

# Die Kraft ist ein Zwillingenpaar

Beispiele zur Einführung des Wechselwirkungsprinzips in der Schule

U. Backhaus

11. Juni 2001

Der vorphysikalische Kraftbegriff, den Schüler aus dem Alltag mit in den Physikunterricht bringen, ist dadurch gekennzeichnet, dass Kräfte Körpern (insbesondere Lebewesen) zugeschrieben werden und zur Klärung von *Ursache* und *Wirkung* herangezogen werden. In der Physik dagegen kennzeichnen Kräfte *Wechselwirkungen zwischen Körpern*. An anderer Stelle ([2]) wurde deshalb vorgeschlagen, das Wechselwirkungsprinzip zum Ausgangspunkt für die Einführung des Kraftbegriffes in der Schule zu machen. Das 3. Newton'sche Gesetz, insbesondere seine völlige Symmetrie, widerstrebt jedoch dem Vorverständnis der Schüler. Deshalb muss es an vielen Beispielen veranschaulicht und erläutert werden.

## 1 Beispiele für Wechselwirkungen

Bei einer solchen Einführung sollte, ausgehend von symmetrischen Situationen (Kinder auf dem Eis (Bild 5 in [2]) oder auf Skateboards, Kind und Hund (Bild 1 in [2])), die Aufmerksamkeit auf die beiderseitigen Bewegungsänderungen bei unsymmetrisch aussehenden Vorgängen (Magnet und Eisen, Kopfball (Bild 2 in [2])) gelenkt werden, die immer auftreten, wenn nur zwei Körper miteinander wechselwirken. In der Regel wird man dabei auch die gegenseitigen Verformungen sichtbar machen können. Manchmal aber sind die Beschleunigungen und Verformungen so klein, dass sie nur mit Tricks sichtbar gemacht werden können:

- Bei Stößen treten Verformungen nur kurzzeitig auf. Man kann sie durch Fotografieren sichtbar machen (z.B. Bild 2 in [2], Bild 1). Man kann sie aber auch verdeutlichen, indem man den Vorgang künstlich verlangsamt: Ein Stoß z.B. dauert umso länger und die dabei auftretenden Verformungen sind umso größer, je weicher die beteiligten Körper sind. So ist die Verformung des Bodens bei einem hüpfenden Ball nicht auf Beton, wohl aber auf Sand oder Rasen zu erkennen. Und die Verformung einer großen hüpfenden Seifenblase ist sehr eindrucksvoll.
- Die Verformung eines hüpfenden Balles wird sichtbar, wenn der Ball nass gemacht wird und einen feuchten Fleck auf dem Boden hinterlässt.
- Die Verformung eines Tisches, z.B. unter einer Last, aber auch unter einem hüpfenden Ball kann man mit Spiegel und Laserstrahl sichtbar machen.

- Die Größe der gegenseitigen Beschleunigungen hängt vom Massenverhältnis ab (Bild 2) . Man kann sie sichtbar machen, indem man die Massen – z.B. von Magnet und Eisenkörper oder der Kinder auf Rollbrettern – geeignet verändert.

Durch zahlreiche Beispiele wächst allmählich das Vertrauen in die Aussage, dass bei solchen Vorgängen *immer* wechselseitige Bewegungsänderungen und Verformungen auftreten, selbst dann, wenn man sie nicht ohne weiteres bemerkt.

## 2 Suche nach Gegenbeispielen

Weiteres Vertrauen lässt sich erzielen durch die Aufforderung, nach „Kräften ohne Partner“ zu suchen. Die meisten Vorschläge werden auf Vorgänge zielen, die aufgrund der „Aktivität“ bzw. „Passivität“ der Partner oder durch verschiedene Massen oder Elastizität unsymmetrisch erscheinen. Man muss dann die Verformungen und Bewegungsänderungen auf die oben angedeutete Weise sichtbar oder plausibel machen.

Vorgänge, die auf der Gravitationsanziehung beruhen, sollten möglichst spät behandelt werden: Die Behauptung, nicht nur die Erde ziehe den Ball an, sondern umgekehrt auch der Ball die Erde, kann erst glaubwürdig sein, wenn das Wechselwirkungsprinzip aufgrund anderer Beispiele akzeptiert worden ist. Tatsächlich lässt sie sich direkt gar nicht beweisen. Man kann sie nur durch Hinweis auf die Anziehung zwischen Erde und Mond, bei der das Massenverhältnis etwas günstiger ist, plausibel machen: Auch die Erde wird durch den Mond auf einem – wenn auch kleinen – Kreis herumgeschleudert. Man erkennt es am Flutberg auf der mondabgewandten Seite der Erde (Bild 3)<sup>1</sup>.

Weitere Vorschläge werden sich auf Vorgänge beziehen, bei denen offensichtlich nur einer der Partner beschleunigt wird, z.B. beim Abstoß von der Bande einer Eisfläche oder beim Zusammenprall eines bewegten Gegenstandes mit einem Baum, einer Wand o.ä., oder sogar beide in Ruhe bleiben (siehe z.B. Bilder 1 und 4 in [2]). In diesen Fällen wird herausgearbeitet, dass ein Körper, der seinen Bewegungszustand nicht ändert, obwohl offensichtlich eine Kraft auf ihn wirkt, *immer* noch mit einem weiteren Körper wechselwirkt: Der Hund, die Bande und der Baum „halten sich an der Erde fest“, der an einem Haken hängende und von diesem (an der Verformung erkennbar) offensichtlich nach oben gezogene Einkaufsbeutel wird von der Erde nach unten gezogen.

Anhand dieser Beispiele kann herausgearbeitet werden, dass sich die bewegungsändernden Einflüsse auf den Körper gegenseitig aufheben: Kräftegleichgewicht! Trotzdem wird der Körper in der Regel dadurch verformt werden, dass die beiden Kräfte an verschiedenen Stellen angreifen.

Die „Fliehkraft“ ist ein weiteres beliebtes „Gegenbeispiel“: Im Kettenkarussell wird man offensichtlich nach außen gezogen, ohne dass dort „jemand“ zieht und ohne dass man selbst zieht. Mit diesem Gegenbeispiel haben die Kinder Recht, wenn sie den Vorgang konsequent in dem Bezugssystem beschreiben, in dem das Karussell ruht: Die Fliehkraft ist eine *Scheinkraft, für die das Wechselwirkungsprinzip nicht gilt!* Man kann jedoch klären, dass im Inertialsystem keine nach außen gerichtete Kraft auftritt: Aufhängung

---

<sup>1</sup>Gleichzeitig zeigt dieses Beispiel, dass auch bei Volumenkräften Verformungen auftreten, wenn sie inhomogen sind: Die Flutberge entstehen, weil die Gravitationskraft des Mondes mit dem Abstand abnimmt.

und Schwerkraft erzeugen zusammen eine nach innen gerichtete Kraft, die den Fahrer in die Kurve zwingt (Bild 4). Schwierig sind solche Beispiele deshalb, weil man die Fliehkraft zu *fühlen* meint. Was man jedoch spürt ist die Wechselwirkung mit dem Sitz. Man kann sie *interpretieren* als Anzeichen einer nach außen gerichteten Fliehkraft (wenn man sich auf die Aufhängung konzentriert und sich in Ruhe wähnt, im rotierenden Bezugssystem also) oder als Hinweis auf die nach innen gerichtete Zentripetalkraft, die einen im Kreis herumschleudert (wenn man auf die Umgebung achtet, im Inertialsystem also).

### 3 Weitere Probleme

Die gewonnenen Einsichten lassen sich durch zusätzliche Probleme und scheinbare Widersprüche weiter vertiefen. Beispiele:

- Kann das Auto in Bild 3 ([2]) „allein“, d.h. nur durch seinen Motor, anfahren? Nein! Es muss durch Reibung mit dem Boden wechselwirken. „Der Boden schiebt das Auto an.“ (Bild 5) Auf einer Eisfläche kann das Auto trotz eines „starken“ Motors nicht anfahren, weil er keine Kraft auf den Boden und dieser keine Kraft auf das Auto ausüben kann.
- Warum würde der Magnetantrieb der Lokomotive Emma bei Jim Knopf (Bild 6) in Wirklichkeit nicht funktionieren? Weil Lokomotive und Magnet sich gegenseitig anziehen (Bild 7).
- Warum konnte sich Münchhausen nicht selbst aus dem Sumpf ziehen (Bild 8)? Überspitzt formuliert: Er kann nur von einem anderen Körper aus dem Sumpf gezogen werden. Oder: Er könnte sich nur an einem anderen Körper hochziehen – wie Micky in Bild 9 an der Decke!
- Was zeigt ein Federkraftmesser an, wenn auf beiden Seiten gezogen wird (Bild 10)? Beide Male wird von beiden Seiten gezogen: *Der Federkraftmesser misst, wie stark zwei Körper aneinander ziehen!*
- Wer gewinnt beim Tauziehen (Bild 11)? Es gewinnt *nicht* die Mannschaft, die stärker an dem Seil zieht! Denn mit Hilfe dieses Seiles ziehen die beiden Mannschaften *aneinander*, d.h. aber, in jedem Fall mit einer gleich großen Kraft. Ob eine Mannschaft ins Rutschen oder Kippen gerät ist eine Frage des *Kräftegleichgewichts* an dieser Mannschaft. Der Wettkampf wird deshalb *am Boden* entschieden.<sup>2</sup>
- Ein Trecker zieht einen Anhänger mit konstanter Geschwindigkeit (Bild 12). Wie groß sind die Kräfte, die Trecker und Anhänger aufeinander ausüben? Wie groß sind die Kräfte, die der Boden auf die Fahrzeuge ausübt? Was ändert sich, wenn der Trecker den Anhänger gerade in Bewegung setzt?

---

<sup>2</sup>Offensichtlich ist dieses Beispiel zu komplex, um für die Einführung des Kraftbegriffes geeignet zu sein.

## Literatur

- [1] U. Backhaus, H. J. Schlichting, L. Schön: *Physikbuch 7/8*, Diesterweg, Frankfurt 1995
- [2] U. Backhaus: *Das 3. Newton'sche Gesetz und der physikalische Kraftbegriff*, in diesem Heft
- [3] W. J. Kaufmann, R. A. Freedman: *Universe*, Freeman, New York 1998
- [4] H. Muckenfuß: *Bewegungsarten von Körpern als Zugang zum Kraftbegriff*, NiU-PC **36/34**, 11 (1988)
- [5] *Tipler, Physik*, Spektrum Verlag, Heidelberg

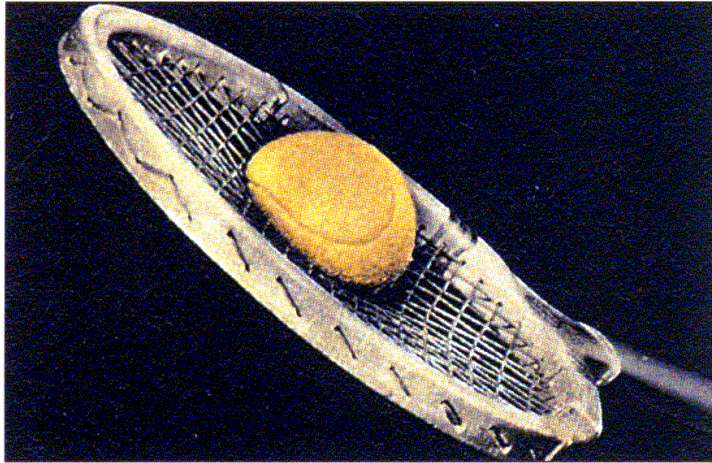


Abbildung 1: Tennisschläger und Ball verformen sich gegenseitig! (aus [1])

## Die Bilder

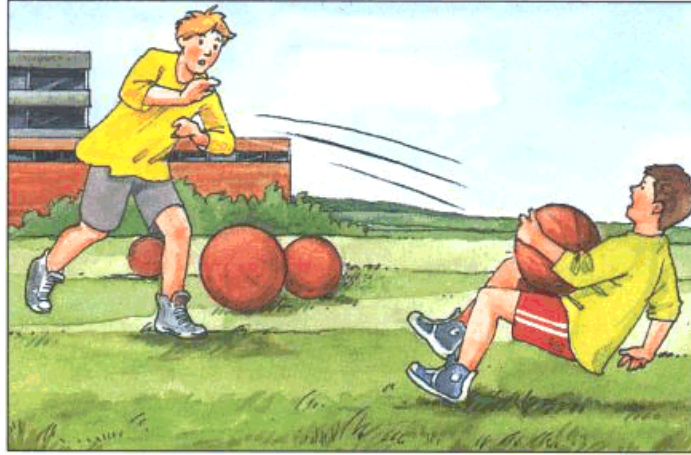


Abbildung 2: Ein Ball kann einen leicht aus dem Gleichgewicht bringen! (aus [1])

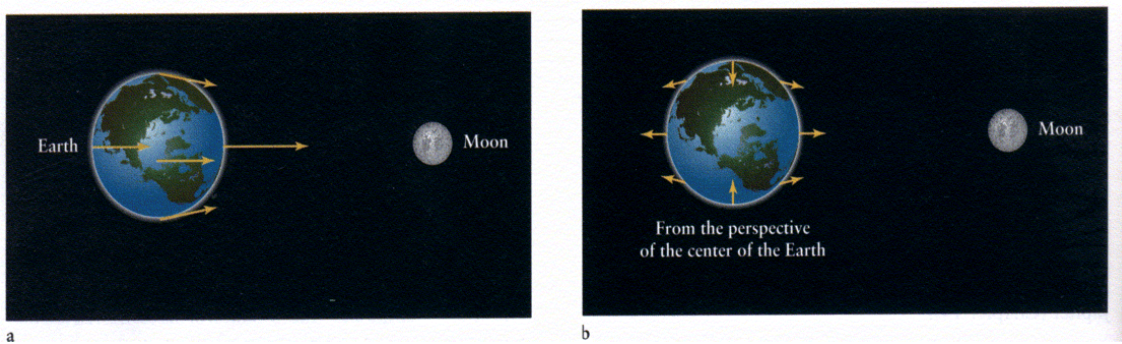


Abbildung 3: Erde und Mond ziehen sich gegenseitig an. Der zweite Flutberg beweist es! (aus [3])

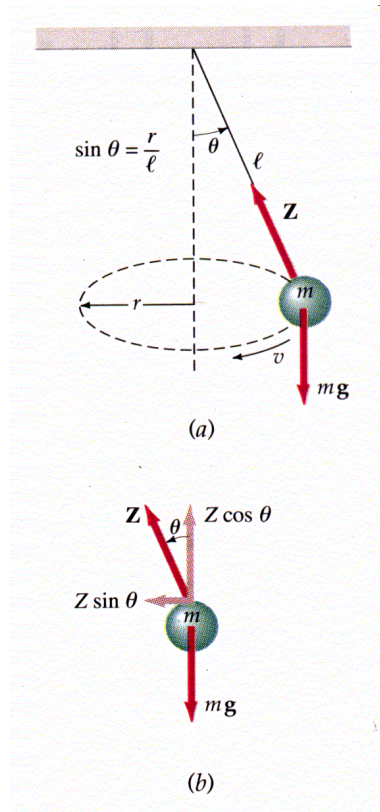


Abbildung 4: Die Kugel (der Insasse) wird in die Kurve gezwungen. (aus [5])

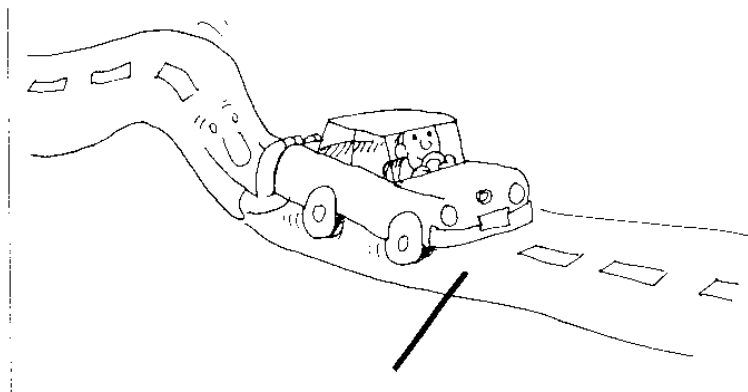


Abbildung 5: Die Straße schiebt das Auto an. (aus [4])

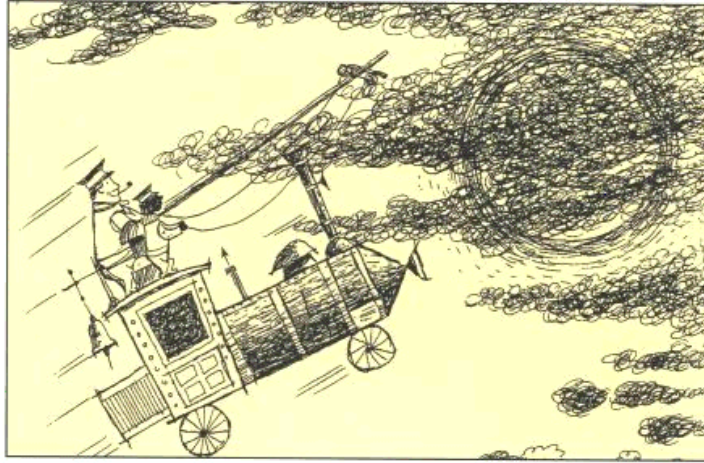


Abbildung 6: Magnetantrieb bei Lukas dem Lokomotivführer (aus [1])

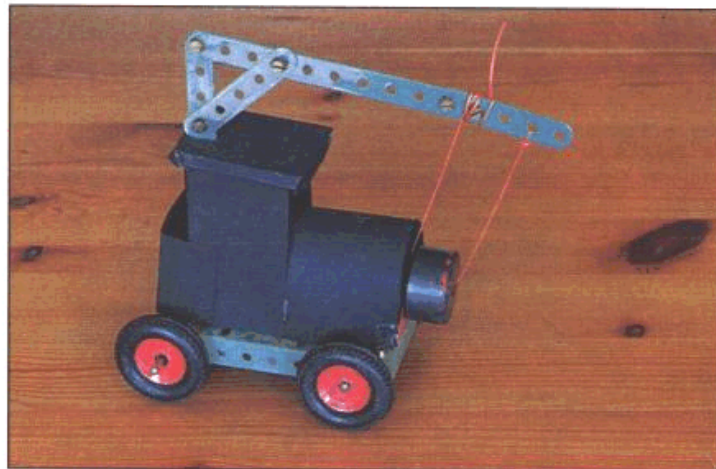


Abbildung 7: Nachbau des Magnetantriebs (aus [1])



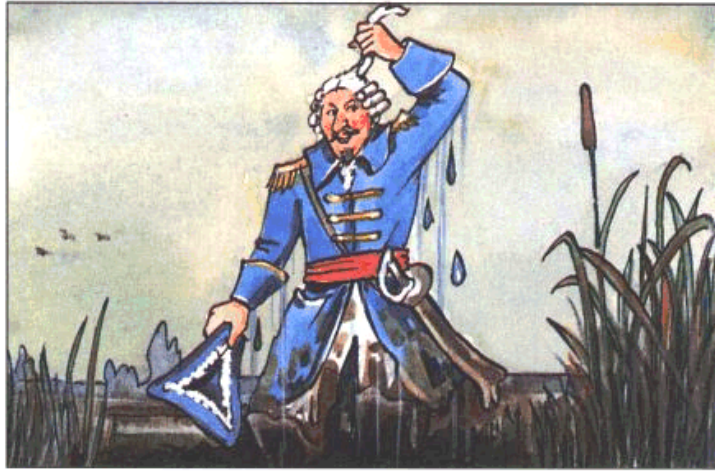


Abbildung 8: Lügt Münchhausen? (aus [1])

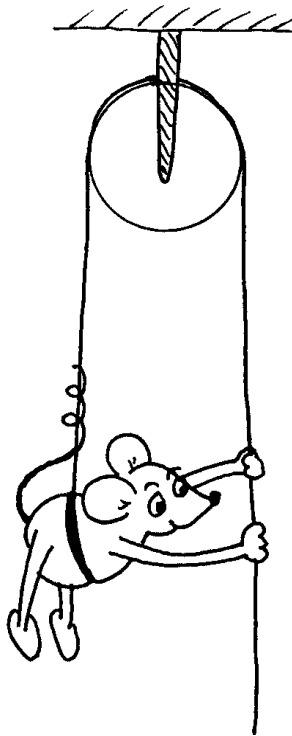


Abbildung 9: Kann sich Micky selbst hochziehen?

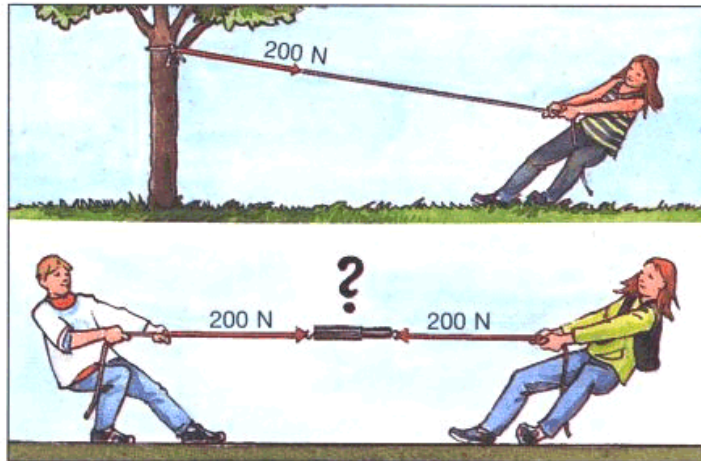


Abbildung 10: In welchem Fall muss das Seil mehr aushalten? (aus [1])



Abbildung 11: Welche Mannschaft gewinnt? Warum? (aus [1])

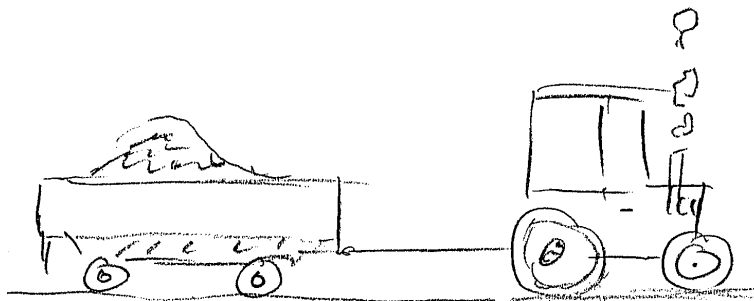


Abbildung 12: Wer zieht hier wen?