

Die Affäre um den Karlsruher Physikkurs: Gutachter gehen auf fachliche Kritik von Kollegen aus der Theoretischen Physik ein

Karsten Rincke
Christoph Strunk

16. Oktober 2013 (Überarbeitung des Textes vom 13. September)
Didaktik der Physik / Experimentelle und Angewandte Physik
Universitätsstr. 31, D-93053 Regensburg
Quelle:

<http://www.uni-regensburg.de/physik/didaktik-physik/Aktuelles/index.html>

1 Erfreuliche Entwicklungen – auch auf Gutachterseite

Seit dem 2.09.13 ist ein Papier öffentlich, mit dem sich eine Gruppe Theoretischer Physiker gegen die von der DPG ausgesprochene Empfehlung wendet, welche von der Verwendung des Karlsruher Physikkurses (KPK) in Schulen abrät.¹ Die Kollegen aus der Theorie fordern die Rücknahme dieser Empfehlung und begründen dies mit den fachlichen Fehlern im Gutachten der DPG, zudem verweisen sie auf den Text *Zum Gutachten der Deutschen Physikalischen Gesellschaft über den Karlsruher Physikkurs*.² Das Papier der Theoretiker ist mit einer Liste von 19 Mitzeichnern am 1.09. auch an die Präsidentin der DPG, an den Vorstand und die Gutachtergruppe übermittelt worden. Die Liste der Mitzeichner wird fortlaufend online aktualisiert.

Auf den 9.09. ist ein Text datiert³, in dem die Gutachter auf die Kritik ihrer Kollegen reagieren. Der Text konzentriert sich auf die Frage, welche anschaulichen bzw. formalen Beschreibungen von Impulsströmen zulässig seien, da sich auch die Aufforderung zur Rücknahme des Gutachtens der Kollegen aus der Theorie auf diesen Aspekt konzentrierte.

Während die Gutachter in den *Ergänzenden Bemerkungen*⁴ noch behaupteten »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 [...]« (S. 3), konzedieren die Gutachter nun »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.« Sie lassen also die allgemeine Forderung nach geschlossenen Integrationsflächen fallen, wie es den

Grundsätzen der Mechanik auch entspricht, wie es außerdem die Kritik der Kollegen aus der Theorie fordert und wie es schließlich auch das Ergebnis der Diskussion mit dem Gutachter Herrn Hüfner mit uns in Regensburg sagt.⁵ Wir begrüßen es sehr, dass dieses Detail der fachlichen Auseinandersetzung damit als einvernehmlich geklärt angesehen werden darf.

Überrascht sind wir indessen, dass die Gutachter ihre Einsicht nicht zum Anlass nehmen, auch die bisher daraus gezogenen Konsequenzen zu überdenken, vielmehr schließen sie in ihrem aktuellen Text mit der Äußerung »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.« (S. 3)

2 Weiterer fachlicher Klärungsbedarf

Es ist auffallend, dass in den drei bisher vorliegenden Äußerungen der Gutachter zum Impulsstrom (Gutachten und zwei Ergänzungen) drei verschiedene vorgebliche Fehler erkannt wurden:

1. Im ursprünglichen Gutachten wird dem Impulsstrom »ein Platz im Gebäude der Physik« rundweg abgesprochen.
2. In den fachlichen Ergänzungen Teil 1 wird eingeräumt, dass der Impulsstrom existiert, dass er aber im KPK so eingeführt werde, dass er die Impulserhaltung verletze.
3. In den fachlichen Ergänzungen Teil 2 wird eingeräumt, dass die Impulserhaltung nicht verletzt ist, dafür wird nun behauptet, dass aus der Veranschaulichung des Impulses als »Schwung« oder »Wucht« folge, dass ein Impulsstrom stets von einem Materiestrom getragen

¹<http://www.physik.hu-berlin.de/top/>.

²<http://www.uni-regensburg.de/physik/didaktik-physik/Aktuelles/index.html>, erschienen am 19.04.2013.

³http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/stellungnahmen_gutachter/kpk-ergaenzung_2.pdf

⁴http://www.dpg-physik.de/veroeffentlichung/stellungnahmen_gutachter/kpk-ergaenzung.pdf

⁵Siehe dazu das *Protokoll eines Streitgesprächs*, abzurufen unter <http://www.uni-regensburg.de/physik/didaktik-physik/Aktuelles/index.html>.

werde, und dass dies im Folgenden auf einen Widerspruch führe.

Man darf gespannt sein, wann die Kritik in 3. erneut revidiert wird, und mit welchem Argument dann weitere vorgebliche fachliche Fehler im KPK begründet werden. **In einem Begutachtungsprozess in einem referierten Journal würden solche wechselnden Kritiken desselben Gutachters oder derselben Gutachtergruppe nicht akzeptiert.**

Die neuerdings vorgebrachte Kritik der Gutachter verlangt nach einer fachlichen Klärung, berührt jedoch auch zentrale fachdidaktische Fragen. Wir gehen in diesem Abschnitt zunächst auf die Gutachterkritik ein. Der dann folgende Abschnitt beleuchtet eine fachdidaktische Seite.

Die Gutachter stellen fest: »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. [...] Dieser dynamischen Interpretation des Impulses entspricht die Auffassung, dass Impulsströme von Materieströmen getragen werden.« (S. 2) Der letzte Satz beschreibt, was die Gutachter sich unter einer »dynamischen Interpretation des Impulses« vorstellen. Diese Vorstellung erweist sich als falsch, denn aus ihr würde folgen, dass zwei über ein elektrostatisches Feld wechselwirkende Körper keinen Impuls austauschen könnten. Ein durch einen geladenen Plattenkondensator fließendes Elektron könnte dann im elektrischen Feld des Kondensators nicht abgelenkt werden, weil dieses Elektron seinen Impuls wegen der lokalen Impulserhaltung nur durch Zufluss oder Abfluss ändern kann — und dieser Impulsstrom ist ganz sicher nicht mit einem Materiezufuhr verbunden. Andererseits lässt sich die Kraft auf das Elektron beziehungsweise der Impulsstrom in das Elektron durch Integration des Spannungstensors des elektrischen Feldes über eine das Elektron umschließende Fläche zu jedem Zeitpunkt quantitativ beschreiben.

Es ist offensichtlich, dass es auch nicht-materielle Impulsströme geben muss, insbesondere auch dann, wenn der Impuls »dynamisch interpretiert« wird. Dies gilt nicht nur für Impulsströme durch das elektrische Feld, sondern zum Beispiel auch für solche durch gespannte Federn. Nicht-materielle Impulsströme sind mit dem Ansatz des KPK, jede Impulsänderung als Impulsstrom zu interpretieren, vollständig verträglich. Dagegen ist es inkorrekt, anzunehmen, dass – umgekehrt – jeder Impulsstrom zu einer Änderung des Impulses eines Körpers führen müsse. Bei Ringströmen ist dies offensichtlich nicht der Fall, weil durch die Kontinuitätsgleichung nur der Quellen- aber nicht der Wirbelanteil der Impulsstromdichte-Verteilung festgelegt wird.

Weiterhin kritisieren die Gutachter: »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.« (S. 3)

Dazu ist zu sagen: Das Produkt des Spannungstensors $\overset{\leftarrow}{T}$ mit einem beliebigen Einheitsvektor \hat{r} liefert den Stromdichtevektor $\vec{j}_{\hat{r}}$ der Impulskomponente in \hat{r} -Richtung, welche durch das Skalarprodukt $\hat{r} \cdot \vec{p}$ des Impulses mit diesem Einheitsvektor gegeben ist:

$$\vec{j}_{\hat{r}} = \hat{r} \cdot \overset{\leftarrow}{T}.$$

Der so definierte Stromdichtevektor transformiert sich wie jeder andere Vektor auch, da die Orientierung dieses Einheitsvektors im Raum unter einer Transformation des Koordinatensystems invariant ist. Er stellt daher die von der Wahl des Koordinatensystems unabhängige Strömungsrichtung einer wohlbestimmten Impulskomponente dar. Aus dieser lässt sich die Kraft-, bzw. Impulsstromkomponente in \hat{r} -Richtung in der üblichen Weise durch Integration von $\vec{j}_{\hat{r}}$ über eine orientierte Fläche \mathcal{A} gewinnen:

$$-\hat{r} \cdot \vec{F} = \int_{\mathcal{A}} \vec{j}_{\hat{r}} \cdot d\vec{A} = \hat{r} \cdot \int_{\mathcal{A}} \overset{\leftarrow}{T} \cdot d\vec{A}.$$

Im Gegensatz zu der Behauptung der Gutachter entspricht dieser Stromdichtevektor daher einer »physikalisch messbaren Realität«. Es ist reine Bequemlichkeit, aber keine fundamentale Einschränkung, wenn im Schulbuch des KPK die Projektionen des Spannungstensors auf die Einheitsvektoren eines festen Koordinatensystems als Vektoren der Stromdichten der drei Impulskomponenten verwendet werden. Für ein gegebenes Koordinatensystem lässt sich aus der Orientierung der drei Stromdichtevektoren ermitteln, ob an einem bestimmten Ort eines unter mechanischer Spannung stehenden Objekts Druck-, Zug-, oder Scherspannungen (oder Kombinationen derselben) herrschen. Auch diese Orientierungen haben damit eine reale, experimentell nachprüfbar Bedeutung.

Ob die Stromdichtevektoren für bestimmte Impulsrichtungen in der Schule vermittelbar sind oder nicht, ist eine fachdidaktische und keine fachliche Frage. Der KPK macht von diesen nur qualitativ in einigen Illustrationen Gebrauch. Dies ist sicher nicht hinreichend, um das ganze Schulbuch für untauglich zu erklären.

3 Fach und Fachdidaktik

Die Gutachter wollen in ihrer jüngsten Kritik eine widersprüchliche Verwendung des im KPK eingeführten Impulsbegriffs erkannt haben: »Mathematisch widerspruchsfrei kann

selbstverständlich jedes Flächenintegral über den Spannungstensor als »Impulsstrom« bezeichnet werden. [...] 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.« Oben wurde bereits erläutert, dass es falsch ist, dem KPK zu unterstellen, er führe den Impulsstrom derart ein, dass ihm ein Materiestrom »entspricht« oder dass er von einem Materiestrom »getragen« sei, wie es das obige Zitat aus dem Gutachterttext behauptet. Auch wenn man »Wucht« anschaulich mit Materie verbindet, ist damit nicht gesagt, dass die bewegte Masse ihren Impuls »getragen von einer Materieströmung« zugeführt bekam, und selbstverständlich behauptet dies der KPK an keiner Stelle.

Die Gutachter beklagen, dass der KPK den Impuls bei seiner Einführung mit »Schwung« oder »Wucht« (einer bewegten Masse) verbinde, wohingegen im Fortlauf des Lehrgangs der Impulsstrom auch in Zusammenhängen verwendet werde, in denen keine bewegte Masse vorhanden ist (Feder im Joch). Hierin sehen die Gutachter offenbar einen »Widerspruch«. Es bleibt unklar, ob die Gutachter tatsächlich der Auffassung sind, dass die materiellen Impulsströme im Sinne bewegter Massen die einzig möglichen sind, oder ob sie dies – fälschlicherweise – dem KPK unterstellen.

Unabhängig davon erweitert der KPK in der Tat im Fortlauf des fachlichen Lehrgangs den Anwendungsbereich des Impulsbegriffs unter anderem in der Weise, dass geschlossene Impulsstromkreise in statischen Situationen auftreten können. Dies ist in vollkommener Übereinstimmung mit der Tatsache, dass auch Kräfte in statischen Situationen auftreten können, bei denen keine Impulsänderungen auftreten. Mit dieser Erweiterung tut der KPK nichts anderes, als in **allen Lehrgängen der Physik nicht nur üblich, sondern notwendig ist**. Kein Begriff der Physik wird in der Schule in einer Weise eingeführt, die keiner späteren Verallgemeinerung bedürfte. Ein besonders naheliegendes Beispiel dafür ist der Begriff der Energie: Es hat Jahrzehnte Tradition, *Energie als die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten*, einzuführen. Die gewählten Beispiele und Bilder in den Büchern zeigen dabei stets Beispiele aus der Mechanik, so wie die Beispiele und Bilder im KPK zunächst bewegte Massen zeigen. Mit dieser Art der Einführung wird der Energiebegriff in seiner Bedeutung auf das Gebiet der Mechanik beschränkt, obwohl er von grundlegender Bedeutung für alle Teildisziplinen und physikalischen Wechselwirkungen ist. Ob eine solche Beschränkung unter fachdidaktischer Perspektive ratsam ist, d.h., ob sich die gewählten Beschränkungen und Spezialisierungen bei der Einführung eines neuen Begriffs als förderlich erweisen, ist eine *fachdidaktische* Frage. Eine überzeugende Antwort kann allein auf der Basis einer empirisch abgesicherten Abwägung von Nachteilen gefunden werden, die sich aus der Beschränkung bei der Einführung ergeben, gegen die Vorteile, die sich

aus der mit dieser Beschränkung verbundenen erleichterten ersten Zugänglichkeit ergeben. Beim Beispiel der Energie hat diese Abwägung übrigens dazu geführt, dass die eben zitierte Art der Einführung von Seiten der Fachdidaktik nicht mehr breit unterstützt wird.

Von Seiten der Gutachter aber hätte – zumindest nach ihrer eigenen Logik – längst der Vorwurf erhoben werden müssen, dass die Ihnen ohne Zweifel bekannte übliche Einführung des Energiebegriffs »widersprüchlich« sei, da sie doch die Energie in Zusammenhang mit der Mechanik einführe, sie aber für alle Teilgebiete gebraucht werde. Nun, dass sie diesen Vorwurf nicht erheben, wird allein das Resultat ihrer Gewöhnung an diese Darstellung sein.

Die DPG hat in ihren Stellungnahmen und Empfehlungen stets auf die Feststellung Wert gelegt, dass es allein fachliche Erwägungen seien, die zu ihren Schlussfolgerungen führten. Dies mag auch einer der Gründe dafür sein, dass in der Gruppe der Gutachter keine durch Forschungs- und Publikationstätigkeit ausgewiesenen Expertinnen oder Experten für naturwissenschaftliche Bildung vertreten sind. Keiner der Gutachter hat seine Einsichten und Argumentationen je einer in Fragen der naturwissenschaftlichen Bildung anerkannten Gemeinschaft zur Prüfung vorgelegt (»peer review«). Dieses Defizit findet seinen Ausdruck nun darin, dass die Gutachter spätestens mit ihren jüngsten Einlassungen und offenbar ohne dessen gewahr zu sein originär und substantiell fachdidaktische Fragen berühren – immer noch im Glauben, rein fachlich zu argumentieren: Überlegungen dazu, welche Eigenschaften und Bedeutungen ein Begriff bereits bei seiner Einführung abdecken muss und welche zunächst verzichtbar erscheinen, sind Überlegungen zur geeigneten *Elementarisierung*. Für den Begriff der Elementarisierung gibt es eine breite fachdidaktische theoretische Basis (auf einen frei zugänglichen Text dazu hatten wir bereits in unseren Ausführungen *Zum Gutachten der DPG über den KPK* im April hingewiesen). Jeder physikalische Fachbegriff wird bei seiner Einführung elementarisiert, und jeder wird, wenn nicht im Fortlauf des Lehrgangs, dann im Lauf der Schulzeit, in seiner Bedeutung erweitert und verallgemeinert. Das gilt sogar für so grundlegende Begriffe wie Raum, Zeit oder Masse. Auch der KPK elementarisiert die hier verwendeten Begriffe und gestattet sich – wie alle Lehrgänge – eine Verallgemeinerung im Fortlauf des Lehrgangs. Hieraus eine Widersprüchlichkeit konstruieren zu wollen, und zwar exklusiv für den KPK, ist nicht akzeptabel.

Vor diesem Hintergrund können die jüngsten Einlassungen der Gutachter nur als fachlich und fachdidaktisch unhaltbarer Versuch angesehen werden, das Gutachten und die darauf basierende Empfehlung der DPG trotz der unzweideutigen Aufforderung der Kollegen aus der Theorie und den vielen an anderen Stellen erläuterten Gegenargumenten aufrecht zu erhalten.