

# 151 Tauziehen

## ZUSAMMENFASSUNG

Viele Studierende der Physik können mit dem Newtonschen Kraftbegriff nicht umgehen. Die Ursache ist in der Newtonschen Mechanik zu suchen. Da Newton den Feldbegriff noch nicht hatte, musste er Impulstransporte, d. h. Impulsströme, mit einer verwickelten Ersatzkonstruktion beschreiben.

### Gegenstand

Zwei Personen A und B spielen Tauziehen. A übt mit Hilfe des Seils eine Kraft auf B aus und B auf A, Abb. 1.

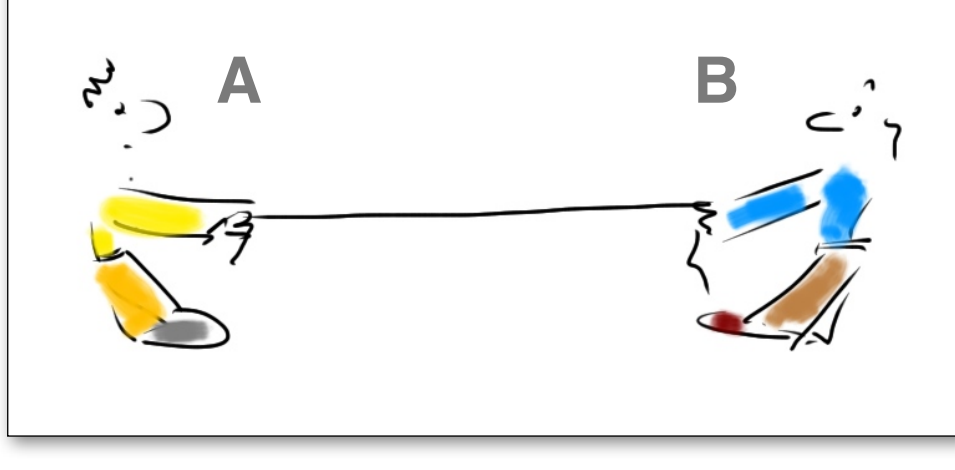


Abb. 1  
A übt auf B, und B übt auf A eine Kraft aus.

### Mängel

In einem Seminar bekommen 17 Studierende des Lehramts Physik (5. bis 7. Semester) die Aufgabe, die Kräfte beim Tauziehen in eine Abbildung einzuzichnen und die Zusammenhänge zwischen diesen Kräften zu diskutieren. Sie arbeiten in kleinen Gruppen und dürfen miteinander reden. Sie bekommen keine Hilfe vom Dozenten. Am Ende sollen sie ihr Ergebnis präsentieren. Man beginnt mit dem einfachsten Fall: Beide Personen A und B befinden sich in Ruhe und bleiben in Ruhe, also Geschwindigkeit null und Beschleunigung null. Jeder zieht mit einer Kraft von 200 N.

Es stellt sich heraus, dass es drei Meinungen darüber gibt, „welche Kraft im Seil herrscht“.

Meinung 1: Die Kraft im Seil ist null, denn  $(+ 200 \text{ N}) + (- 200 \text{ N}) = 0$ ;  
Meinung 2: Die Kraft beträgt 400 N, denn  $2 \cdot 200 \text{ N} = 400 \text{ N}$ ;  
Meinung 3: 200 N.

Da es zu keiner Einigung kommt, entschließt man sich, eine Abstimmung zu machen. Überraschenderweise votieren schließlich alle für 400 N. Weil man sich aber nach wie vor nicht sicher ist, wird überlegt, wie man feststellen könnte, ob die Aussage richtig ist. Es wird vorgeschlagen drei Kraftmesser in das Seil einzubauen, Abb. 2: einen auf der Seite von A zur Messung der „Kraft von A“, einen auf der Seite von B zur Messung der „Kraft von B“ und einen in der Mitte zur Messung der „Kraft im Seil“.

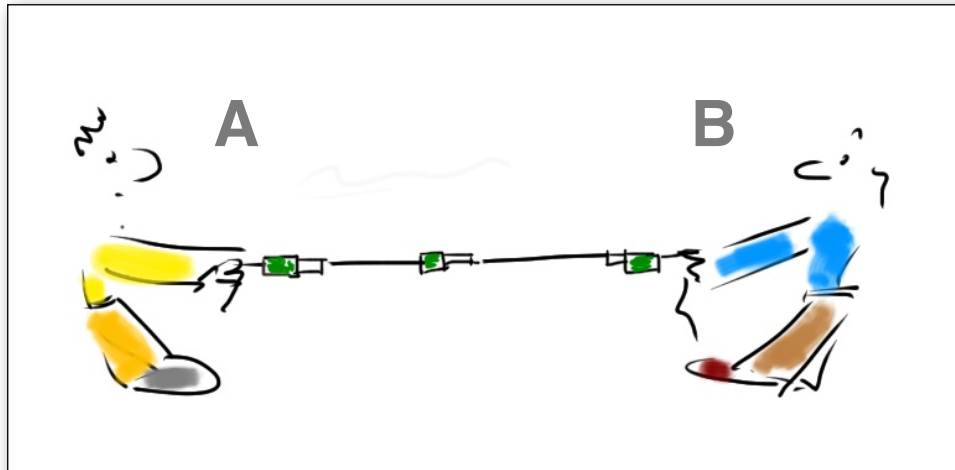


Abb. 2  
„Der linke Kraftmesser misst die Kraft von A, der rechte die von B. Der in der Mitte misst die Kraft im Seil.“

Da die Praktikumssammlung in der Nähe ist, schlägt der Dozent vor, es auszuprobieren – was auch getan wird. Das Ergebnis ruft Überraschung hervor.

So geschehen vor nicht allzu langer Zeit an der Fakultät für Physik am Karlsruher Institut für Technologie. Die beteiligten Studierenden hatten bis dahin die Newtonsche Mechanik dreimal „gelernt“: in der Mittelstufe des Gymnasiums, in der Oberstufe des Gymnasiums und in der Experimentalphysikvorlesung. Außerdem hatten sie in der Theorievorlesung die Hamilton- und Lagrangemechanik kennen gelernt. Sie machten keineswegs den Eindruck, besonders untalentiert oder unintelligent zu sein.

Man übertreibt kaum, wenn man sagt, dass dieses Ergebnis ein Fiasko ist. Wir könnten noch über weitere, ähnliche Erfahrungen mit Problemen der elementaren Mechanik berichten. Man kann das Ergebnis auch so formulieren: Die Studierenden können die Newtonsche Mechanik nicht.

### Herkunft

Die Schuld für das beschämende Ergebnis liegt nicht bei den Studierenden und auch nicht unbedingt an den Lehrern und Professoren, wenigstens nicht an deren Fähigkeiten, die Physik zu lehren. Das Ergebnis ist offenbar unabhängig davon, bei wem die Studierenden die Physik gelernt haben. Aber man sollte hier gar nicht nach der Schuld fragen, sondern nach der Ursache. Denn die ist leicht auszumachen: Es ist die Newtonsche Art, Impulstransporte zu beschreiben.

Wir betrachten die Situation der Abbildung 3: Zwei Körper A und B sind durch eine gedehnte Feder miteinander verbunden. Dabei nimmt der Impuls von Körper A zu, der von B nimmt ab.

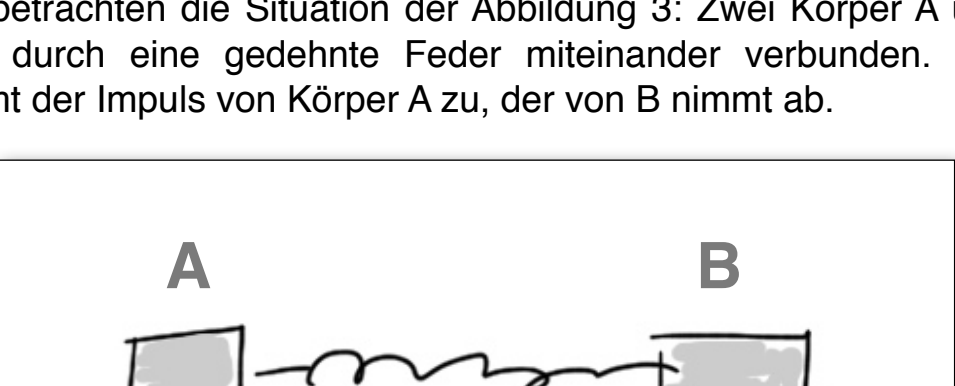


Abb. 3  
Die Feder steht unter Zugspannung. Vom rechten zum linken Körper fließt Impuls.

Wenn man die lokale Impulserhaltung ernst nimmt, so muss man sagen, der Impuls geht durch die Feder von B nach A, oder in anderen Worten, in der Feder fließt ein Impulsstrom von B nach A. Wenn man die Stromstärke beim Austritt des Stroms aus B kennt, so kennt man sie natürlich auch beim Eintritt in A und an allen Stellen dazwischen – genauer: durch jede Schnittfläche, die man durch die Verbindung zwischen A und B beschreiben kann. Wir haben den Sachverhalt hier mit einem Modell beschrieben, das sich an vielen Stellen der Physik bewährt hat: das Stoffmodell. Man stellt sich den Impuls als ein Fluidum vor, das strömen kann, ähnlich wie man es mit der elektrischen Ladung oder der Masse tut. Die Änderung des Impulsinhalts eines System kommt dann zustande durch Zu- oder Wegfluss von Impuls.

Newton konnte dieses einfache Modell nicht anwenden, denn er hätte dazu den Feldbegriff gebraucht, und den gab es noch nicht. Sein wichtigster Forschungsgegenstand war ja die Impulsänderung von Himmelskörpern. Wie kommt der Impuls (die *quantitas motus*) von der Erde zum Mond oder vom Monde zur Erde? Über ein System, das den Transport vermittelt, und das sich zwischen Erde und Mond befindet, also das, was wir heute Gravitationsfeld nennen, hatte er nicht genug Kenntnis, daher sein *Hypoteses non fingo*. Und daher sein geniales, aber sehr sperriges Kraftmodell: Statt „der Impuls geht von A nach B“ heißt es: „A übt auf B eine Kraft aus und B übt auf A eine Kraft aus und dadurch ändert sich der Impuls beider Körper.“ Dass das nicht das letzte Wort zu dem Thema war, war ihm klar [1]. Das Newtonsche Kraftmodell gestattet eine stimmige Beschreibung mechanischer Wechselwirkungen, aber der Umgang mit ihm ist, wie wir gesehen haben, schwierig.

### Entsorgung

Heute sind wir in einer viel bequemeren Lage als Newton es war. Man kann getrost davon ausgehen, dass Newton, hätte ihm der Feldbegriff zur Verfügung gestanden, die Prozesse, von denen hier die Rede ist, mit Impulsströmen beschrieben hätte. (Da er das, was bei uns heute Impuls heißt, Bewegungsgröße oder auch kurz nur Bewegung nannte, würde er wohl den zugehörigen Strom Bewegungsstrom genannt haben.)

[1] Brief von Newton an Richard Bentley; The Newton Project <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/view/texts/normalized/THEM00258>

„The last clause of your second Position I like very well. Tis unconceivable that inanimate brute matter should (without the mediation of something else which is not material) operate upon & affect other matter without mutual contact; as it must if gravitation in the sense of Epicurus be essential & inherent in it. And this is one reason why I desired you would not ascribe innate gravity to me. That gravity should be innate inherent & essential to matter so that one body may act upon another at a distance through a vacuum without the mediation of any thing else by & through which their action or force may be conveyed from one to another is to me so great an absurdity that I believe no man who has in philosophical matters any competent faculty of thinking can ever fall into it. Gravity must be caused by an agent acting constantly according to certain laws, but whether this agent be material or immaterial is a question I have left to the consideration of my readers.“