

193 Die Kraft in der Tischplatte

ZUSAMMENFASSUNG

Kräfte wirken, so sagt man, auf Körper, oder sie greifen an Körpern an. Diese von Newton stammende Sprechweise hält uns davon ab, zu fragen, wie die Kräfte in den Körpern oder auch in den Feldern sind.

Gegenstand

Im Mechanikteil der Physikschulbücher werden verschiedene Kräfte angesprochen: Gewichtskraft, Hangabtriebskraft, Normalkraft, Reibungskraft, Auftriebskraft und viele andere mehr. Von einer Kraft sagt man, ein Körper übe sie auf einen anderen aus. Wenn man den ausübenden Körper nicht erwähnen will, sagt man sie wirke auf einen Körper. Manchmal sagt man auch, sie greife an einem Körper an, oder auch, sie greife am Angriffspunkt an. Gelegentlich benutzt man noch eine andere Formulierung: Statt zu sagen ein schwerer Körper übe eine Kraft auf die Erde aus, sagt man, er übe die Kraft auf seine Unterlage aus, zum Beispiel auf eine schiefe Ebene.

Mängel

Man sieht an diesen sprachlichen Wendungen, dass man es mit einer schwierigen Größe zu tun hat (im Gegensatz zu allen Bezeichnungen, dass jeder Mensch ein natürliches Gefühl für Kräfte habe). Dass der sprachliche Umgang mit der Größe Kraft so ungewöhnlich ist, lässt erkennen, dass das Konzept auch begrifflich schwierig ist. Man kann sich leicht davon überzeugen, dass es die meisten Studierenden der Physik nicht ganz verstanden haben.

Betrachten wir den Fall, dass eine Kiste auf dem Boden steht. (Ein einfacheres statisches Problem kann man sich kaum vorstellen.) In diesem Fall übt die Erde auf die Kiste eine Kraft aus, die man nach $m_{\text{Kiste}} \cdot g$ berechnen kann. Die Erde übt die Kraft aus? Die ganze Erde? Auch die ganz unten in Neuseeland? So muss es wohl sein. Die übt sie, wie gesagt, auf die Kiste aus. Auf die ganze Kiste? Ja und nein. Schon auf die ganze Kiste. Aber sie greift ja, wie man sagt, in einem Angriffspunkt an. Wie kommt sie dann aber vom Angriffspunkt zu den anderen Punkten der Kiste? Vor allem dann, wenn die Kiste leer ist, und der Angriffspunkt dort liegt, wo sich nur Luft befindet. Und wie steht es mit der Erde? Hat sie entsprechend einen „Abgriffspunkt“? Auf jeden Fall gibt es ja nach dem 3. Newtonschen Gesetz zu unserer ersten Kraft eine Gegenkraft, und die wird wohl am Angriffspunkt der Erde angreifen. Oder doch nicht? Sagt man nicht eher, dass die Kiste die Kraft auf ihre Unterlage ausübt? Wenigstens ist das doch plausibler, als auf die ganze Erde. Stellen wir nun die Kiste auf einen Tisch. Da wird die Sache noch komplizierter. Jetzt übt die Kiste eine Kraft auf den Tisch aus, oder vielleicht genauer, auf ihre Auflagefläche auf der Tischplatte. Die Tischplatte gibt sie dann irgendwie weiter an die Tischbeine. (Aber darf man in der Prüfung so sprechen? Wie sagt man es dann aber?) Und jedes Tischbein übt eine Kraft auf die Erde aus. Wieder: Nur auf die vier Auflageflächen, oder auf die ganze Erde, also einschließlich Neuseeland? Und da gibt es dann auch noch das Gravitationsfeld. Welche Rolle spielt dieses? Es heißt manchmal, es „vermittele die Kraft“. Es vermittelt zwischen zwei Körpern, wie der Heiratsvermittler zwischen zwei Menschen unterschiedlichen Geschlechts.

Sie haben natürlich bemerkt, liebe Leserin oder lieber Leser, und Sie mögen es mir vorwerfen, dass ich mich hier absichtlich dumm gestellt habe. Natürlich habe ich das. Aber sind die Fragen, die ungeschickten Formulierungen, die ich skizziert habe, nicht eigentlich nahe liegend? Muss man denn solche Fragen nicht stellen, wenn man so an die Statik herangeführt wird, wie es in der Schule (und auch in der Physikvorlesung an der Uni) geschieht?

Das Problem ist, dass wir es bei einem statischen Problem immer mit einem geschlossenen Weg zu tun haben, oder mindestens mit einem Teilstück eines solchen Weges – nur sagen wir das nicht. Stattdessen sprechen wir bestenfalls über einige wenige Schnittstellen in diesem Weg, und schlimmstenfalls über Angriffspunkte, die, wie etwa bei einem Ring oder der leeren Kiste auch dort liegen können, wo der Körper gar nicht ist.

Der größte Teil unseres Kistenproblems, wird also gar nicht angesprochen: Wie steht es um die Kräfte **in** der Kiste, **in** der Tischplatte, **in** den Tischbeinen, **in** der Erde, **im** Gravitationsfeld? Wir haben zwei oder drei Stellen herausgepickt, für die sich die Berechnung der Kraft leicht ausführen lässt. Wir können dann aber schlecht in Anspruch nehmen, wir würden über die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler sprechen.

Man könnte meinen, hier sei nichts zu machen: Unterrichtszeit ist ein knappes Gut. Wir müssen uns auf die einfachen Fälle beschränken. Schließlich behandeln wir auch nur lineare Schwinger, und lassen die nichtlinearen für die Uni. Wir behandeln das ideale Gas und überlassen das reale Gas der Uni, etc... Wenn wir die gesamte Verteilung der Kraft in einem statischen Problem behandeln wollten (genauer: die Verteilung der mechanischen Spannungen), so brauchten wir, könnte man denken, Landau-Lifshitz Band 7 oder Ähnliches – also nichts für die Schule. Darum, so wird man schließen, beschränken wir uns darauf, die Kräfte nur an einigen wenigen Stellen zu beschreiben.

Tatsächlich liegt die Sache hier anders als im Fall der linearen Näherung bei den Schwingungen oder der Idealisierung beim Gas. Es ist ja nicht so, dass die Kraft in der Kiste geringer wäre als an der Stelle, wo die Kiste den Boden berührt. Es ist also keine Näherung was wir machen, sondern wir blenden einfach den größten Teil des Phänomens aus.

Herkunft

Man macht es wie zu Newtons Zeiten, als es noch nicht anders ging. Euler und Bernoulli waren später und haben im Unterricht kaum Spuren hinterlassen. An der Universität lernen die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer stattdessen die Theorien von Hamilton und Lagrange, die zwar sehr elegant sind, mit denen sie aber in ihrem Beruf kaum etwas anfangen können.

Die Newtonsche Mechanik benutzt eine Sprache, die die Frage nach der Kraft in einer Tischplatte, innerhalb der Erde, innerhalb der Kugel, die von einer anderen angestoßen wird, oder gar der Kraft im Gravitationsfeld, gar nicht erst aufkommen lässt. Kräfte wirken einfach **auf** Körper, **auf** die Erde oder **auf** den Mond, **auf** eine Feder, nur gelegentlich auch mal **in** einem Seil. Und natürlich weder **auf** das noch **in** dem Gravitationsfeld – denn das gab es damals noch nicht.

Entsorgung

Die von Newton eingeführte, barocke Kraftmetapher ist nicht mehr zeitgemäß. Newton hat sie ja genau mit der Absicht erfunden, nicht über die oben angeschnittenen Probleme sprechen zu müssen – zu damaliger Zeit eine geniale Idee. Das Hauptproblem war, dass er den Begriff des Gravitationsfeldes noch nicht hatte. Und natürlich war er noch weit von einer Mechanik der Kontinua entfernt.

Heute sind wir in einer viel besseren Lage und müssten uns die Newtonsche Sprache nicht mehr antun, nachdem Euler und Bernoulli die Mechanik der kontinuierlichen Medien entwickelt haben, und vor allem seitdem Planck gezeigt hat, dass man Kräfte als Impulsströme interpretieren kann. Dann geht die Beschreibung unseres Kistenproblems so: Impuls kommt von der Erde, und zwar von allen Stellen der Erde durch das Gravitationsfeld zur Kiste, im breiten Strom zu allen Punkten der Kiste, an denen sich Masse befindet; falls die Kiste leer ist, also nicht ins Innere. Dann fließt er durch die Materie der Kiste zu ihrer Unterseite, von dort in die Erde, in der er sich weit verteilt. So ist der Stromkreis geschlossen. Durch die Erde fließen natürlich noch viel mehr Impulsströme, aber der gerade beschriebene ist der Anteil, der mit unserer Kiste zu tun hat.

All das kann man sagen, noch bevor man mit irgendeiner Rechnung begonnen hat.

Manchmal hat man den Eindruck, dass die Auffassung herrscht, solange man nicht rechnet, habe man es noch nicht mit richtiger Physik zu tun. Ich bin gar nicht dieser Meinung: Das Wesentliche des Verständnisprozesses geht der Rechnung voraus.

Wenn wir sagen, das Wasser im Ozean verdunstet, wird mit der Luft auf das Land transportiert, kondensiert, fällt als Regen herunter auf die Erde, sammelt sich in Bächen und Flüssen, und gelangt so zurück ins Meer – so sagen wir sehr viel Wichtiges über den Wasserkreislauf, ohne dass wir für irgendeine Schnittfläche durch den Wasserstromkreis eine Stromstärke, oder für irgendeinen Punkt eine Stromdichte angegeben haben. Warum sollen wir nicht mit dem Impuls auf dieselbe Art verfahren? Es ist doch so einfach!