

# Wer zieht? Wer drückt?

Friedrich Herrmann  
Karlsruher Institut für Technologie

Ich knüpfe direkt an die beiden vorangehenden Vorträge an und diskutiere den Umgang mit dem Kraftbegriff noch aus einer anderen Perspektive.

Zunächst noch einmal, wie man in der Physik korrekt mit dem Kraftbegriff umgeht: Wenn man von einer Kraft spricht, so muss klar sein, welcher Körper auf welchen die Kraft ausübt. Ein korrekter Satz kann also lauten:

*Körper A übt auf Körper B eine Kraft aus.*

Wenn man den mechanischen Zustand eines gespannten Seils beschreiben will, so legt man in Gedanken einen Schnitt durch das Seil, und zwar an einer beliebigen Stelle. Nun kann man sagen, dass das eine Stück A auf das andere Stück B eine Kraft ausübt, ebenso das andere auf das eine. Diese beiden Kräfte  $F_{AB}$  und  $F_{BA}$  sind entgegengesetzt gleich; sie bilden ein Action-Reactio-Paar.

Vor diesem Hintergrund werden einige Ungereimtheiten angesprochen, die man in der seriösen physikalischen Literatur antrifft, auch in Schulbüchern.

## 1. Das Kraftgefühl

Die erste hat zu tun mit der ersten Begegnung, die Schüler oder Studenten mit dem Kraftbegriff haben. Wir nehmen ein Physikbuch her und sehen im Sachregister nach, auf welcher Seite des Buches die Kraft zum ersten Mal angesprochen wird; wir schlagen die Seite auf, und lesen:

– in einem Schulbuch:

*Der Begriff der Kraft geht auf unser Muskelgefühl zurück.*

– in einem Hochschulbuch:

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

– in einem anderen Hochschulbuch:

*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.*

So einfach ist es: Es bedarf keiner weiteren Erklärung. Was ist daran auszusetzen? Uns steht über unsere Anstrengung ein, wenn auch grobes, Messgerät für die Kraft zur Verfügung: Große Anstrengung - große Kraft; kleine Anstrengung - kleine Kraft.

Schauen wir etwas genauer hin:

Die Betätigung eines Muskels nehmen wir als Anstrengung wahr, und zwar nicht über ein spezifisches Signal eines Sinnesorgans, sondern über einen Willensakt. Für welche physikalische Größe ist diese Anstrengung ein Maß? Zum einen wirkt, während der Muskel gespannt ist, eine Kraft. Zum anderen verbraucht der Muskel Energie. ATP wird in ADP verwandelt, und zwar egal, ob der Muskel etwas bewegt (also mechanische Energie abgibt) oder nicht (also nur Wärme produziert).

Das „Muskelgefühl“ weist also ebenso auf eine Kraft hin, wie auf einen Energiestrom. Da diese beiden Begriffe, Kraft und Energiestrom (oder Leistung) aber oft verwechselt wer-

den, ist es nicht geschickt, an das Muskelgefühl zu appellieren, um eine erste Anschauung für den Kraftbegriff zu erzeugen.

Tatsächlich können wir aber Kräfte, die auf unseren Körper wirken, qualitativ gut wahrnehmen, denn die Natur hat uns mit eigenen Sinnesorganen dafür ausgestattet: In unserer Haut haben wir Druck-, Zug- und Scherspannungssensoren, die als Kraftsensoren mindestens so zuverlässig sind, wie unsere Temperatur-, Licht- und Schallsensoren. Durch sie spüren wir Kräfte, egal ob die eigenen Muskeln im Spiel sind oder nicht. So kann man gut eine Vorstellung von der Größe der Maßeinheit Newton vermitteln: Ein leichter Druck mit dem Finger auf die Haut, oder auch ein 100-g-Gewichtsstück, das man sich auf den Arm legt.

## 2. Wer übt sie aus, wer zieht, wer drückt?

Die Gewohnheit, die Kraft mit den Muskeln in Verbindung zu bringen, führt uns in ein weiteres Dilemma. Man kann sagen, dass wir das Newton zu verdanken haben. Wenn wir in der Newtonschen Sprechweise sagen, A übe auf B eine Kraft aus, so ist nach allgemeinem Verständnis des Satzes A der Verursacher und B der Leidtragende. A drückt, B wird gedrückt. Nun übt aber zwangsläufig auch B eine Kraft auf A aus, und nun ist B der Verursacher. Das passt nicht gut zusammen.

Wir betrachten noch einmal das Seil. Wir können beliebig viele Schnittflächen im Seil anbringen und immer ist der eine Teil der Verursacher, also der, der zieht, und gleichzeitig ist es der andere. Die Metapher vom drücken und gedrückt werden taugt also nichts.

Nun sitzt die Erwartung, dass eine Kraft in irgend einem Sinn eine Ursache darstellt aber so tief, dass sie oft in noch einem anderen Sinn in eine mechanische Anordnung hineininterpretiert wird.

## 3. Wer verursacht die Kraft?

Wir betrachten die Anordnung von Abb. 1. Wir beschreiben sie zunächst in einer Art, die nicht korrekt ist, aber Sie werden sehen: sie ist suggestiv, sie ist plausibel. Also:

*Hier wirkt eine Kraft. Die Ursache dieser Kraft ist die Feder.*



Abb. 1. Die Feder verursacht die Kraft.

Was ist nicht in Ordnung an diesen Sätzen: 1. Wenn man von Kraft spricht, muss gesagt werden, wer sie auf wen ausübt. 2. Hier wirkt nicht eine einzige Kraft, sondern beliebig viele: Rechtes Federende auf rechtes Seilstück, rechtes Seilstück auf rechtes Federende, linkes Federende auf linkes Seilstück... usw. Jeder findet die Aussage, die Ursache der Kraft sei die Feder, plausibel. Ohne die Feder hätten wir keine Kraft. Wenn man nachfragt, für welche Kraft sie denn die Ursache ist, so wird man wohl zu dem Schluss kommen, dass sie alle die genannten Kräfte und Gegenkräfte verursacht.

Nun muss man aber zugeben, dass wir ohne die Fäden rechts und links und ohne die Halterung auch keine Kraft hätten.

Betrachten wir noch einige andere Situationen. Wer ist in Abb. 2. für die Kraft, nein, für die Kräfte, verantwortlich, wer zieht? Das Männchen natürlich.



Abb. 2. Das Männchen zieht.

Und in Abbildung 3? Hier zieht die Lampe.

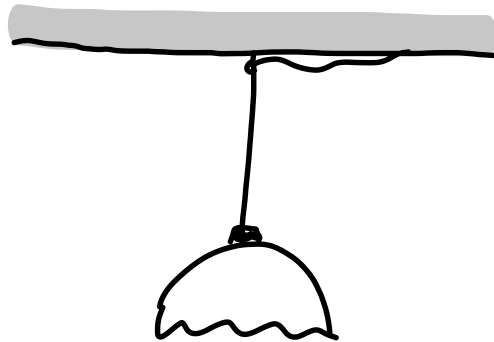


Abb. 3. Die Lampe zieht.

Wie ist es in Abbildung 4? Hier ziehen beide Federn. Aber wie das? Trägt jede zur Kraft bei? Wird die Kraft dadurch doppelt so groß?



Abb. 4. Ziehen hier beide Federn?

Und in Abbildung 5? Ziehen beide Männchen? Natürlich. So spricht man wenigstens. Aber sind beide die Ursache der Kraft? Wie die Meinung der Studenten zu dieser Frage ist, haben wir im Vortrag von Herrn Pohlig gehört.



Abb. 5. Und hier beide Männchen?

Man sieht: Das Verfahren funktioniert nicht. Es gibt keinen Grund und keine Möglichkeit, die Federn, die Männchen oder die Lampe als Kraftverursacher festzumachen; als diejenigen Teilsysteme, die ziehen.

Nun kann uns doch aber unser Gefühl nicht völlig getäuscht haben. Zeichnen sich denn Federn und Männchen und Lampe nicht doch in irgendetwas vom Rest der jeweiligen Anordnung aus? In der Tat tun sie das: Sie stellen eine Quelle mechanischer Energie dar. Dabei spielt es keine Rolle, ob sie in der betrachteten Situation wirklich Energie abgeben. Die Tatsache, dass sie mechanische Energie abgeben könnten, lässt sie als Verursacher erscheinen. Wenn man an das eine Ende der gespannten Feder einen beweglichen Körper hängen würde, so würde dieser beschleunigt, er würde von der Feder Energie bekommen, das Männchen könnte einen Körper beschleunigen oder die Lampe könnte etwas beschleunigen, wenn sie herabsinkt. Was die vermeintlichen Kraftverursacher auszeichnet, ist, dass sie Energie mechanisch abgeben können.

#### 4. Antriebskraft & Co

Wenn man nun die Kraft einer Energiequelle zuordnet, und wenn man die Anschauung von der Kraft auf eine Quelle mechanischer Energie gründet, so wundert es nicht mehr, wenn daraus die merkwürdigsten Fehlschlüsse entstehen:

*Die Antriebskraft, die vom Motor auf die Räder übertragen wird, kann...*

oder

*Ein langsam fahrendes Auto kann durch die Motorkraft beschleunigt werden.*

Beide Zitate entstammen Schulbüchern.

Etwas, was von A nach B übertragen wird, befindet sich, nach allgemeinem Sprachgebrauch, erst bei A und dann bei B. Bei den zitierten Sätzen trifft das auf die Kraft, wenn man das Wort im Sinne der Physik benutzt, nicht zu. Und: wo und wie kann man denn die Kraft, die der Motor angeblich abgibt, messen?

Richtig werden die Aussagen, wenn man das Wort Kraft mit dem identifiziert, was in der Physik Energie genannt wird.

Die Ursache für eine solche Verwechslung kommt nun nicht allein von der Newtonschen Sprechweise; sie folgt noch aus einer anderen Tradition.

Heute benutzt die Physik die Bezeichnung Kraft hauptsächlich für die Größe  $F$ . In der Vergangenheit hatte das Wort aber auch noch andere Bedeutungen. So bezeichnete man damit sowohl das, was wir heute Energie nennen –die kinetische Energie hieß „lebendige Kraft“–, als auch das, was heute Impuls heißt. Bei dem historischen Streit „um das wahre Kraftmaß“ zwischen Anhängern der Descartes'schen Auffassung und Leibniz ging es um die Frage, ob der Ausdruck  $m \cdot v$  oder  $m \cdot v^2$  das „wahre“ Maß für die Beschreibung einer Bewegung sei. Diese Tradition steckt offenbar so tief auch in der Fachsprache, dass das Wort Kraft für die Größe  $E$  genommen wird, ohne dass der Lehrer oder der Buchautor es selbst merkt. Die zunächst sorgfältigst eingeführten Größen Energie und Kraft werden lustig durcheinander geworfen.

Wie sollen wir damit umgehen?

Es ist nichts dagegen einzuwenden, wenn man sagt, die Vase drückt auf den Tisch. Das ist Umgangssprache. Sobald man diesen Satz aber interpretiert als eine Aussage über die Kraft, die die Vase auf den Tisch ausübt, hat man schon verloren, denn dann müsste man konsequenterweise auch sagen, dass der Tisch auf die Vase drückt, und das Gravitationsfeld auf die Vase usw. Also kurz: Man sei sehr sorgfältig, wenn man über Kräfte spricht.