

## IM BLICKWINKEL

## Attraktive Kugeln

Fast jeder kennt die Klick-Klack-Maschine, auch Newtons-Cradle genannt (Abbildung 1). Prallt eine Kugel gegen eine Reihe sich berührender Kugeln, so bleibt sie nach dem Stoß stehen, und die letzte Kugel am anderen Ende setzt die Bewegung mit etwa der gleichen Geschwindigkeit fort, mit der die erste auf die Reihe prallte. Dies demonstriert Impuls- und Energieerhaltungssatz. Es gibt jedoch eine Variante, in der die Energieerhaltung verletzt zu sein scheint.



**Abb. 1** Klick-Klack-Maschine (oben) und Kugelkette unterscheiden sich äußerlich kaum. Doch der Versuch verblüfft den Zuschauer.

Wieder haben wir eine Kugelkette, auf die eine Kugel sehr langsam zurollt. Doch erstaunlicherweise schießt die Kugel am anderen Ende mit hoher Geschwindigkeit davon. Die Zuschauer stehen verblüfft vor diesem Phänomen. Den Trick bemerken die meistens nicht, weil der Vorgang so schnell abläuft. Beim genauen Hinsehen fällt auf, dass die ankommende Kugel im letzten Moment von der Kugelkette angezogen wird. Hier ist Magnetismus im Spiel. Aber wie?

Wären alle Kugeln magnetisch, so könnte es ebenso wenig zu dem frappierenden Kugelschuss kommen wie bei unmagnetischen Kugeln. Doch mit einer einzigen magnetischen Kugel, die am Anfang der Kette positioniert ist (rote Kugel in Abbildung 2), lässt sich das Rätsel lösen. Diese stark magnetische Kugel hält

zum einen den Rest der Kugeln der Kette fest zusammen. Zum anderen zieht sie die langsam ankommende Kugel an. Dabei beschleunigt sie diese aufgrund der starken, aber kurz reichweiten Anziehungskraft am Schluss sehr stark. Dadurch prallt die Kugel mit hoher Geschwindigkeit auf die Kette. Es ist erstaunlich, dass der Zuschauer von dieser Beschleunigung in der Regel nichts bemerkt. Offenbar wird seine Aufmerksamkeit sofort auf die rasch davonschießende Kugel gelenkt.

Aber selbst wenn man den Trick kennt, ist oft nicht unmittelbar klar, was hier „abgeht“: Die anrollende Kugel wurde mit nahezu verschwindender Geschwindigkeit und entsprechend geringer kinetischer Energie in Gang gesetzt. Woher nimmt dann die wegschießende Kugel ihre Energie?

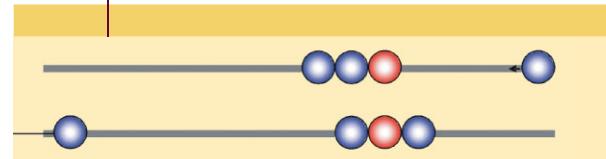
Die wegfießende Kugel ist im vorliegenden Fall zwei Kugeldurchmesser von der Magnetkugel entfernt und wird daher weniger stark angezogen als die anrollende Kugel kurz vor dem Aufprall. Die wegfießende Kugel erhält daher fast die gesamte Energie übertragen, die die anrollende Kugel auf der letzten Distanz vom Durchmesser einer Kugel aufnimmt. Der Vorgang ist im Unterschied zur Klick-Klack-Maschine nicht umkehrbar. Lässt man eine weitere Kugel auf die Endkonstellation der Kette anrollen, so bleibt die äußere Kugel haften.

Einen Eindruck von der Größe der magnetisch gespeicherten Energie, die für die wegfießende Kugel verfügbar wird, gewinnt man, wenn man die Ausgangskonstellation

wieder herstellt. Man muss verhältnismäßig große Kräfte aufbringen, um die unmagnetische Kugel von der magnetischen zu trennen und wieder auf Abstand zu bringen. Die durch diese Trennung aufgewandte „Bindungsenergie“ kann man als im System der Kugelkette gespeichert ansehen. Sie steht fortan für einen erneuten „Schuss“ zur Verfügung.

Zu Beginn des Vorgangs befindet sich die Kugelkette in einem labilen

**ABB. 2 | KETTE MIT MAGNETKUGEL**



Kugelkette vor (oben) und im Moment der Kollision, in dem die äußere Kugel mit hoher Geschwindigkeit davonfliegt.

Gleichgewicht (unsymmetrische Konstellation in Abbildung 2 oben), das durch die hinzukommende Kugel in ein stabileres Gleichgewicht überführt wird (symmetrische Konstellation in Abbildung 2 unten), wobei die wegfießende Kugel den größten Teil der überschüssigen Energie mit sich fort trägt. Damit die Kugeln nicht durch kleinste Störungen von selbst ins stabile Gleichgewicht übergehen, in dem die drei Kugeln ein gleichseitiges Dreieck bilden, muss man den Vorgang in einer Rinne oder an der Kante eines Lineals ablaufen lassen.

Systeme aus Magnet- und Stahlkugeln fordern geradezu weitere Experimente heraus. Beispielsweise kann man sich durch geeignete Abstandhalter Aufschluss über das Kraftgesetz verschaffen. So lässt sich die Flugweite der Kugel beispielsweise steigern, indem man die Kette um eine Stahlkugel verlängert oder eine kleinere Endkugel wählt. Weitere Varianten mit mehreren Magnetkugeln bieten sich an und führen zu erstaunlichen Resultaten.

Geeignete Magnetkugeln erhält man beispielsweise über das Internet bei [www.supermagnete.de](http://www.supermagnete.de). Die unmagnetischen Stahlkugeln kann man aus Kugellagern ausbauen.

H. Joachim Schlichting, Uni Münster