

# Befreiende Luftströme im Sand

Es ist leichter, ein Trinkglas kopfüber in lockeren Sand zu drücken, als ein beidseitig offenes Rohr gleicher Abmessungen. Die aus dem Glas nach unten herausgepresste Luft zerstört Kraftbrücken zwischen den Körnern, die sich normalerweise durch Reibung bemerkbar machen.

»spektrum.de/artikel/2120772

»Das Sandkorn ist gewiß das nicht, wofür ich es ansehe«

Georg Christoph Lichtenberg

Zur Aufbewahrung von Tee benutze ich eine alte ostfriesische Teedose. Im oberen Bereich verjüngt sie sich, damit die Blätter problemlos in den Messbecher geschüttet werden können, der zugleich als Deckel dient. Beim Nachfüllen muss ich einen Trichter benutzen, und das funktioniert nicht immer ohne Probleme. Oft stockt der Fluss der Blätter. Die intuitive Idee, ihn durch Druck zu verstärken, bringt hier nichts. Ich erreiche dadurch eher, dass sich alles bloß noch mehr verdichtet und ich die Prozedur von vorn beginnen muss.

Dieses Verhalten betrifft nicht nur Teeblätter, sondern alle Granulate wie Sand, Salz, Müsli oder Erbsen. Die Ursache sind so genannte Kraftbrücken. Den größten Teil des ausgeübten Drucks nehmen granulare Netzwerke auf, quer durch das Material verlaufende Verdichtungen. An ihnen wird die Kraft von einer Wand zur anderen abgeleitet. Das baut so etwas wie eine Barriere für nachfließende Materie auf. Dann rutschen die Teilchen nicht mehr in dem Maß nach, wie sie unten herausrieseln, sondern stützen sich gegenseitig und an den Wänden ab.

Seit Menschengedenken dient dieser Effekt der Konstruktion von freitragenden Brücken und Bögen in Gebäuden. Solche Gewölbe

werden allerdings gezielt hergestellt, während sie in Granulaten durch Zufall an nicht vorherbestimmbaren Stellen entstehen und sich weitgehend der Kontrolle entziehen.

Beim Tee ist die sanfte Tour erfolgversprechender als Druck. Leichtes Klopfen oder Schütteln senkrecht zur Fließrichtung an der entsprechenden Stelle am Trichter löst die Blockade in den meisten Fällen auf.

In der Physik der granularen Materie werden solche Phänomene Jamming genannt. Eine eindrucksvolle Demonstration bietet ein Stab, den man mit großer Kraft in ein schmales Röhrchen presst, das mit Sand oder einem anderen Granulat gefüllt ist. Er sitzt schließlich so fest, dass man mit ihm das Behältnis samt Inhalt hochheben kann, sofern deren Gewicht nicht zu groß ist. Leichtes Schütteln setzt die Schwerkraft wieder in ihre alten Rechte – das Gefäß fällt.

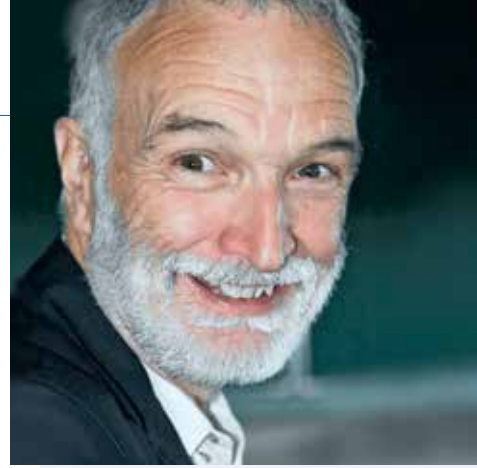
Ebenso macht das Geschicklichkeitsspiel Scheibemikado von dem erstaunlichen kollektiven Verhalten Gebrauch. Hier muss man aus einer Fläche mit Scheibchen, die von einer starken Feder zusammengedrückt werden, einzelne entfernen, ohne dass sich die Nachbarn bewegen.

Noch bevor die Kraftbrücken im Rahmen der Physik der granularen Materie näher erforscht wurden, habe ich sie unwissentlich beim Spiel mit meinem Sohn im Sandkasten kennen gelernt. Der Versuch, ein Installationsrohr in den trockenen Sand zu drücken, gelang mir nur mit äußerster Anstrengung. Klopfen und Rüt-



H. JOACHIM SCHLICHTING

**FIXIERTES GEFÄß** Ein offenes und mit Sand gefülltes Behältnis lässt sich an einem Stab hochheben, wenn dieser fest genug hineingedrückt wurde.



H. Joachim Schlichting war Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. Seit 2009 schreibt er für »Spektrum« über physikalische Alltagsphänomene.



**SCHEIBENMIKADO** In dem Geschicklichkeitsspiel stehen die Scheiben im unteren Teil unter Federdruck. Die dadurch entstehenden Kraftbrücken schirmen stets einige Steine ab. Diese gilt es zu entnehmen, ohne dass sich der Schieber bewegt.

teln halfen wenig. Zu meinem Erstaunen beobachtete ich bei anderer Gelegenheit, wie mein Sohn ein Trinkglas von vergleichbarem Durchmesser ohne große Mühe auf dieselbe Weise im Sand versenkte. Lag das vielleicht daran, dass Glas auf Grund seiner Materialeigenschaften leichter durch den Untergrund gleitet als ein PVC-Rohr? Doch als ich Letzteres durch einen passenden Deckel fest verschloss, ließ es sich einfacher hineinschieben.

**PARADOXE SITUATION** Ein Becher ohne Boden lässt sich nur schwer in den Sand drücken. Gegen alle Intuition fällt es wesentlich leichter, das geschlossene Gefäß zu versenken. Dabei beobachtet man Luft, die an den Seiten herausgeblasen wird und kleine Hügelchen erzeugt.



Das widerspricht der Intuition, weil dann Luft eingesperrt ist und bei der Aktion komprimiert wird. Man könnte leicht vermuten, dadurch käme es zu einer zusätzlichen Gegenkraft, so wie es der Fall ist, wenn man ein umgestülptes Glas in ein Wasserbecken drückt. Stattdessen erleichtert die Luft das Ganze irgendwie.

Die Sache geriet in Vergessenheit, bis ich vor einiger Zeit auf eine Fachpublikation stieß. In dieser berichtete eine Gruppe von Physikern der Universität Paris VII über Messungen, die man als quantitative Fortführung unserer Spielereien im Sandkasten betrachten kann.

Das Team hat derartige Sandexperimente in reproduzierbarer Weise präpariert und sie sowohl in lockeren als auch in verfestigten Schichten durchgeführt. Auf ihren Zylinder übertrugen die Wissenschaftler eine Kraft, indem sie ihn mit einem Behälter belasteten. Dessen Gewichtskraft vergrößerten sie systematisch. Als Maß für die Leichtigkeit des Eindringens des Zylinders ermittelten sie die jeweils erreichte Tiefe.

Die Forscher bestätigten unsere erstaunliche Beobachtung, dass ein geschlossenes Rohr wesentlich einfacher versenkt werden kann als ein offenes. Der Versuch lässt sich mit zwei Plastikbechern nachstellen, wenn man bei einem der beiden den Boden entfernt. Presst man den intakten Becher in den Sand, gerät das abnehmende Luftvolumen unter erhöhten Druck. Dieser wird schließlich so groß, dass die Luft an der inneren Seite unter den versenkten Rand strömt und an der Außenseite ins Freie gelangt. Das wirbelt den Sand im Grenzbereich auf und verflüssigt ihn regelrecht, indem es fixierende Kraftbrücken unterbricht und verhindert, dass sich neue bilden.

Der Luftstrom beim Druck auf den Behälter erfüllt in etwa die Funktion meines leichten Klopfens beim Lösen stockender Teeblätter. Der luftgefüllte Raum zwischen den eigentlichen Teilchen eines Granulats ist also nicht bloß eine nebensächliche Gegebenheit. Vielmehr kann die scheinbare Leere eine aktive Rolle bei der Bewegung und den Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bestandteilen spielen.

## QUELLE

Clément, R. et al.: Penetration and blown air effect in granular media. *Physical Review Letters* 106, 2011