

*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?