

207 Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit

ZUSAMMENFASSUNG

Wenn ein Auto mit konstanter Geschwindigkeit fährt, liegt ein Fließgleichgewicht vor. Die Geschwindigkeit stellt sich so ein, dass der durch Reibung wegfließende Impuls gleich dem mit Hilfe des Motors dem Auto zugeführten Impuls ist. Dieser einfache Sachverhalt wird oft zerredet.

Gegenstand

Zu den einfachsten, und gleichzeitig auffälligsten Bewegungen um uns herum gehört die Bewegung eines Fahrzeugs, das gleichmäßig dahin fährt: Ein Auto auf der Landstraße oder der Autobahn, oder ein Zug auf freier Strecke.

Mängel

Wie geht der Physikunterricht mit diesen Vorgängen um? In der Kinematik werden sie erwähnt und besprochen: als Beispiel für eine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit, also der einfachsten Bewegung überhaupt.

Was aber sagt die Dynamik zu der normalen Auto- oder Bahnfahrt?

Zum Beispiel das Folgende:

„Damit sich ein Fahrzeug gleichförmig bewegt, muss seinem Motor kontinuierlich Energie zugeführt werden. Denn aufgrund von Reibung wird während der Bewegung ständig Wärme an die Umgebung abgegeben.“

Die Antriebskraft ist bei der gleichförmigen Bewegung genauso groß wie die gesamte Reibungskraft F_R . Die Energie, die notwendig ist, um das Fahrzeug gleichförmig um die Strecke s zu bewegen, beträgt dann $E = F_R \cdot s$. Die kinetische Energie des Fahrzeugs bleibt bei diesem Vorgang konstant.“

Diese Sätze können korrekt sein. Es wäre allerdings schön, wenn man noch erfahren hätte, was unter der Antriebskraft zu verstehen ist. Eine Kraft wird immer von einem Körper A auf einen Körper B ausgeübt. Welches ist bei der Antriebskraft der Körper A und welches ist B? Angetrieben wird doch wohl das Auto. Dann wäre also das Auto der Körper B. Nun kommt der Antrieb doch nach allgemeiner Sprechweise und Erwartung irgendwie vom Motor. Der Motor ist aber Teil des Körpers B, auf den die Antriebskraft wirken soll. Dem Lernenden bleibt nichts weiter, als die Sätze auswendig zu lernen und wenn erforderlich, nachzusprechen.

Die Sätze beantworten auch nicht eine Frage, die der naive Leser vielleicht haben könnte: Warum bleibt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs konstant? Ist die Antwort zu schwierig? Oder ist sie trivial? Warum sind die beiden Kräfte gleich? Muss der Fahrer vielleicht mit dem Gaspedal genau die Stellung erwischen, bei der sich das Auto weder beschleunigt noch verzögert bewegt?

Fragen wir noch ein anderes Buch, was es dazu zu sagen hat. Hier wird das Thema angesprochen, nachdem die Reibung in allen ihren Einzelheiten diskutiert worden ist, mit Gleit-, Haft- und Rollreibung, mit den entsprechenden Kraftgesetzen und der molekularen Deutung. All das scheint man zu brauchen für des Verständnis des gleichmäßig dahinfahrenden Autos.

Auch wenn man nicht alles versteht, so lernt man hier auf jeden Fall: Die Sache ist außerordentlich kompliziert. Man muss, um die Bewegung des Autos zu verstehen zwischen 10 verschiedenen Kräften unterscheiden, nämlich Antriebskraft, Fahrtwiderstandskraft, Wechselwirkungskraft, Haftkraft, Gleitreibungskraft, Normalkraft, Rollreibungskraft, Luftwiderstandskraft, Hangabtriebskraft und Beschleunigungswiderstandskraft. Der wohlgesonnene Leser fragt sich allerdings auch hier, was mit der Antriebskraft gemeint ist. Im Text heißt es:

„Die Antriebskraft F_A , die vom Motor über das Getriebe auf die Räder übertragen wird, kann höchstens gleich der maximalen Haftkraft sein.“

Hier wird also klar gesagt: Die Antriebskraft kommt vom Motor. Versuchen wir zu verstehen. Nehmen wir an, die Kolben des Motors bewegen sich in senkrechter Richtung, also auf und ab. Das heiße Gas drückt auf die Kolben. Natürlich drückt es auch nach unten und nach den Seiten, aber das spielt wahrscheinlich keine Rolle, denn der Antrieb geschieht ja über den sich bewegenden Kolben. Also haben wir eine Kraft des Gases nach oben. Nun soll sich aber das Auto nicht nach oben, sondern nach vorn bewegen. Was nun? Es ist wirklich ein Problem, denn auch der Motor als Ganzes gesehen schafft es nicht, eine nach vorn wirkende Kraft zu erzeugen. Abgesehen von dem Problem, das wir schon vorher hatten: Der Motor ist doch Teil des Autos. Er soll also gar keine Kraft nach vorn ausüben, denn dann müsste er sich selbst ja dabei nach hinten bewegen.

Dumme Bemerkungen? Vielleicht. Könnte es aber vielleicht auch sein, dass sich der Autor im von ihm selbst angelegten Kräftegestrüpp verfangen, und aus Versehen, Kraft und Energie verwechselt hat? Denn mit der Energie wird der Satz richtig: sie geht vom Motor über das Getriebe zu den Rädern, oder „wird übertragen“, wenn man es etwas gelehrter ausdrücken will.

Herkunft

Mit Galileis Entdeckung des Trägheitssatzes, dem ganzen Werk von Newton, den Schriften von Descartes und Huygens begann ein Neustart der Naturwissenschaft, eine Fortsetzung von etwas, das vor etwa 2000 Jahren in Griechenland begonnen hatte, dann aber schon bald in einen viele Jahrhunderte dauernden Dämmer Schlaf gefallen war. Seit Galilei und Newton wusste man nun: Kräfte verursachen Beschleunigungen. Diese Erkenntnis war großartig. Sie hatte allerdings auch eine negative Begleiterscheinung: Die Reibung, die ja rückblickend zu Aristoteles' eher unglücklichen Deutung der Bewegung von Körpern geführt hatte, erschien jetzt nur noch als Störung der Schönheit des neuen Lehrgebäudes. Die richtige Physik spielte sich, so sah man es jetzt, im reibungsfreien Raum ab. Der Pferdewagen damals oder das Auto und der ICE heute kämpfen während sie fahren, nur gegen diese Störung an. Ordentliche Physik beobachtet man bestenfalls beim Anfahren.

So wurde das 2. Newtonsche Gesetz zum Allerheiligsten der Physik, auch wenn es im Lichte der danach folgenden Entdeckungen und Einsichten, nicht mehr ist, als Ausdruck der Erhaltung einer physikalischen Größe, nämlich des Impulses. Nun ist der Impulssatz zwar ein wichtiges physikalisches Gesetz, aber doch nicht unbedingt wichtiger als die Gesetze über Erhaltung oder Nichterhaltung anderer extensiver Größen, wie Energie, elektrischer Ladung, Entropie oder Drehimpuls, die man in der Folge entdeckt hat.

Und noch eine Bemerkung zu den vielen Kräften: Inzwischen ist der Neuerer Newton auch schon über 300 Jahre alt, und seither ist einiges passiert. Die Kraftmetapher, so genial sie zu Newtons Zeit auch war, brauchen die Kraftmetapher, so genial sie zu Newtons Zeit auch war, braucht die Tatsache benutzt, dass Kräfte als Impulsströme gedeutet werden können, so entdeckt man, dass mehrere Kräfte aus unserer Liste, einfach ein und derselbe Impulsstrom an verschiedenen Stellen oder mit verschieden orientierten Flächen gemessen sind.

Entsorgung

Die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit bei Anwesenheit von Reibung ist ein schönes Thema für die Schule – wichtig, nicht trivial, aber auch nicht zu schwierig. Sie ist ein einfaches Beispiel für das, was man in der Physik ein Fließgleichgewicht nennt: Der Wegstrom stellt sich so ein, dass er gleich dem Zustrom ist.

Das gilt für das Wasser, das in einen Behälter mit einem Loch fließt, Abb. 1. Der Behälter sei zunächst leer. Man öffnet den Wasserhahn und lässt das Wasser laufen. Der Wasserspiegel steigt; dadurch nimmt die Stromstärke des abfließenden Wassers zu. Sie nimmt so lange zu, bis der Wegstrom gleich dem Zustrom geworden ist.

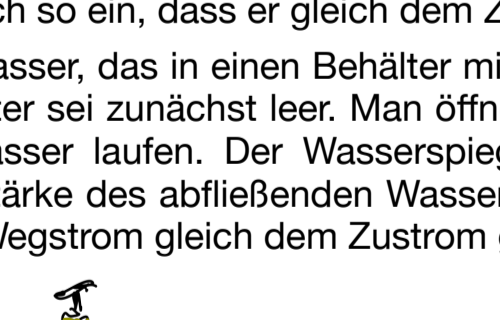


Abb. 1. Das Wasserniveau stellt sich so ein, dass genau so viel Wasser abfließt wie zufließt.

Dasselbe haben wir beim Auto. Der Motor sorgt dafür, dass aus der Erde ein Impulsstrom ins Auto fließt. Die Geschwindigkeit des Autos nimmt zu, dadurch nimmt die Stromstärke des (durch Reibung) wegfließenden Impulses zu. Sie nimmt so lange zu bis der Impulsabfluss gleich dem Zufluss ist.

Man kann das Analoge über einen Raum sagen, den man heizt. Zunächst nimmt die Temperatur zu. Dadurch... usw.

Auch die mittlere Temperatur der Erdoberfläche ist das Ergebnis des Einstellungsprozesses eines Fließgleichgewichts.

Man könnte einwenden, in den oben zitierten Lehrbuchpassagen, sollte ja viel mehr gesagt werden als nur das Einstellen des Geschwindigkeitsgleichgewichts. Nehmen wir mal an, die Texte enthielten keine Fehler: auch dann sind sie unpassend. Der Handlungsbedarf bei der Konzeption des Physikunterrichts besteht heute nicht so sehr darin, welche neuen Themen wir hereinbringen sollen. Bevor wir neue Themen aufnehmen, müssen darüber entscheiden, was wir dafür rauswerfen. Die zehn Kräfte beim Auto wären dafür gute Kandidaten.