

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.