishing House) commissioned a new textbook, written by Chinese authors that presents the KPK ideas in such a way that there would be a chance for the new book to be admitted as an official school book.

The new book was just presented to the certification commission when the letter from the President of the DPG to the CPS arrived. The CPS has notified the certification commission and the publisher. As a consequence the authorization procedure has been discontinued. It had been planned that I should introduce the book last summer at the International Book Fair in Shanghai. My lecture was canceled.

The failure of the project in China has consequences not only for myself. A large number of Chinese scientists and teachers are also affected and deeply disappointed.

In the meantime I had the opportunity to talk with a representative of the CPS. He told me that the CPS will give the go-ahead to the project only when a letter or a notice would come from the DPG, in which the warning against the KPK is withdrawn. According to our experience about the behavior of the DPG in the previous months such a withdrawal will not occur.

I have heard that the EPS has dealt with the affair, but I know nothing about the outcome of any such discussion.

If the EPS does not join the opinion of the DPG and if the EPS does not approve the activities of the DPG against the KPK project, this would be an argument, that might encourage our Chinese colleagues to continue the project. Therefore again my questions:

Does there exist any resolution or statement of the EPS on the KPK - DPG contention? Does the EPS support the DPG initiative?

Since the question is urgent, I would be happy to get your answer rather soon.

Sincerely yours

Friedrich Herrmann

PS

I suppose that you are informed about the request of more than 20 professors of Theoretical Physics to withdraw the report against the KPK immediately

4. November 2013

Dear Dr. Hermann,

Thank you for your query.

The EPS has not published an official position on the Karlsruhe Physics Course (KPK). Nonetheless, we did commission an independent review of the KPK, which is in broad agreement with the position of the DPG. The EPS Executive Committee has expressed its support to the DPG for its handling of the matter.

I hope that this answers your questions.

Best regards

John

4. November 2013

Dear Dr. Dudley,

thank you for your quick response. I am surprised to learn that a review has been commissioned by the EPS, since I did not get any copy of it up to now. I take it for granted that, as the originator of the dispute, I should be the main addressee of such a review. I think that it would be good scientific practice to publish the review and to make the names of the reviewers known. So, I want to ask you to send me the text of the review.

Best regards

Friedrich Herrmann

Prof. Dudley hat auf diese E-Mail nicht mehr geantwortet.

An die Mitglieder des Vorstandes
der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.
Hauptstraße 5
53604 Bad Honnef

im Juni 2013

- Karlsruher Physikkurs
- Änderung der Ausführungsbestimmungen zur Satzung der DPG

Sehr geehrte Präsidentin, sehr geehrte Damen und Herren,

die Unterzeichnenden des vorliegenden Schreibens sind (zum allergrößten Teil) Mitglieder der DPG und haben sich in den vergangenen Wochen ein umfassendes und differenziertes Bild von der Kontroverse um den Karlsruher Physikkurs (KPK) gemacht. Gemeinsamer Kern der Einschätzungen der Unterzeichnenden ist eine entschiedene Distanzierung von der Vorgehensweise des Vorstandes an mehreren Stellen im bisherigen Gesamtprozess und zwar unabhängig davon, wie man in fachlicher und fachdidaktischer Hinsicht zum Konzept des KPK steht. Insbesondere widerspricht das Vorgehen des Vorstands gegen die Autoren des KPK nach Auffassung der Unterzeichnenden den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis.

Unseres Erachtens wurden weder die vom Gutachten Betroffenen noch in ausreichendem Umfang unabhängige Fachleute in die Diskussion einbezogen. Dies widerspricht in unseren Augen der Satzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG). Diese Satzung formuliert:

„(2) Die DPG verpflichtet sich und ihre Mitglieder, für Freiheit, Toleranz, Wahrhaftigkeit und Würde in der Wissenschaft einzutreten und sich dessen bewusst zu sein, dass die in der Wissenschaft Tätigen für die Gestaltung des gesamten menschlichen Lebens in besonders hohem Maße verantwortlich sind.“

„(3) Den in Absatz (1) und (2) beschriebenen Gesellschaftszweck sucht die DPG insbesondere zu erreichen durch: (...) c. Förderung und Pflege des wissenschaftlichen Informations- und Meinungsaustausches aller auf dem Gebiet der Physik tätigen und an der Physik interessierten Personen, (...)“.

Diese in der Satzung formulierten Grundsätze zum Informations- und Meinungsaustausch müssen auch und in besonderem Maße für das Handeln innerhalb der Gremien der DPG Anwendung finden. Wir sind der Ansicht, dass dies im Vorfeld der Entstehung des Gutachtens zum KPK nicht in ausreichendem Umfang geschehen ist.

- So wäre unseres Erachtens der Einbezug weiterer Personen in die Vorbereitung des Verfahrens notwendig gewesen und zwar insbesondere auch solcher, die dem Verfahren kritisch gegenüberstehen.
- Weiter wäre die Hinzunahme weiterer Personen bei der Erarbeitung des Gutachtens selbst erforderlich gewesen und zwar solcher, die den gesamten Sachverhalt über rein fachwissenschaftliche oder als rein fachwissenschaftlich bezeichnete Argumente hinaus hätten beurteilen können.
- Es hätte vermieden werden müssen, dass Vorstandsmitglieder und auch einer der Ombudsleute der DPG selbst zugleich Gutachter sind.

- Schließlich wäre eine ausführliche Diskussion mit den durch das Gutachten direkt Betroffenen vor dessen Veröffentlichung notwendig gewesen.

Diese Maßnahmen hätten die jetzt öffentlich ausgetragene Diskussion in einem angemessenen Rahmen halten können und hätten die DPG vor Schaden bewahrt, der in der Folge dieser Diskussion entstanden ist. Aus heutiger Sicht wäre es darüber hinaus grundsätzlich sinnvoll, wenn der Vorstandsrat ein Gutachten nicht vorab, d.h. vor seiner Fertigstellung legitimierte.

Wir beantragen aus diesem Grunde, die „Ausführungsbestimmungen zur Satzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V.“ wie folgt zu ändern:

Unter Punkt „Zu § 21. Aufgaben und Befugnisse des Vorstandsrats“ wird vor „Absatz 2d“ eingefügt:

„Absatz 2c.

In den Fällen, in denen mindestens fünf anwesende Mitglieder des Vorstandsrats dies wünschen, stimmt der Vorstandsrat darüber ab, ob vor einer Beauftragung einer Empfehlung oder einer Stellungnahme ein diskursives Verfahren zu eröffnen ist. Dieses besteht darin, dass vor einer Beschlussfassung zur Abgabe einer Empfehlung oder einer Stellungnahme Vertreterinnen und Vertreter aller relevanten zu erwartenden Positionen und Expertinnen und Experten angehört, diese Positionen dokumentiert und zur Entscheidungsfindung veröffentlicht werden.

In den Fällen, in denen ein Beschluss des Vorstandsrats zur Abgabe einer Empfehlung oder einer Stellungnahme nicht rechtzeitig gefasst werden kann, muss der Vorstand vor einer Veröffentlichung mit den Vorsitzenden der Gruppierungen der DPG, die das betreffende Thema inhaltlich vertreten, Einvernehmen herstellen.“

Wir bitten den Vorstand, diesen Beschlussvorschlag dem Vorstandsrat gemäß § 31 der Satzung der DPG vorzulegen.

Zur weiteren Begründung dieses Anliegens erlauben wir uns eine kurze Darstellung des Hintergrundes:

In der Sitzung des Vorstandsrates im Herbst 2012 wird über ein Gutachten zum Einsatz des KPK im Physikunterricht diskutiert. Zu diesem Zeitpunkt existiert bereits eine Arbeitsgruppe, die vom Einsatz des KPK aufgrund fachlicher Fehler des Kurses abrät. Der Vorstandsrat stimmt dem Vorhaben und vorab einem den KPK ablehnenden Gutachten zu. Zu diesem Zeitpunkt sind die genaue Begründung und der Wortlaut des Gutachtens nicht bekannt. Das Gutachten wird im Februar 2013 veröffentlicht. Nur kurz zuvor werden die Autoren des KPK hierüber in Kenntnis gesetzt. Das Gutachten wird wenige Tage vor der Sitzung des Vorstandsrates im März 2013 an die Kultusministerien der Länder verschickt.

Die Unterzeichnerinnen und Unterzeichner sind der Ansicht, dass stattdessen ein Verfahren, das unterschiedliche Positionen zu einem bestimmten Sachverhalt ernst nimmt, sinnvoll gewesen wäre. Zur Sache selbst:

- Wir sind der Ansicht, dass erfolgreicher Physikunterricht eine Vielfalt von Konzepten und Methoden voraussetzt. Die wesentliche Begründung für die Ausbildung der Physiklehrkräfte an wissenschaftlichen Hochschulen ist darin zu sehen, dass diese befähigt werden, Inhalte, Konzepte und Methoden eigenständig und reflektiert zu beurteilen und auszuwählen. Demnach kann eine Stellungnahme zu

einem Unterrichtskonzept hilfreich sein, wenn sie Argumente für die eigene Beurteilung durch die Lehrkraft liefert, diese aber nie ersetzen.

- Schulübliche Darstellungsweisen der Physik unterliegen grundsätzlich einem Spannungsverhältnis zwischen dem fachlich erwünschten und dem tatsächlich in der Schule erreichbaren Niveau. Lehrkräfte müssen in der Lage sein, gut begründete Kompromisse einzugehen, um dieses Spannungsverhältnis zugunsten tragfähiger Elementarisierungen aufzulösen. Auch dieser Entscheidungsprozess kann durch eine Stellungnahme unterstützt, aber nicht ersetzt werden. Im vorliegenden Fall sieht sich das Gutachten darüberhinaus dem Vorwurf ausgesetzt, die Einschätzung der fachlichen Richtigkeit fehlerhaft vorgenommen zu haben.
- Die Argumentation in einem Gutachten muss die Kerngesichtspunkte des zu begutachtenden Sachverhalts benennen, sie mit der passenden Argumentation betrachten und diese Betrachtung richtig einordnen. Im vorliegenden Gutachten ist diese Einordnung in auffälligem Maße nicht gelungen: Es wird bezüglich eines Unterrichtskonzepts mit seiner Wirkung auf Schülerinnen und Schüler argumentiert, und dieses Verfahren wird als eine Überprüfung der fachlichen Richtigkeit dargestellt. Stattdessen handelt es sich um die Beurteilung einer fachdidaktischen Fragestellung. Diese eklatante Fehleinschätzung zeigt, dass für eine Begutachtung für jeden Teilsachverhalt Expertinnen und Experten herangezogen werden müssen. In diesem Fall sind Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker die Fachleute, die wesentlich für die Ausbildung der Lehrkräfte verantwortlich sind. Ihr Rat darf in Fragen, die den Physikunterricht betreffen, genauso wenig umgangen werden wie der anderer Fachleute in physikalischen Fragen. Das gilt auch und gerade dann, wenn dadurch die Einhelligkeit des Begutachtungsergebnisses gefährdet erscheint.
- Die Notwendigkeit des Einbezugs von Expertinnen und Experten gilt für alle Fragen: So hätten etwa andere Fachleute schon im Vorfeld manche fachliche Einschätzung – etwa im Falle des Gebrauchs des Begriffs der magnetischen Ladung – relativieren können.
- Um zu vermeiden, dass ein solches Gutachten in der Öffentlichkeit diskutiert und Vertreter einer gegensätzlichen Auffassung beschädigt werden, ist die intensive Diskussion mit den Betroffenen bereits zu einem frühen Zeitpunkt zu suchen.

Die Unterzeichnerinnen und Unterzeichner machen sich mit diesem Schreiben für eine auch für kritische Diskussionen offene DPG stark. Sie erwarten, dass sich die DPG ihrer wichtigen gesellschaftlichen Funktion bewusst ist und diese mit Verantwortung erfüllt. Sie sehen den Vorstand in der Aufgabe, die Expertise, die durch die Vielfalt der Fachverbände zur Anerkennung der DPG beiträgt, wahrzunehmen und zu nutzen. In Fragen des Physikunterrichts und der Ausbildung von Lehrkräften sind hierbei die Mitglieder des Fachverbands Didaktik der Physik und der AG Schule – Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker an Hochschulen und Physiklehrkräfte – an erster Stelle zu sehen.

(Unterzeichnerinnen und Unterzeichner der beigefügten Liste)

i. A. Roger Erb

Anfragen und Antworten bitte an: Prof. Dr. Roger Erb, Goethe-Universität Frankfurt,
Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt

Unterzeichnerinnen und Unterzeichner des Schreibens zum „Karlsruher Physikkurs - Änderung der Ausführungsbestimmungen zur Satzung der DPG“ vom Juni 2013

Prof. Dr.	Claudia von Aufschnaiter	Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Didaktik der Physik	Karl-Glöckner-Str. 21 c 35394 Gießen
Prof. i. R. Dr.	Udo Backhaus	Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Physik	Campus Essen, Didaktik der Physik, 45117 Essen
Prof. Dr.	Ralph von Baltz	Karlsruher Institut für Technologie, Campus Süd	Kaiserstraße 12 76131 Karlsruhe
Prof. Dr.	Siegfried Bauer	Johannes Kepler Universität Linz, Physik weicher Materie (ehem. DPG-Mitglied)	Altenbergerstrasse 69 A-4040 Linz
Prof. Dr.	Roland Berger	Didaktik der Physik, Universität Osnabrück	Barbarastraße 7, 49076 Osnabrück
Dr.	Franz Boczianowski	Didaktik der Physik, Humboldt-Universität zu Berlin	Newtonstr. 15, 12489 Berlin
	Martin Draude	Universität Kassel, Didaktik der Physik	Heinrich-Plett-Str. 40, 34132 Kassel
Prof. Dr.	Roger Erb	Institut für Didaktik der Physik, Goethe Universität Frankfurt	Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
	Klaus Fischer	Bertolt-Brecht-Schule	Hirschstr. 9, 64291 Darmstadt
Prof. Dr.	Hans Ernst Fischer	Universität Duisburg-Essen, Fakultät Physik	Schützenbahn 70, 45127 Essen
Prof. Dr.	Helmut Fischler	Freie Universität Berlin, Fachbereich Physik	Arnimallee 14 14195 Berlin
Prof. em. Dr.	Lothar Fritsche	Institut für Theoretische Physik, Technischen Universität Clausthal	Leibnizstrasse 10, 38678 Clausthal-Zellerfeld
	Kathrin Göbel	Institut für Angewandte Physik, Goethe-Universität Frankfurt	Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
Prof. Dr.	Johannes Grebe-Ellis	Bergische Universität Wuppertal	Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal
M. Ed.	Joachim Haupt	Freie Universität Berlin	Kaiserswerther Str. 16-18 14195 Berlin
Dr.	Holger Hauptmann	Europa-Gymnasium	Forstrstr. 1, 76744 Wörth
Prof. Dr.	Peter Heering	Abteilung für Physik und ihre Didaktik und Geschichte, Universität Flensburg	Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg
StD	Wolfgang Heuper	Fachleiter für Physik am Staatl. Studien-seminar für Gymn. (kein DPG Mitglied)	Emil-Schüller-Str. 12 56068 Koblenz
Prof. Dr.	Stefan Heusler	Westfälische Wilhelms-Universität Münster	Wilhelm-Klemm Str. 10, 48149 Münster
Prof. Dr.	Dietmar Höttecke	Fakultät EPB, Universität Hamburg	Von-Melle-Park 8, 20146 Hamburg
Prof. Dr.	Heinz Kalt	Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Physik	Wolfgang-Gaede-Str. 1, 76131 Karlsruhe
Prof. Dr.	Lutz Kasper	Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Abteilung Physik	Oberbettringer Str. 200, 73525 Schwäbisch Gmünd
	Jan-Henrik Kechel	Didaktik der Physik, Universität Kassel	Heinrich-Plett-Str. 40, 34132 Kassel

Dr.	Reiner Kienle	Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Heilbronn	John-F.-Kennedy-Str. 14/1, 74074 Heilbronn
StD	Christian Koch	Studienseminar für Gymnasium Heppenheim	Drususstr. 9, 64625 Bensheim
Prof. Dr.	Michael Komorek	Institut für Physik, Universität Oldenburg	Carl von Ossietzky Str. 9-11, 26111 Oldenburg
Dr.	Friederike Korneck	Institut für Didaktik der Physik, Goethe Universität Frankfurt	Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
Dr.	Heiko Krabbe	Universität Duisburg-Essen, Didaktik der Physik	Schützenbahn 70, 45127 Essen
Prof. Dr.	Jochen Kuhn	Universität Kaiserslautern	Erwin-Schrödinger-Str. 46 67663 Kaiserslautern
Prof. Dr.	Matthias Laukenmann	Abteilung Physik und ihre Didaktik, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg	Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
Prof. Dr.	Susanne Metzger	Päd. Hochschule Zürich, Zentrum für Didaktik der Naturwissenschaften	Lagerstr. 2, 8090 Zürich
Prof. Dr.	Jan-Peter Meyn	Friedrich-Alexander-Universität, Physikalisches Institut	Staudtstr. 7, 91052 Erlangen
	Marc Müller	Humboldt-Universität zu Berlin, Didaktik der Physik	Newtonstr. 15, 12489 Berlin
Prof. Dr.	Volkhard Nordmeier	Freie Universität Berlin, Physik	Arnimallee 14, 14195 Berlin
Dr.	Hannes Pahlke	Altes Kurfürstliches Gymnasium	Wilhelmstrasse 62-64, 64625 Bensheim
Dr.	Oliver Passon	Bergische Universität Wuppertal	Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal
	Rudolf Pausenberger	Gymnasium Lauf, Fachgruppenleiter Physik im bpv in Mittelfranken	Lisztstr. 5, 91207 Lauf
Prof. Dr.	Gesche Pospiech	TU Dresden, Fachrichtung Physik, Didaktik der Physik	Zellescher Weg 20, 01069 Dresden
Prof. Dr.	Burkhard Priemer	Humboldt-Universität zu Berlin	Newtonstr. 15, 12489 Berlin
Prof. Dr.	Thorid Rabe	Universität Potsdam, Institut für Didaktik der Physik und Astronomie	Karl-Liebnecht-Str. 24/25, 14476 Potsdam
M. Ed.	Daniel Rehfeldt	FU Berlin, Didaktik der Physik	Arnimallee 14, 14195 Berlin
Prof. Dr.	Rene Reifarth	Goethe Universität Frankfurt, Institut für Angewandte Physik	Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
Priv.-Doz. Dr.	Heidi Reinholz	Universität Rostock, Institut für Physik, Didaktik der Physik	Universitätsplatz 3 18051 Rostock
Dr.	Falk Riess	Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, Institut für Physik	Postfach 2503 26111 Oldenburg
Prof. Dr.	Karsten Rincke	Didaktik der Physik, Universität Regensburg	Universitätsstr. 31, 93053 Regensburg
StD	Henrik Roes	Staatliches Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien	Geiselstr. 1, 67346 Speyer
	Martin Salm	Werner-Heisenberg-Gymnasium Bad Dürkheim (kein DPG Mitglied)	Kanalstr. 19, 67098 Bad Dürkheim
	Hannes Sander	Universität Hamburg, Fakultät EPB, Physik- didaktik	Binderstr. 34, Raum 22, 20146 Hamburg

Prof. Dr. rer.	Horst	Schecker	Universität Bremen, FB 1 Physik, Institut für Didaktik der Physik der Naturwiss.	Otto-Hahn-Allee 1, 28334 Bremen
Prof. Dr.	Elke	Scheer	Universität Konstanz, FB Physik	Universitätsstr. 10, 78464 Konstanz
Prof. Dr.	Lutz-Helmut	Schön	Humboldt-Universität zu Berlin	Newtonstr. 15, 12489 Berlin
OStR	Klaus G.	Schröder	Internatsschule Schloss Hansenberg	Willy-Borngässer-Str. 7, 65197 Wiesbaden
Dr.	Michael	Sinzinger	Goethe-Gymnasium Regensburg	Goethestr. 1, 93049 Regensburg
Prof. Dr.	Wilfried	Sommer	Alanus Hochschule für Kunst und Gesellschaft	Villestr. 3, 53347 Alfter
Prof. Dr.	Erich	Staraushek	Physik und ihre Didaktik, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg	Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
M. Ed	Philipp	Straube	Freie Universität Berlin, FB Physik, Didaktik der Physik	Arnimallee 14, 14195 Berlin
Prof. Dr.	Christoph	Strunk	Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Uni Regensburg	Universitätsstrasse 31 93040 Regensburg
Prof. Dr.	Heike	Theyssen	Universität Duisburg-Essen	Universitätsstr. 2, 45117 Essen
	Nico	Westphal	Didaktik der Physik, Humboldt-Universität zu Berlin	Newtonstr. 15, 12489 Berlin
Prof. Dr.	Thomas	Wilhelm	Institut für Didaktik der Physik, Goethe Universität Frankfurt	Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
	Jan	Winkelmann	Institut für Didaktik der Physik, Goethe Universität Frankfurt	Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
Prof. Dr.	Rita	Wodzinski	Didaktik der Physik, Universität Kassel	Heinrich-Plett-Str. 40, 34132 Kassel
Prof. Dr.	Wulf	Wulfhekel	Karlsruhe Institut für Technologie	Kaiserstraße 12 76131 Karlsruhe
Prof. Dr.	Josef	Zweck	Universität Regensburg, Fakultät für Physik	Universitätsstrasse 31, 93040 Regensburg

**Professoren der Theoretischen Physik fordern Rücknahme der
Empfehlung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft gegen die Verwendung des
Karlsruher Physikkurses an Schulen**

Die Unterzeichner der nachstehenden Erklärung:

- sind allesamt Professoren der Theoretischen Physik. Sie haben jahrelang in Deutschland, im europäischen Ausland und/oder in Übersee als theoretische Physiker in der Forschung gearbeitet und Vorlesungen in Theoretischer Physik gehalten.
- halten sich für ausreichend kompetent, um die in der vom Vorstand der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) in Auftrag gegebenen gutachterlichen Stellungnahme (im Folgenden mit Gutachten bezeichnet) aufgeführten fachlichen Kritikpunkte gegen den Karlsruher Physikkurs (KPK) zu verstehen und zu bewerten. Insbesondere fühlen sie sich auch von den Erläuterungen, Ergänzungen und Herleitungen für Fachkollegen (im Folgenden mit Ergänzungen bezeichnet) als Fachkollegen angesprochen.
- sind allesamt Mitglieder der DPG, in deren Namen der DPG-Vorstand die Empfehlung gegen die Verwendung des KPK (im Folgenden mit Empfehlung bezeichnet) ausgesprochen hat.
- sind weder erklärte Befürworter noch erklärte Gegner des KPK. Sie lehnen eine solche Kategorisierung, die für eine naturwissenschaftliche Disziplin unangebracht ist, grundsätzlich ab.

Abgrenzung:

Die nachfolgende Erklärung macht keine Aussage darüber, ob die im KPK behandelten Konzepte gegenüber anderen Konzepten vorteilhaft oder nachteilhaft in der täglichen Arbeit des theoretischen Physikers oder in der Ausbildung von Studierenden oder Schülern sind. Sie macht weiterhin keine Aussage über die Anschlussfähigkeit des KPK. Außerdem macht diese Erklärung keine Aussage darüber, ob der KPK Fehler enthält. Stattdessen bezieht sie sich ausschließlich auf die im Gutachten und den Ergänzungen formulierte inhaltliche und fachliche Kritik am KPK.

Erklärung:

Die Unterzeichner erklären, dass sie die im Gutachten und den Ergänzungen formulierte inhaltliche und fachliche Kritik *nicht* nachvollziehen können. Sie halten die aufgeführten Beispiele, die laut Empfehlung belegen, dass der KPK zu „experimentell nachweisbar falschen Aussagen“ führe, für *nicht* stichhaltig. Deshalb distanzieren sie sich ausdrücklich von der im Namen der DPG-Mitglieder ausgegebenen Empfehlung des DPG-Vorstands. Sie fordern den DPG-Vorstand auf, die Empfehlung mit sofortiger Wirkung zurückzuziehen.

Ergänzende Bemerkungen:

Ein zentrales Argument des Gutachtens ist, dass die im KPK eingeführten Impulsströme unphysikalisch seien. So wird im Gutachten und in den Erläuterungen wiederholt behauptet, dass in statischen Situationen in gespannten Federn keine Impulsströme fließen. Diese Aussage ist falsch. In den Erläuterungen wird sogar behauptet, dass ein endlicher Impulsstrom in statischen Situationen die lokale Impulserhaltung verletze. Auch diese Aussage ist falsch. Damit beruhen wesentliche Teile des Gutachtens auf einer falschen Grundlage.

Hierzu eine kurze Erläuterung: Mit Verweis auf die Kontinuitätsgleichung der Kontinuumsmechanik in ihrer integralen Formulierung argumentieren die Gutachter, dass der korrekte Impulsstrom nur durch Integration über geschlossene Flächen zu berechnen, und die Verwendung offener Flächen unzulässig sei. Besagte Kontinuitätsgleichung hat jedoch auch eine lokale Formulierung; sie entspricht dem lokalen Impulserhaltungssatz, und dieser lässt sich über beliebige Flächen, auch offene, integrieren. Der lokale Impulserhaltungssatz garantiert, dass Impuls lokal nicht erzeugt werden kann, sondern nur durch Ströme geändert wird. Der Tensor der zugehörigen Impulsstromdichte kann mit dem Negativen des Spannungstensors identifiziert werden. Um die Stärke eines Stromes durch eine gegebene (offene, gerichtete) Fläche zu erhalten, muss man die Stromdichte über diese (offene, gerichtete) Fläche integrieren. Führt man diese Vorschrift für Impulsstromdichten aus, erhält man die Stärke der im KPK diskutierten Impulsströme (dort wird jeweils eine von drei Komponenten des Impulses diskutiert). Insbesondere fließt durch *jede* gespannte Feder ein Impulsstrom, auch in statischen Situationen. Die lokale Impulserhaltung wird dabei *nicht* verletzt: die zeitliche Konstanz der Dichte einer Erhaltungsgröße erfordert ja *nicht*, dass der zugehörige Strom verschwindet, sondern *nur*, dass er keine Quellen und Senken besitzt. Impulsstromdichten und Impulsströme sind ein wesentlicher und unverzichtbarer Bestandteil des Gebäudes der Physik.

Die Fehler in den Argumenten des Gutachtens und der Erläuterungen, die diesen Tatsachen widersprechen, wurden bereits an anderer Stelle umfassend dargestellt, z.B. in einer Erörterung der Kollegen Christoph Strunk und Karsten Rincke (siehe http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/strunk/docs/stellungnahme_online_strunk_rincke.pdf).

Gezeichnet:

Prof. Dr. Wolfgang Belzig

Universität Konstanz, Professor für Theoretische Festkörperphysik

Prof. Dr. Kurt Busch

Humboldt-Universität zu Berlin, Professor für Theoretische Optik

Prof. Dr. Reinhold Egger

Heinrich-Heine Universität Düsseldorf, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Lothar Fritsche

TU Clausthal, Professor (em.) für Theoretische Physik

Prof. Dr. Bernd Kniehl

Universität Hamburg, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Jürgen König

Universität Duisburg-Essen, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Wolfgang Nolting

Humboldt-Universität zu Berlin, Professor für Theoretische Festkörperphysik

Prof. Dr. Achim Rosch

Universität zu Köln, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Jörg Schmalian

Karlsruher Institut für Technologie, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Herbert Schoeller

RWTH Aachen, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Gerd Schön

Karlsruher Institut für Physik, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Jens Siewert

IKERBASQUE Bilbao, Ikerbasque Research Professor

Prof. Dr. Jan von Delft

LMU München, Professor für Theoretische Festkörperphysik

Prof. Dr. Frank Wilhelm-Mauch

Universität des Saarlandes, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Peter Wölfle

Karlsruher Institut für Technologie, Professor für Theoretische Physik

Prof. Dr. Wilhelm Zwerger

Technische Universität München, Professor für Theoretische Physik

Antwort der von der DPG beauftragten Gutachtergruppe zum
Karlsruher Physikkurs
auf die Kritik einiger Professoren der Theoretischen Physik
am Gutachten und den Ergänzungen dazu
vom 31. August 2013

Matthias Bartelmann¹, Fabian Bühler², Siegfried Großmann³, Wolfhard Herzog⁴, Jörg Hüfner¹, Rudolf Lehn^{2, 5}, Rudolf Löhken⁴, Karlheinz Meier¹, Dieter Meschede⁶, Peter Reineker⁷, Metin Tolan⁸, Jochen Wambach⁹, und Werner Weber⁸

¹Universität Heidelberg

²Störck-Gymnasium Bad Saulgau

³Universität Marburg

⁴Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung Heidelberg

⁵Schülerforschungszentrum Südwürttemberg

⁶Universität Bonn

⁷Universität Ulm

⁸Technische Universität Dortmund

⁹Technische Universität Darmstadt

9. September 2013

Das DPG-Gutachten zur Verwendung des Karlsruher Physikkurses (KPK) an Schulen wurde kürzlich kritisiert, weil es die im KPK definierten Impulsströme als unphysikalisch bezeichnet.

Die Kritiker benutzen eine mathematische Konstruktion von Größen, die in einer gewissen Verallgemeinerung unbestritten als „Impulsströme“ bezeichnet werden können. In der Tat können noch weit abstraktere Größen als „Impulsströme“ eingeführt werden. Im Hinblick auf den KPK als Instrument der schulischen Ausbildung muss jedoch die Frage gestellt werden, ob abstrakt definierte „Impulsströme“ in der Lage sind, dynamische Bewegungszustände von Materie zu beschreiben.

Selbstverständlich lag dem DPG-Gutachten und den Ergänzungen dazu die Interpretation des Impulses als Bewegungsgröße von Materie zugrunde, weil sie sowohl an die alltägliche Erfahrung der Trägheitsbewegung anschließt als auch vom KPK selbst vorausgesetzt wird. Das Gutachten stellt nicht das mathematische Konzept der Impulsströme in Frage. Vielmehr wendet es sich gegen den inkonsistenten Gebrauch dieses Konzepts in den KPK-Schulbüchern.

Der Ansatz des KPK verwendet sogenannte „mengenartige“ Größen als Basisgrößen, denen dann Ströme und Stromdichten zugeordnet werden. In der Mechanik verzichtet der KPK durch diesen Ansatz weitgehend auf die Newtonsche Axiome, insbesondere auf das Trägheitsprinzip. An Stelle der Kräfte wird mit „Impulsströmen“ gearbeitet.

Unabhängig vom gewählten Ansatz muss die Bewegung von Massen unter dem Einfluss solcher Impulsströme korrekt durch Lösungen beschrieben werden können, die mit denen der Newtonschen Bewegungsgleichung identisch sind. Diese Bedingung führt zu Einschränkungen bei der Verwendung des allgemeineren Prinzips der Impulsströme. Diese Einschränkungen werden jedoch im KPK nicht konsistent befolgt, wie wir im folgenden Text nochmals belegen möchten.

- Der Karlsruher Physikkurs identifiziert Impuls umgangssprachlich mit „Schwung“ oder „Wucht“. Dafür sprechen auch die Analogien, die sich der KPK herzustellen bemüht. Damit setzt er die elementare Bedeutung des Impulses als Kennzeichen einer Bewegung voraus. Das ist der schulischen Ausbildung auch angemessen.

Dieser dynamischen Interpretation des Impulses entspricht die Auffassung, dass Impulsströme von Materieströmen getragen werden. Für solche materiellen Impulsströme ergibt jedes beliebige Volumenintegral über die Eulergleichung, dass der Spannungstensor über die geschlossene Oberfläche des gewählten Volumens integriert werden muss, damit der resultierende Impulsstrom einer Änderung des Bewegungszustandes derjenigen Materie entspricht, in die bzw. aus der er strömt.

- Mathematisch widerspruchsfrei kann selbstverständlich jedes Flächenintegral über den Spannungstensor als „Impulsstrom“ bezeichnet werden. Jede kanonische Transformation zeigt, dass wesentlich abstraktere Auffassungen des Impulses möglich sind. Wie das Beispiel so definierter „Impulsströme“ in statischen Situationen zeigt, entspricht ihnen aber keine Materieströmung. Damit genügen sie nicht der vom KPK selbst zu Grunde gelegten Auffassung des Impulses als einer dynamischen Eigenschaft der Materie.

„Impulsströme“, die aus Spannungstensoren hervorgehen, die über beliebige Flächen integriert werden, würde man bei einer konsequenten dynamischen Interpretation des Impulses als (mechanische) Kraftkomponenten bezeichnen, die auf die gewählte Fläche wirken. Ihre

Richtung ergibt sich maßgeblich aus der frei wählbaren Orientierung der Fläche, über die integriert wird. Wiederum entsprechen solche Kraftkomponenten nur dann einer Änderung des Bewegungszustands von Materie, wenn sie über die gesamte (geschlossene) Fläche integriert werden, die diese Materie einschließt.

- Diese Gegenüberstellung zeigt: Eine Auffassung des Impulses als Kennzeichen bewegter Materie führt zwingend zu geschlossenen Flächenintegralen über Tensoren der Impulsstromdichte bzw. Spannungstensoren.

Will man umgekehrt Integrale eines Spannungstensors über offene Flächen als „Impulsströme“ auffassen, entsprechen sie nicht mehr solchen materiellen Impulsströmen, für die ein Erhaltungssatz gilt. Das schließt nicht aus, dass diese „Impulsströme“ wegen der verschwindenden Divergenz des Spannungstensors im statischen Fall lokal erhalten sind, wie in der Erklärung richtig bemerkt wird. Eine physikalische Bedeutung haben die so definierten „Impulsströme“ insofern, als sie den Spannungstensor visualisieren.

Obwohl dies mathematisch und physikalisch zweifellos möglich ist, widerspricht diese Auffassung derjenigen, die der KPK selbst voraussetzt. Als dynamische Größe aufgefasst, muss der KPK-Impulsstrom konsequenterweise aus einer Integration der Impulsstromdichte über geschlossene Flächen hervorgehen.

- Im Fall der statisch eingespannten Feder lässt sich mit völlig gleichwertigen Argumenten behaupten, der „Impulsstrom“ fließe durch Feder und Joch in eine Richtung, die der vom KPK behaupteten entgegengesetzt ist. Dazu muss nur die zur Integration gewählte Fläche entgegengesetzt orientiert werden. Da sich sowohl die vom KPK willkürlich ausgezeichnete Richtung des Impulsstroms als auch ihre Gegenrichtung gleichwertig begründen lassen, kann dieser Richtung keine physikalisch messbare Realität entsprechen. Dieses Ergebnis spiegelt nur die wohlbekannte Eigenschaft des Spannungstensors wider, dass er im Raum zwar Achsen, aber keine Richtungen auszeichnet.

Die Komponenten des Tensors können auch in statischen Systemen experimentell nachgewiesen werden. Spannungsoptische Experimente lassen sich leicht im Schulunterricht durchführen, haben aber mit der Physik des Newtonschen Impulses gar nichts zu tun.

Die Gutachtergruppe unterstreicht mit diesem Papier nochmals die im ursprünglichen Gutachten getätigte Aussage, dass die Verwendung des Impulsstromes im Karlsruher Physikkurs keine physikalisch korrekte Alternative zu Kräften in der Newtonschen Bewegungsgleichung darstellt.

Betroffenheit über das inakzeptable Vorgehen der DPG

Ohne Zweifel ist der Karlsruher Physikkurs (KPK) als unkonventioneller Zugang zur Physik einzustufen. Und ganz ohne Zweifel kann man trefflich darüber streiten, ob dieser Zugang aus fachdidaktischer Sicht eine Bereicherung für den Physikunterricht darstellt oder nicht. Es ist jedoch eine ganz andere Sache, dem KPK fachliche Fehler zu unterstellen und aufgrund dieser angeblichen Fehler mit Nachdruck zu empfehlen, den KPK nicht für den Unterricht zu verwenden oder Bildungspläne auf ihm aufzubauen. Siehe DPG-Stellungnahme zum KPK unter:

http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/stellungnahmen_gutachter/Stellungnahme_KPK.pdf .

Fachliche Bedenken werden normalerweise in einem wissenschaftlichen Diskurs erörtert. Das kann über Darstellung und Gegendarstellung in anerkannten Zeitschriften oder im Rahmen eines Treffens der Pro- und Kontraparteien erfolgen. Letzteres hat übrigens bereits im Jahre 1998 auf Veranlassung des Verbandes MNU stattgefunden. Damals trafen sich Fachwissenschaftler und Didaktiker, um darüber zu diskutieren, ob fachliche Bedenken gegenüber dem KPK zu Recht bestehen. Im Zentrum der Betrachtung stand dabei die Mechanik. Das Protokoll dieses Symposiums zum KPK kann noch heute auf der MNU-Homepage nachgelesen werden:

http://www.mnu.de/images/Dokumente/PDF/concepta-alt/mnu_publ_kpk_mnu_1998.pdf .

In dem Protokoll heißt es unter Anderem: „Als erste Zusammenfassung stellt Frau Heber nochmals fest, dass für den Bereich der Mechanik im KPK keine inhaltlichen Fehler gefunden wurden.“

Ohne dass sich an der Darstellung des KPK seit damals etwas geändert hätte und ohne in der Sache neue Argumente vorzubringen, kommt das Gutachtergremium der DPG hier zu einem anderen Resultat: „Es gibt diesen Strom in der Natur nicht. Damit hat der KPK-Impulsstrom auch keinen Platz im Gebäude der Physik und ganz gewiss auch nicht im Physikunterricht.“

Mit der Bezeichnung „KPK-Impulsstrom“ soll vermutlich der Eindruck erweckt werden, dass die Vorstellung strömenden Impulses eine Erfindung des KPK sei. Aber das trifft nicht zu. Schon Max Planck sprach vor über 100 Jahren von strömendem Impuls: „Wie die Konstanz der Energie den Begriff der Energieströmung, so zieht notwendig auch die Konstanz der Bewegungsgröße den Begriff der ‘Strömung der Bewegungsgröße’, oder kürzer gesprochen: der ‘Impulsströmung’ nach sich.“

M. Planck: Physikalische Zeitschrift, 9. Jahrgang, Nr. 23 (1908), S. 828

Wie schon oben bemerkt: Man kann die Vorstellung einer Impulsströmung mögen – oder auch nicht. Man kann sie für den Physikunterricht ablehnen – oder auch nicht. Aber es ist unredlich, sie als eine Erfindung des KPK erscheinen zu lassen und sie als fachlich falsch abzuqualifizieren.

Auch die anderen Argumente, die dem KPK als fachliche Fehler vorgeworfen werden, halten einer seriösen Überprüfung nicht stand (Siehe Entgegnung zu der Stellungnahme der DPG unter

http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/kpk/Fragen_Kritik/Entgegnung_DPG.pdf).

Es darf bezweifelt werden, ob die in der Stellungnahme der DPG formulierten fachlichen Aspekte gegen den KPK die Hürde einer kritischen Überprüfung – wie sie in einer referierten Fachzeitschrift üblich ist – schaffen würden, um dort veröffentlicht werden zu können.

Insgesamt erscheint das Zustandekommen des DPG-Gutachtens höchst fragwürdig. Da gibt es eine Nachricht der DPG-Präsidentin an die Physikfakultäten der Universitäten, in der es heißt: „Die DPG hat bei ausgewiesenen Experten ein Gutachten zum KPK in Auftrag gegeben.“ Gleichzeitig ist festzustellen, dass der DPG-Fachverband Didaktik der Physik – in dem hausintern seitens der DPG die Fachleute zu Fragen der Didaktik der Physik zu finden sind – an der Erstellung dieses Gutachtens nicht beteiligt war. Der Fachverband Didaktik der Physik hat sein Befremden über diesen Sachverhalt auch in schriftlicher Form der DPG-Präsidentin gegenüber zum Ausdruck gebracht: „...Gemäß Beschluss der Mitgliederversammlung möchte ich Ihnen mitteilen, dass der Fachverband äußerst befremdet ist ob des Sachverhalts, dass ein Gutachten über die Arbeit eines Fachkollegen und DPG-Mitglieds veröffentlicht worden ist, ohne zunächst die Diskussion mit dem Betroffenen zu suchen.

Weiter erachtet es der Fachverband für unumgänglich, bei einer Thematik, die den Physikunterricht betrifft, auch ein Mitglied des Fachverbands in die Gutachtergruppe zu berufen, um fachdidaktische Kompetenz zu gewährleisten.“

Aufgrund dieser Vorgehensweise der DPG fällt es schwer, daran zu glauben, dass das beauftragte Gutachten eine möglichst objektive Stellungnahme zum KPK liefern sollte. Vielmehr drängt sich der Verdacht auf, dass ein Gutachten erstellt werden sollte, bei dem von vornherein feststand, dass es die Grundlage für eine Stellungnahme der DPG gegen den KPK liefern sollte.

Als engagierter Fachdidaktiker empfinde ich das Vorgehen der DPG als physikalisches Denkverbot und fachdidaktische Zensur. Die Physik arbeitet mit Modellvorstellungen. Das ist eine wesentliche Aussage, die wir auch im Physikunterricht an vielen Stellen den Schülerinnen und Schülern gegenüber betonen. Dabei sind die benutzten Modelle durchweg Erfindungen des menschlichen Geistes. Aufgrund meiner langjährigen Erfahrungen als Physiklehrer und Ausbilder angehender Physiklehrer bin ich davon überzeugt, dass es von Nutzen ist, unterschiedliche Modellvorstellungen für die Beschreibung desselben Sachverhalts zu kennen, weil sich dadurch neue, ungewohnte Fragestellungen ergeben, die zu neuen, gewinnbringenden Einsichten führen können. Durch die Stellungnahme der DPG fühle ich mich auf eine Art und Weise bevormundet, die ich nicht akzeptieren kann.

Zusammenfassung:

- 1. Die fachlichen Einwände sind hinterfragenswert und die Seriosität der fachlichen Argumentation im Gutachten ist zu bezweifeln.**
- 2. Der fehlende wissenschaftliche Diskurs verletzt elementare wissenschaftstheoretische Standards im diskursiven Ringen um bessere Theorien und Modelle.**
- 3. Das obskure Erstellungsverfahren und die sträfliche Missachtung der fachdidaktischen Expertise im Fachverband Didaktik der Physik diskreditiert eine so renommierte Gesellschaft wie die DPG und ist ihrer unwürdig.**

Dr. Peter Schmälzle

Bereichsleiter Naturwissenschaften
Staatliches Seminar für Didaktik und Lehrerbildung (Gym)
Karlsruhe

Auch wir lehnen die Stellungnahme der DPG zum Karlsruher Physikkurs ab:

1	Aichert	Hartmut	Physiklehrer, Thomas-Mann-Gymnasium, Stutensee
2	Albrecht	Karen	Physiklehrerin, Gymnasium Schönau
3	Anzt	Gerhard	Stellvertretender Schulleiter, Markgrafen-Gymnasium, Karlsruhe
4	Anzt	Silvia	Stellvertretende Schulleiterin, Thomas-Mann-Gymn., Stutensee
5	Ayas (geb. Stelzer)	Alexander	Physiklehrer, Thomas-Mann-Gymnasium, Stutensee
6	Bartelt	Hans-Peter	Stellvertretender Schulleiter, Lessing-Gymnasium, Karlsruhe
7	Bauer, Prof., Dr.	Siegfried	Physik weicher Materie, Johannes Kepler University, Linz
8	Berger	Reinhard	Fachleiter, Zentrum für schulprakt. Lehrerbildung, Essen
9	Blesinger	Bert	Physiklehrer und Fachberater Chemie, Humboldt-Gymn., Karlsruhe
10	Blessing	Raphael	Physiklehrer, Hans-Furter-Gymnasium, Oberkirch
11	Bücheler	Michael	Physiklehrer, Gymnasium Neureut
12	Buric	Ralf	Fachleiter, Zentrum für schulpr. Lehrerbildung, Oberhausen
13	Burkhardt	Ingo	Physiklehrer, Gymnasium Hohenbaden, Baden-Baden
14	Christ	Michael	Physiklehrer, Theodor-Heuss-Gymnasium, Mühlacker
15	Demendi	Alexander	Physiklehrer, Europa-Gymnasium, Wörth
16	Ecker	Martina	Physiklehrerin, Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim
17	Ensslen, Dr.	Michael	Physiklehrer, Gymnasium Neureut
18	Fähnrich	Felix	Physiklehrer, Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim
19	Fleig	Michael	Fachleiter und Physiklehrer i.R., Gymnasium Neureut
20	Frey	Michael	Fachabteilungsleiter Naturwissenschaften, Gymnasium Neuenbürg
21	Friederich	Joachim	Fachberater Physik, Kepler-Gymnasium, Pforzheim
22	Fuchs, Prof., Dr.	Hans	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
23	Führinger, Dipl. Phys.	Max	Physiklehrer, Eichendorff-Gymnasium, Ettlingen
24	Gercken, Dr.	Matthias	Physiklehrer, Helmholtz-Gymnasium, Karlsruhe
25	Gerlinger	Ottmar	Physiklehrer, Humboldt-Gymnasium, Karlsruhe
26	Hamann de Salazar	Karin	Physiklehrerin, Europa-Gymnasium, Wörth
27	Hanisch	Jörg	Physiklehrer, Gymnasium Neuenbürg
28	Hauptmann, Dr.	Holger	Physiklehrer, Europa-Gymnasium, Wörth
29	Hauser	Helmut	Physiklehrer, Thomas-Mann-Gymnasium, Stutensee
30	Häussler, Prof. Dr.	Peter	Experimentalphysiker, Technische Universität Chemnitz
31	Hegel	Klaus	Fachleiter, Zentrum für schulprakt. Lehrerbildung, Kleve
32	Henne	Rudi	Stellvertretender Schulleiter, Gymnasium Neuenbürg
33	Heuper	Wolfgang	Fachleiter Physik, Staatliches Studienseminar für Gymn. Koblenz
34	Hildebrand	Klaus	Physiklehrer, Herder-Gymnasium, Minden
35	Holländer	Martin	Physiklehrer, Europa-Gymnasium, Wörth
36	Kleboth-Lugova, Dr.	Olena	Physiklehrerin, Hilda-Gymnasium, Pforzheim
37	Kniesl, Prof. Dr.	Bernd	Institut für Theoretische Physik, Universität Hamburg
38	Kohstall, Dr.	Christoph	Freie Universität Berlin
39	Krieg	Norbert	Physiklehrer, Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim
40	Küchel, Dr.	Tobias	Physiklehrer, Humboldt-Gymnasium, Karlsruhe
41	Langendörfer	Andreas	Physiklehrer, Hilda-Gymnasium, Pforzheim
42	Laukenmann, Prof., Dr.	Matthias	Physikdidaktiker, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg

43	Leisen, Prof.	Josef	Seminarleiter, Staatliches Studienseminar für Gymn. Koblenz
44	Lintner	Christoph	Physiklehrer, Theodor-Heuss-Gymnasium, Mühlacker
45	Matejcek, Dr.	Stefan	Physiklehrer, Lise-Meitner-Gymnasium, Königsbach
46	Meinköhn, Dr.	Erik	Physiklehrer, Europa-Gymnasium, Wörth
47	Merzyn, Prof., Dr.	Gottfried	Physikdidaktiker i.R., Universität Lüneburg
48	Mildenberger	Karin	Abteilungsleiterin, Tulla-Gymnasium, Rastatt
49	Mörtl	Siegfried	Fachberater Physik i.R., Goethe-Gymnasium, Gaggenau
50	Muckenfuß, Dr.	Heinz	Fachdidaktiker i.R., Pädagogische Hochschule Weingarten
51	Mühlbayer	Thomas	Schulleiter, Theodor-Heuss-Gymnasium, Mühlacker
52	Müller	Peter	Schulleiter, Copernicus Gymnasium, Philippsburg
53	Mußler	Felix	Physiklehrer, Edith-Stein-Gymnasium, Bretten
54	Neffgen, Dr.	Michael	Fachleiter, Zentrum für schulprakt. Lehrerbildung, Bonn
55	Neher	Jürgen	Physiklehrer i.R., Reuchlin-Gymnasium, Pforzheim
56	Oettinger	Hugo	Schulleiter, Helmholtz-Gymnasium, Karlsruhe
57	Offermann	Günter	Schulleiter, Schiller-Gymnasium, Marbach
58	Pabst, Dipl. Phys.	Martin	Physiklehrer, Altes Kurfürstliches Gymnasium, Bensheim
59	Pahlke, Dr.	Hannes	Physiklehrer, Altes Kurfürstliches Gymnasium, Bensheim
60	Petrich	Horst	Fachleiter Physik, Seminar für Didaktik und Lehrerb. (Gym), Freiburg
61	Pfefferle	Herbert	Physiklehrer, Schönborn-Gymnasium, Bruchsal
62	Plappert, Prof.	Dieter	Bereichsleiter, Seminar für Didaktik und Lehrerb. (Gym), Freiburg
63	Pohlig	Michael	Abteilungsleiter, Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim
64	Prante	Manfred	Physiklehrer i.R., Weser-Kolleg, Minden
65	Prestenbach	Dieter	Fachleiter i.R., Seminar für Didaktik und Lehrerb. (Gym), Karlsruhe
66	Printz	Marc	Diplomphysiker, Cham/Zug (Schweiz)
67	Pysik	Andreas	Fachleiter Physik, Staatliches Studienseminar für Gymnasien Mainz
68	Reidinger	Steffi	Physiklehrerin, Thomas-Mann-Gymnasium, Stutensee
69	Reimer, Prof.	Rolf	Bereichsleiter i.R., Seminar für Didaktik u. Lehrerb. (Gym), Karlsruhe
70	Roes	Henrik	Fachleiter Physik, Staatliches Studienseminar für Gymn. Speyer
71	Rösch	Andrea	Stellvertretende Schulleiterin, Tulla-Gymnasium, Rastatt
72	Rösch	Klaus	Fachberater Physik, Markgraf-Ludwig-Gymnasium, Baden - Baden
73	Roth	Hans-Dieter	Physiklehrer, Europa-Gymnasium, Wörth
74	Rübbelke	Antonius	Fachleiter, Zentrum für schulprakt. Lehrerbildung, Neuss
75	Rudert	Gabriel	Physiklehrer, Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim
76	Rudolph	Eva	Physiklehrerin, Helmholtz-Gymnasium, Karlsruhe
77	Rupp, Dr.	Christian	Physiklehrer, Europa-Gymnasium, Wörth
78	Rutz-Lewandowski	Marcus	Physiklehrer, Europa-Gymnasium, Wörth
79	Scheu	Ulrich	Physiklehrer, Albert-Schweizer-Gymnasium, Gernsbach
80	Scheu, Dr.	Günther	Schulleiter i.R., Hilda-Gymnasium, Pforzheim
81	Schifferdecker	Doris	Abteilungsleiterin, Gymnasium Neureut
82	Schmitt	Horst	Schulleiter i.R., Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim
83	Schneider	Heinz-Georg	Physiklehrer i.R., Europa-Gymnasium, Wörth
84	Schwaderer	Dirk	Physiklehrer, Tulla-Gymnasium, Rastatt
85	Schwenker	Rainer	Physiklehrer, Johann-Sebastian-Bach-Gymnasium, Mannheim
86	Seitz	Michael	Abteilungsleiter, Theodor-Heuss-Gymnasium, Mühlacker

87	Sexauer	Michael	MSS-Leitung, Megina-Gymnasium, Mayen
88	Sickmüller	Matthias	Fachbereichsleiter Physik, Gymnasium Neuenbürg
89	Sprickmann, Dr.	Rainer	Fachleiter, Zentrum für schulprakt. Lehrerbildung, Jülich
90	Stark	Karlheinz	Physiklehrer, Studienkolleg Obermarchtal
91	Steigmann	Thomas	Physiklehrer, Hölderlin-Gymnasium, Heidelberg
92	Stein, Dr.	Stephan	Fachleiter, Zentrum für schulprakt. Lehrerbildung, Krefeld
93	Steinbrenner	Martin	Physiklehrer, Bismarck-Gymnasium, Karlsruhe
94	Stößel, Prof., Dr.	Wolfgang	Experimentalphysiker i.R., Karlsruher Institut für Technologie
95	Strauch	Hans Michael	Fachberater i.R., Kurfürst-Ruprecht-Gymnasium, Neustadt
96	Taulien	Matthias	Physiklehrer, Hölderlin-Gymnasium, Heidelberg
97	Thein	Carsten	Physiklehrer, Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim
98	Tofahrn	Wolfgang	Physiklehrer i.R., Herder-Gymnasium, Minden
99	Toussaint	Christoph	Physiklehrer, Albertus-Magnus-Gymnasium, Ettlingen
100	Treffeisen	Wolfgang	Fachleiter, Zentrum für schulprakt. Lehrerbildung, Neuss
101	von Baltz, Prof., Dr.	Ralph	Theoretische Physiker i. R., Karlsruher Institut für Technologie
102	Weisser	Birgit	Schulleiterin, Europa-Gymnasium, Wörth
103	Wojtalla	Izabela	Physiklehrerin, Otfried-von-Weißenburg-Gymnasium, Dahn
104	Würfel, Prof., Dr.	Peter	Experimentalphysiker i.R., Karlsruher Institut für Technologie
105	Zahneisen	Peter	Physiklehrer, Europa-Gymnasium, Wörth
106	Zimmer	Stefan	Physiklehrer, Wilhelm-Hausenstein-Gymnasium, Durmersheim

Sehr geehrte Frau Prof. Dr. Stachel,

wir haben Ihr Schreiben erhalten, in dem Sie uns auffordern, Physikunterricht teilweise oder gar vollständig nach der didaktischen Konzeption des Karlsruher Physikkurses (KPK) nicht zu erteilen. Ihr Schreiben wirkt auf uns wie eine maßregelnde Warnung mit eindeutigem Verbotscharakter! So jedenfalls kommt die Botschaft bei uns an.

Wir möchten Ihnen in wenigen Punkten darlegen, warum wir über Ihr Schreiben sehr erstaunt und zugleich sehr verärgert sind.

(1) Der KPK schadet dem Physikunterricht nicht!

Das Friedrich-Schiller-Gymnasium Marbach am Neckar hat 2007 einen zweiten Platz beim Deutschen Schulpreis erhalten. Diese Auszeichnung haben bis heute u.W. nur zwei öffentliche Gymnasien bekommen.

Wir sind nach wie vor stolz darauf, dass wir bei unserer Bewerbung unser Schulcurriculum Physik, das konsequent auf dem KPK aufgebaut ist, hervorgehoben haben.

- Unsere Physikkurse in der Kursstufe – in Baden-Württemberg werden sie von den Schülerinnen und Schülern gewählt – sind sehr gut besucht.
- Unsere Schülerinnen und Schüler nehmen am Zentralabitur auch und gerade in Physik teil, und sie schneiden sehr erfolgreich ab. Das belegen die numerischen Ergebnisse.
- Gerade in der Mittelstufe ist es uns gelungen, den Schülern und Schülerinnen Erfolgserlebnisse zu vermitteln und Physik hat bei uns an der Schule nicht die „rote Laterne“.
- Und in der 5. Und 6. Klasse legen wir den Grundstein für Verständnis und „Zurechtkommen“ in den Fächern Physik und Chemie in den späteren Jahren, wiederum aufbauend auf dem Konzept des KPK auch für diese beiden Stufen.
- Bei den Diagnose- und Vergleichsarbeiten – ebenfalls zentrale Erhebungen Stand der Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler in Baden-Württemberg – schneiden wir tadellos ab.
- Mitglieder der Fachschaften Chemie und Biologie übernehmen nach und nach Basisgedanken des KPK und sind höchst zufrieden mit dieser Veränderung in ihrem Unterricht.

Zusammenfassung:

Wir sind sicher, dass der KPK keinen „Schaden“ anrichtet, sondern unserer Auffassung nach, sogar beträchtlich zum Ansehen der Schule beiträgt.

(2) Unnötige, aber verletzende Ärgerlichkeiten ...

Wenn Sie und die „Gutachter“ uns vorwerfen, dass wir vor allem zu Beginn eines Unterrichtsthemas Einheiten wie z.B. „Huygens“ für $(\text{m/s} \cdot \text{kg})$ verwenden, dann bitten wir Sie, uns zu erklären, wieso in der Lehrerausbildung seit vielen Jahrzehnten darauf hingewiesen wird, dass es Schülerinnen und Schüler gibt, die mit der „klassenbezogenen Einheit“ „Flitz“ oder „Bär“ zunächst mehr anfangen können als mit den Einheiten „m/s“ oder „N“. Selbstverständlich sind sie in der Kursstufe in Lage, mit den SI - Einheiten der Physik sicher umzugehen. Wie anders könnten sie im Zentralabitur von BW bestehen!

Allein an diesem Beispiel – und für alle anderen Ihrer „Bezeichnungskritiken“ trifft dies genauso zu – bitten wir Sie klarzustellen, dass die DPG seit Ende Februar nicht die Rolle einer „Zensorin“ für didaktische und methodische Entscheidungen für sich in Anspruch nimmt. Sie sollten schon klarstellen, dass Physiklehrerinnen und Physiklehrer nach wie vor Ihre Wertschätzung verdienen, selbst wenn sie in ihrem Unterricht nicht die Sprache und Bilder benutzen, die Sie persönlich eventuell vorziehen würden.

(3) Unterstellungen und Anmaßungen ...

In Ihrem Schreiben behaupten Sie, dass der KPK mit fachlichen Mängeln behaftet ist. Das ist für uns eine Behauptung nach dem Motto „Semper aliquid haeret!“. Wir empfinden solche Aussagen als beschämend und im Kern gehen Sie davon aus, dass man uns Physiklehrerinnen und Physiklehrer sagen muss, wie „Physik geht“. Können Sie sich vorstellen, wie wir uns dabei fühlen?

Zusammenfassung:

Wir bitten Sie, die Gleichungen in der Physik anzugeben, die der KPK verletzt oder in unzulässiger Weise benutzt!

(4) Ach, das Verständnis von der Idee „Weltbild“ bzw. „Modell“

Da möchten wir ohne Umschweife gleich zur Zusammenfassung kommen:

Zusammenfassung:

„Weltbildfragen“ und Fragen zum Modellbegriff behandeln wir in vielen Fächern. Wir vermitteln, dass es keine Wahrheit gibt, die alle glauben müssen. Wir vermitteln, dass verschiedene Wege zu einer - wenn überhaupt - existierenden Wahrheit führen. Zu einem unserer wichtigen Lernziele in diesem Themenbereich gehört die Erkenntnis: Schülerinnen und Schüler, passt auf, seid vorsichtig, wenn ihr ein „Roma locuta est“ hört. Stellt euch die Frage: „Cui bono?!“

Wir können es bis heute nicht glauben, dass die angesehene DPG oder wenigstens Teile von ihr, sich in Sachen KPK den Spruch „Roma locuta est!“ zu eigen macht.

(5) „Urteilsaufhebung“ durch die DPG

Am 12. Oktober 1998 fand an der Universität Karlsruhe ein MNU - Symposium zum Thema „KPK – Pro und Contra“ statt. Von diesem Symposium wurde ein Protokoll angefertigt, das öffentlich zugänglich ist und das Sie sicher gelesen haben, bevor Sie ein „Gutachten“ zum KPK in Auftrag gaben. Die einvernehmlichen Schlüsselaussagen sind eindeutig: Es gibt keine fachlichen Fehler im KPK! Der KPK benutzt aus didaktisch-methodischen Überlegungen eine eigene Sprache, die über manche Gleichungen „gewissermaßen anders gestülpt“ wird als in der Sprechweise, in der üblicherweise Physik kommuniziert wird.

Die DPG und das „Gutachten“ erwähnen nicht im Geringsten die Ergebnisse dieses Symposiums. Wir haben dafür keine Erklärung und bitten Sie, diese nachzureichen und den Teilnehmern dieses Symposiums nachträglich ihre Denkfehler nachzuweisen.

(6) Das Friedrich- Schiller Gymnasium (FSG) in Marbach am Neckar – eine Ausbildungsschule für angehende Physiklehrerinnen und Physiklehrer

Seit vielen Jahrzehnten ist das FSG Ausbildungsschule. Es gehört und gehörte schon immer zu unserem Selbstverständnis, dass die jungen Lehrer so unterrichten, wie es ihrem didaktischen Verständnis entspricht. Und selbstverständlich gilt diese didaktische Offenheit für jede Physiklehrerin und für jeden Physiklehrer an unserer Schule. Die „DPG-Sprache“ ist uns

genauso angenehm wie eine Sprech- und Denkweise, die sich am KPK orientiert. Die jungen Lehrerinnen und Lehrer können an unserer Schule zwei Sprachen lernen, wenn sie möchten, und wir halten dies für einen Vorteil in der Ausbildung.

Übrigens: Wer zwei Sprachen spricht, hat mehr Chancen das Proprium dessen, worüber er spricht, wahrzunehmen. Davon profitieren unsere Schülerinnen und Schüler wie auch die Lehrerinnen und Lehrer und genauso die Auszubildenden. Vielfalt ist noch immer die beste Antwort auf Vielfalt!

(7) Würdigen kommt vor Werten – eine Missachtung von Wertschätzung

Wir sind nicht nur verärgert, sondern auch tief verletzt. Wir können und wollen nicht verstehen, wie die angesehene DPG ein Gutachten vertreten kann, in dem es kein einziges Wort vorkommt über das, was der KPK alles in Bewegung gebracht hat und was unbestritten von ihm in gängigen Lehrwerken übernommen wurde. Das Gutachten ist als Ganzes abwertend und entspricht nicht den Gepflogenheiten für einen Austausch unterschiedlicher Ansichten. Das ist ein Novum!

Wir wünschen uns, dass zunächst die Schätze im anderen gesucht werden und wir betrachten sie als wertvolles Geschenk.

Wie hätte das Gutachten aussehen können, wenn es sich dem Anspruch „würdigen kommt vor werten“ verpflichtet gefühlt hätte.

Einige Autoren, denen Sie den Auftrag für ein Gutachten erteilt haben, sind uns bekannt. Wieso hat keiner das Gespräch mit uns gesucht?

Wir sind bereit, Ihnen unsere Position in einem Gespräch darzulegen. Und wir hoffen, dass Sie dann anders über den KPK denken, vielleicht sogar den Wert dieses Konzeptes schätzen können.

Mit freundlichen Grüßen

Günter Offermann

Oberstudiendirektor

Fachschaft Physik am Thomas-Mann-Gymnasium
Gymnasiumstraße 20
76297 Stutensee

07. März 2013

An die Präsidentin der DPG
Frau Prof. Dr. Johanna Stachel
Physikalisches Institut der Universität Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 226
69120 Heidelberg

Betr.: „Gutachten“ und Stellungnahme der DPG zum Karlsruher Physikkurs

Auf den Internetseiten der DPG ist eine Stellungnahme zum Karlsruher Physikkurs zu finden, in welcher der KPK folgendermaßen bewertet wird: "Die *Deutsche Physikalische Gesellschaft* empfiehlt daher *mit Nachdruck*, den Karlsruher Physikkurs weder für den Unterricht zu verwenden noch Lehr- oder Bildungspläne auf ihm aufzubauen oder nach ihm auszurichten."

Wir möchten nicht auf die inhaltliche Kritik am Karlsruher Physikkurs eingehen, die aus unserer Sicht fachlich falsch ist, was peinlich für die Gutachter und leider damit auch für die DPG ist.

Wir möchten unseren Unglauben und unsere Empörung über die Grundhaltung des Gutachtens und den Ton, in dem das Gutachten abgefasst ist zum Ausdruck bringen.

Als didaktisch ausgebildete Fachlehrer und studierte Physiker sind wir der Meinung, dass der Physikunterricht sehr von unterschiedlichen Modellvorstellungen profitiert - Modellvorstellungen, welche weder falsch, noch richtig, sondern nur eben – so die Natur der Modelle – begrenzt hilfreich sind.

Das gilt für den Physikunterricht wie auch die Fachwissenschaft Physik.

Das Fazit der Stellungnahme zeugt von keinerlei Erkenntnis über den Nutzen von Modellen in unserem Fach.

Wir betrachten das Fazit des Gutachtens (und der DPG!) als physikalisches Denkverbot und fachdidaktische Zensur, geradezu beleidigend für die vielen hundert Physiker, welche erfolgreich mit Hilfe dieser Konzepte unterrichten.

In unserem Kollegium unterrichten wir seit vielen Jahren, individuell unterschiedlich, in einigen Bereichen viel, in anderen weniger unter Zuhilfenahme von Konzepten, die der Karlsruher Physikkurs in den Mittelpunkt gestellt hat. Daneben unterrichten wir alle – ohne Probleme – in anderen Bereichen auch in traditioneller Weise. Der KPK ist seit vielen Jahren eine großartige didaktische Bereicherung. Unsere Schüler hatten damit später nie Schwierigkeiten an der Universität.

Beide Konzepte haben ihre Berechtigung und ihre Stärken und Schwächen.

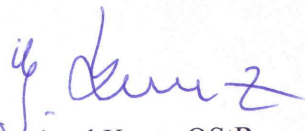
Und genau hier wünschen wir uns eine DPG, die satzungsgemäß die Interessen *aller* ihrer Mitglieder vertritt. Deeskalierende und klärende Worte wären vonnöten in einer von einer Seite manchmal fanatisch ideologisiert geführten Diskussion.

Sollte diese Stellungnahme der DPG nicht korrigiert werden, ist für die DPG-Mitglieder in unserer Lehrerschaft eine weitere Mitgliedschaft in der DPG undenkbar.

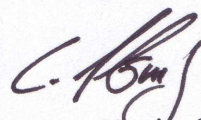
Mit freundlichen Grüßen



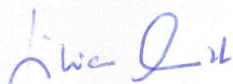
Hartmut Aichert, StR



Bernhard Kunz, OStR



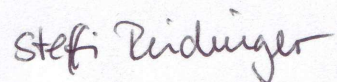
Christian König, StR



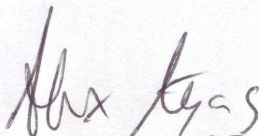
Silvia Anzt, StD'in



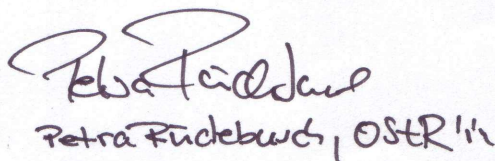
Helmut Hauser, OStR



Steffi Reidinger, StR'in



Alexander Ayas, StR



Petra Fückebusch, OStR'in

Il Corso di Fisica di Karlsruhe (KPK) e La Società Tedesca di Fisica (DPG)

*Al Direttivo ed ai Membri della Società Tedesca di Fisica
(DPG Deutsche Physikalische Gesellschaft)*

per conoscenza

*Al Direttivo ed ai Membri della Associazione Tedesca per il Promovimento dell'Insegnamento di
Matematica e Scienze Naturali
(Deutscher Verein zur Förderung des Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterrichts)*

Gli insegnanti che firmano questa lettera esprimono la loro solidarietà agli insegnanti che si ispirano alle idee della Scuola di Didattica della Fisica di Karlsruhe, ingiustamente accusati di esercitare la loro professione in modo scorretto dalla commissione incaricata dalla DPG di valutare il Corso di Fisica di Karlsruhe (KPK).

Gli insegnanti che firmano questa lettera chiedono ai colleghi tedeschi di denunciare pubblicamente questo scandalo, e permettere agli insegnanti che si ispirano alle idee della Scuola di Didattica della Fisica di Karlsruhe, di esporre gli errori contenuti nella valutazione, e riaffermare le loro legittime opinioni su come insegnare la fisica.

Gli insegnanti che firmano questa lettera esprimono la loro indignazione per la violazione della libertà di opinione nell'insegnamento, commessa dalla commissione della DPG incaricata di valutare il KPK. Le accuse infondate di contenere errori, e gli argomenti pretestuosi usati per dimostrarlo, hanno causato gravi danni agli autori e agli utenti del KPK. Ma il danno più grave è stato arrecato alle regole condivise di una discussione scientifica, all'insegnamento delle scienze ed in generale alla cultura scientifica.

In nome di questi valori, gli insegnanti che firmano questa lettera chiedono che la DPG ritiri la valutazione della sua commissione, anche sulla base delle molte prese di posizione critiche da parte di suoi membri.

Mondovì, 24 ottobre 2013

1	Agnes, Corrado Enrico	SCUDO Politecnico di Torino	
2	Merletti, Angelo	Liceo scientifico M. Curie, Pinerolo	
3	Bertolo, Giovanni	I. T. A. G. Dalmasso, Pianezza	
4	Urigu, Riccardo	Liceo scientifico Copernico, Torino	
5	Bocci, Franco	Liceo scientifico Copernico, Torino	
6	Montaldi, Laura	Liceo scientifico Copernico, Torino	
7	Marcolini, Lorenzo	ISIS Arturo Malignani, Udine	retired
8	Bonora, Pietro	Liceo Scientifico Sabin, Bologna	

9	Dodero, Giovanni	Istituto Uceti, Rapallo	
10	Cinquini, Vittoria	USR Lombardia	retired
11	Gandolfi, Antonio	Presidente AIF	
12	Serafini, Rita	Vicepresidente AIF	
13	Sgrignoli, Silvano	Direttivo AIF	
14	Luigi Oliva	Liceo Classico C. Colombo (GENOVA)	
15	Leonard, Philippe	Université Libre de Bruxelles	
16	Pastore, Giorgio	Università di Trieste	
17	D'Anna, Michele	Liceo Cantonale di Locarno	
18	Marino, Tommaso	Liceo Scientifico Curie Grugliasco	
19	Govoni, Riccardo	MASTeR Mantova (ex-presidente AIF)	
20	Rafanelli, Mirella	Ruffano, Lecce	
21	Viva, Salvatore	Ruffano, Lecce	
22	Sciarratta, Isidoro	Pordenone	
23	Violino, Paolo	Università di Torino	retired
24	Ghigo, Gemma	Liceo Peano Cuneo	
25	Häusermann, Giorgio	Alta Scuola Pedagogica, Locarno	

Von: Kessler, Mario Mario.Kessler@aulis.de 
Betreff: KPK Sek 2, Elektrodynamik und Thermodynamik
Datum: 26. März 2013 um 15:11
An: Friedrich Herrmann impulsstrom@web.de

KM

Guten Tag Herr Herrmann,

im Anhang schicke ich Ihnen zur Ansicht, Kontrolle und Freigabe die Innentitel- und Impressumseiten der beiden im Betreff genannten Titel als pdf-Datei.
Ich habe beide Impressumseiten nach dem Schema der neu angelegten Impressi der letzten Sek-1-Nachdrucke ebenfalls neu angelegt.

Mit freundlichen Grüßen
Mario Keßler
Aulis Verlag Herstellung

STARK Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
Handelsregister München HRA78578
Geschäftsführer: Dr. Detlev Lux

Lilienthalstr. 2
85399 Hallbergmoos
Tel. 0811 60004-503
Fax 0811 60004-591

Mailto: Mario.Kessler@aulis.de

This email was sent by a company owned by Pearson plc, registered office at 80 Strand, London WC2R 0RL.
Registered in England and Wales with company number 53723



KPKS2-B1-
Inntit_7...13.pdf



KPKS2-Bd2-
Inntit_6...13.pdf

Lieber Herr Herrmann,

ich melde mich heute mit einigen Fragen bzw. Vorschlägen bei Ihnen.

Zunächst einmal: Herr Prof. Tolan von der TU Dortmund hat sich an uns gewendet, um ein Video (das wohl Herrn Laukenmann zeigt, wie er in einer siebten Klasse nach dem KPK unterrichtet) zu bekommen. Dieses Video bzw. die DVD, auf der es zu finden gewesen wäre, ist bei uns vergriffen, was wir Herrn Tolan mitgeteilt haben. Daher sind die Rechte an die Urheber zurückgefallen. Sie bzw. Herr Laukenmann könnten also darüber verfügen, sollte Herr Tolan sich in dieser Sache melden.

Uns machen die Absätze Sorgen, die wir für die Bestandteile des KPK haben; lediglich zwei der Titel (SI, Energie ... und Daten ...) kommen über 500 Exemplare. Alle anderen Titel liegen weit darunter: der dritte SI-Titel (Reaktionen ...) bei gut 300, zwei der SII-Titel bei knapp 200 (Mechanik und Atomphysik), die anderen drei SII-Titel bei ca. 100 bis maximal ca. 140. Das sind nur die Zahlen für die Schulbücher. Die Unterrichtshilfen verkaufen wir jeweils unter 100 mal, ein Wert, bei dem wir bei „normalen“ Titeln ein Makulieren sehr deutlich ins Auge fassen. Und für diese geringen Absätze erlösen wir kaum unsere Kosten.

Wir haben jetzt einen der ausgehenden Titel mit 500 Exemplaren in der Druckerei nachgefragt; er würde ganz knapp unter 3.- pro Exemplar kosten; wir bekommen aber nur ca. € 7,60 dafür (MWSt. schon abgezogen) – und müssen von diesen verbleibenden 4,60 das Autorenhonorar bezahlen, die Lagerhaltung, die Arbeit der Werbung einschl. Magazin, Internetauftritt etc., die Arbeit der Herstellung, usw. usw.

Nun sind wir Bestandteil eines großen Hauses (Pearson, letzten Endes, bzw. Stark), und jeder will (und braucht) ein Stück vom Kuchen. Ein eigenständiger Verlag wie Aulis oder gar Sie selbst als Autor können mit deutlich geringeren Kosten auf eine ordentliche Rendite kommen, und, verzeihen Sie, das muss ein Verlag, sonst ist er nicht überlebensfähig.

Was also tun? Hier wurde beschlossen, dass nicht nachgedruckt wird. Wir würden abverkaufen, was wir noch haben, im Sinne von „Solange der Vorrat reicht“, und im nächsten Sommer (2014) würde die Reihe bei uns beendet.

Das schien mir nicht in Ihrem Sinne zu sein; ich kann Ihnen daher folgendes Angebot machen:

Wir beenden unsere Zusammenarbeit zum Sommer dieses Jahres. Im neuen Aulis-Magazin (Juli 2013) erscheint der KPK nicht mehr in seinen Einzeltiteln, jedoch mit Kasten/Hinweis auf eine Bezugsquelle (mit Abbildung einiger KPK-Titel), die Sie uns nennen, und wo ein Käufer fündig wird. Sie haben damit, wenn man so will, eine kostenlose Werbung. Wir lösen alle Verträge, den KPK betreffend, und Sie erhalten alle Rechte zurück.

Zwei der Titel (Unterrichtshilfen zu SII, Band 1 und 2) haben wir nur noch als eBook, wie Sie wissen. Die Daten für diese eBooks (gegenüber Ihren Daten bearbeitet) erhalten Sie kostenlos.

Von den anderen insgesamt zwölf Titeln haben wir insgesamt noch gut 3500 Exemplare. Diese Exemplare erhalten Sie zu einem sehr reduzierten Preis: Alle Softcover (die Schülerbücher und

die Unterrichtshilfen SI) erhalten Sie für € 3.- pro Stück; die SII-Unterrichtshilfen würden € 1,50/Stück kosten. Insgesamt entstehen dadurch Kosten von ca. € 9340.-, unsere heutigen Bestände angenommen, die jedoch unterjährig kaum noch schwinden; ca. 70 – 80 Exemplare/Monat verkaufen wir derzeit.

Sie wären frei in der Nachproduktion, da Sie über die Rechte verfügen; wir würden lediglich eine Übereinkunft treffen wollen, nach der bei einem Nachdruck unser Firmenlogo, unsere Bestellnummer und die ISBN entfernt werden muss, außerdem das Copyright nicht mehr bei uns liegt.

Was meinen Sie? Könnte das eine Lösung sein? Bitte lassen Sie den Vorschlag ein wenig „sacken“; ich brauche eine Antwort bis Ende April; Anfang Mai wird die Arbeit am Magazin begonnen.

Mit freundlichen Grüßen
Brigitte Abel

Aulis Verlag Programmleitung
Dr. Brigitte Abel

STARK Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
Handelsregister München HRA 78578
Geschäftsführer: Dr. Detlev Lux

Lilienthalstr. 2
85399 Hallbergmoos
Tel. 0811 60004-501
Fax 0811 60004-591

Mailto: Brigitte.Abel@aulis.de

This email was sent by a company owned by Pearson plc, registered office at 80 Strand, London WC2R 0RL.
Registered in England and Wales with company number 53723