

## Kräftegleichgewicht und drittes newtonsches Gesetz

### Gegenstand:

Kräfte wirken auf Körper. Wenn ein Körper K, auf den ein anderer Körper A eine Kraft  $F_{AK}$  ausübt, nicht beschleunigt wird, so muss noch mindestens ein zweiter Körper B eine Kraft  $F_{BK}$  auf ihn ausüben, die der ersten das Gleichgewicht hält, sodass die resultierende Kraft auf K null ist. Wenn nun aber A auf K eine Kraft  $F_{AK}$  ausübt, so muss, nach dem dritten newtonschen Gesetz auch K eine Kraft  $F_{KA}$  auf A ausüben. Das Analoge gilt für B: Da B auf K die Kraft  $F_{BK}$  ausübt, muss K eine Kraft  $F_{KB}$  auf B ausüben. Alle vier Kräfte  $F_{AK}$ ,  $F_{BK}$ ,  $F_{KA}$  und  $F_{KB}$  haben den gleichen Betrag, die Richtungen sind paarweise entgegengesetzt:

$$F_{AK} = -F_{KA}, F_{BK} = -F_{KB}, F_{KA} = -F_{AK}, F_{KB} = -F_{BK}$$

So wird die Situation beschrieben, in der ein Körper K ruht. Dies ist, abgesehen von der trivialen Situation der Kräftefreiheit, die einfachste Situation, die es überhaupt gibt. Wer verstehen will, was eine Kraft ist, muss diese 4 Kräfte begrifflich unterscheiden können.

### Mängel:

Das Problem ist so kompliziert, dass es ein Durchschnittsschüler wohl nicht verstehen kann. Tatsächlich haben noch Physikstudenten im Vordiplom Schwierigkeiten, die vier Kräfte auseinanderzuhalten. Die Schule macht trotzdem den verzweifelten Versuch, den newtonschen Kraftbegriff in der Mittelstufe einzuführen.

### Herkunft:

Der Kraftbegriff, der hier vermittelt wird, stammt von Newton, d. h. aus einer Zeit als man mechanische Wechselwirkungen nur als Fernwirkungen beschreiben konnte. (Der Feldbegriff entstand erst mehr als 100 Jahre später.) Eine Kraft wurde stets zwei Körpern zugeordnet: einem, der sie ausübt, und einem, auf den sie wirkt. In dem angesprochenen Problem treten drei Körper auf, die zu 6 Kräften führen. Von diesen interessieren uns diejenigen 4, an denen der Körper K beteiligt ist. Eine begriffliche Vereinfachung wäre zu dem Zeitpunkt möglich gewesen, als der Feldbegriff durch Faraday und Maxwell eingeführt wurde. Tatsächlich ist eine solche aber erst vorgeschlagen worden, nachdem klargeworden war, dass der Impuls eine eigenständige mengenartige Größe ist und nicht nur eine bequeme Abkürzung für das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit: Max Planck hat 1908 /1/, also drei Jahre nach der Veröffentlichung der speziellen Relativitätstheorie gezeigt, dass eine Kraft nichts anderes ist, als die Stromstärke des Impulsstroms. Eine Kraft ist damit eine Größe, deren Wert sich nicht auf einen Körper bezieht, sondern auf eine Schnittfläche durch einen Impulsleiter (so wie sich auch jede andere Stromstärke auf eine durchströmte Fläche bezieht). Wendet man diese Einsicht auf die oben zitierte Situation an, so löst sich das Wirrwarr der 4 Kräfte auf: Es handelt sich bei allen vier um die (Impuls-)Stromstärke desselben Stroms, an vier verschiedenen Stellen gemessen:  $F_{KA}$  ist die Stärke des Stroms, der von A nach K fließt beim Verlassen von A,  $-F_{AK}$  ist die Stärke desselben Stroms beim Eintritt in K,  $F_{BK}$  ist die Stärke dieses Stroms wenn er K wieder verlässt und  $-F_{KB}$  ist seine Stromstärke wenn er in B ankommt. Dass der Betrag überall derselbe ist, liegt daran, dass sich Impuls nirgends anhäuft: weder auf dem Weg zwischen den Körpern, noch im Körper K selbst. Das Vorzeichen ist deshalb nicht immer dasselbe, weil man die Bezugsfläche für die Stromstärkemessung nicht einheitlich orientiert.

### Entsorgung:

Der ganze Spuk löst sich auf, wenn man statt mit Kräften mit Impulsströmen operiert. Die verbale Beschreibung unserer Situation ist dann etwa so: Es fließt Impuls von A nach K und von K nach B. Da sich nirgends Impuls anhäuft, ist die Stärke des Stroms an jeder Stelle gleich.

/1/ Planck, M.: Phys. Z. 9 (1908), S. 828