

# Experiment 09: Entmischung beim Schütteln

mehrfach vorhanden (15x)

Stand: 27.07.2016 // v17s

## Einleitung (für Schüler\_innen)

Aus dem Märchen *Aschenputtel* ist die Aufgabe der Stiefmutter bekannt: Aschenputtel wird aufgetragen die Linsen aus der Asche zu lesen, wenn sie zum Ball gehen möchte. Aschenputtel kommen Tauben zur Hilfe. Dieses Experiment soll einen Weg zeigen der keine Tauben braucht, sondern Physik zur Hilfe nimmt.

## Material pro Schülergruppe

- Flasche, gefüllt mit Sand und einer schwarzen Perle
- weitere bunte Holzperlen

## Zusätzlich benötigtes Material

- optional: weitere Probekörper (z. B. Dekosteine aus Glas oder Acryl bzw. Kunststoff, Nüsse, Würfel, Holzkugeln, Styroporkugeln, Softairgunkugeln, Glasmurmeln, Radiergummis, getrocknete Erbsen, o. ä.)
- optional: Feinwaagen; Waagen mit Einteilungen bis zu 0,001 g sind günstig (ca. 10,- Euro inkl. Versand) online zu erwerben – siehe Materialliste unter [www.niliphex.de](http://www.niliphex.de). Für diesen Versuch wäre eine Einteilung bis 0,01 g sinnvoll.



## Durchführung

**vertikal schütteln:** Die Flasche in die Hand nehmen (hochkant) und hoch und runter (vertikal) schütteln, bis die schwarze Kugel oben auftaucht.

**horizontal schütteln:** Die Flasche in die Hand nehmen (quer bzw. gelegt) und nach links und rechts (horizontal) schütteln, bis die schwarze Kugel oben auftaucht.



### Mögliche Arbeitsaufträge

- Wie oft** muss **geschüttelt** werden, bis die Kugel auftaucht? Dabei sollte beim Umdrehen der Flasche darauf geachtet werden, dass die Kugel immer genauso tief wieder im Sand vergraben ist, damit die Ergebnisse vergleichbar sind.
- Falls **weitere** Kugeln bzw. **Probekörper** zur Verfügung stehen: Welche Probekörper tauchen beim Schütteln auf und welche nicht?
- Theoriebildung:** (*in Verbindung mit b*) Woran liegt es, dass manche Probekörper auftauchen und andere nicht? **Welche Eigenschaften** haben einen Einfluss darauf und welche sind nicht von Bedeutung? Mögliche untersuchbare Eigenschaften könnten sein: Oberflächenbeschaffenheit (glatt, rau), Form (kugelförmig, unförmig, kantig), Masse, Farbe, Material, Dichte, Größe, ...  
Dabei kann auch überlegt werden, ob zwei unterschiedliche Probekörper gleichzeitig in der Flasche geschüttelt werden um sie zu vergleichen, was natürlich nur geht, wenn sich die Probekörper nicht gegenseitig behindern.
- Kann ein Probekörper im Sand **nach oben geschüttelt** werden, der eine **höhere Dichte als der Sand** selbst hat? Ein möglicher Probekörper dafür wäre ein größerer Stein oder eine (Glas-)Murmel, da sie aus vergleichbarem Material wie der Sand bestehen (größtenteils Siliciumdioxid), allerdings ohne Lufteinschlüsse. Folglich sind eine Murmel bzw. ein Stein dichter als der umgebende Sand.

### Hinweise

**Probleme bei der Wiederholbarkeit** – Die Reproduzierbarkeit dieses Versuches ist nur beschränkt gegeben, was hauptsächlich an zwei Gründen liegt: Zum einen wird dieser Versuch per Hand durchgeführt, was zu Ungenauigkeit führt. Zum anderen ist der Prozess des Auftauchens eines Probekörpers auch davon abhängig, wie Probekörper und Sand sich vermengen und bewegen. Das ist zufällig, da viele Einflussfaktoren darauf einwirken (Lage von Sandkörnern und Probekörper zueinander, die genaue Schüttelrichtung und Stärke, usw.). Dies kann genutzt werden, um den Umgang mit Mittelwerten und Abweichungen zu thematisieren.

**Demonstrationsexperiment mit Müsli-Verpackung** – Um den namensgebenden Ursprung des Experiments zu verdeutlichen, kann eine Müslibox oder eine große Flasche genutzt werden und durch das Schütteln untersucht werden, welche Bestandteile einer Müsli-Mischung sich oben sammeln und welche absacken.

**Messung des Schüttwinkels** – Die Flaschen können auch genutzt werden, um den Schüttwinkel von Granulaten zu messen. Dabei wird das zu untersuchende Granulat in die Flasche eingefüllt und die Flasche liegend über den Tisch gerollt. Dann kann vom Boden her mit einem Winkelmesser hin zum Tisch der Schüttwinkel ermittelt werden (alternativ mit Smartphone und einer App zum Winkelmessen).

**Nutzung von Granulatmischungen** – Das Experiment kann abgeändert werden, indem statt Sand und Probekörper zwei unterschiedliche Granulate jeweils zu gleichen Mengen eingefüllt werden. Idealerweise sollten diese Granulate optisch unterschiedlich sein (z. B. Salz, Sand, Mohn, Erbsen, Reis, Linsen, sonstige trockene granulare Lebensmittel). Dann lässt sich damit die Aschenputtelaufgabe, Linsen aus der Asche zu sammeln, darstellen.

**Einsatz in Verbindung mit dem Rüttler aus Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte** – Um den Effekt der Entmischung beim Schütteln demonstrativ sichtbar zu machen (und die Reproduzierbarkeit zu erhöhen) kann die Flasche auf dem Rüttler fixiert werden. Dies kann auch erweitert werden durch eine Mischung aus zwei Granulaten (z. B. Salz und Mohn), deren Entmischung dann sichtbar wird (vgl. Video *Trennung einer Granulatmischung unter Vibration*).

## Experiment 09: Entmischung beim Schütteln

### Zusammenhang mit:

- Experiment 10: Zwei-Kammer-Rüttler – Viele sammeln sich bei Vielen
- Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

### Alltagsbezug / Anwendungen / Kontexte

**Müslipackung** – Das Verhalten, dass sich Granulate entmischen, kann auch sehr gut bei Müsli-Mischungen beobachtet werden, wo die großen Stücke immer oben landen. Dieses Beispiel ist auch der Grund für den Namen des zugehörigen physikalischen Effekts: der *Paranusseffekt* (PNE) bzw. auf englisch der *Brazilnuteffect* (BNE).

**Schutz vor Lawinen mit einem Lawinenairbag** – Eine Lawine lässt sich in ihrem Verhalten ähnlich wie aufgeschütteltes Granulat beschreiben. Damit muss nur noch dafür gesorgt werden, dass eine Person (als Probekörper) möglichst oben bleibt und nicht verschüttet wird. Dies wird mittels eines Lawinenairbags realisiert (vgl. *Video Anwendung des Paranusseffekts zum Schutz vor Lawinenverschüttung mit Hilfe eines Lawinenairbags*). Durch einen solchen Lawinenairbag wird das eigene Volumen vergrößert und dadurch die eigene, mittlere Dichte verringert. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person auf der Lawine oben bleibt und nicht von der Lawine vergraben wird.

**Im Acker wachsen Steine** – In der Landwirtschaft existiert das Phänomen, dass jedes Jahr neue Steine auf einem Acker auftauchen, obwohl große Steine regelmäßig aus dem Acker gesammelt werden. Der Acker wird zwar nicht geschüttelt, aber das jahreszeitlich abwechselnde Gefrieren und Auftauen der Böden, sowie die Erosion (Aufschwemmen durch Regen und Austrocknen) verursachen einen ähnlichen Effekt.

**Entmischung verhindern oder unterstützen (Tablettenherstellung, Bergbau, Mülltrennung)** – In vielen Industrieanwendungen ist es wichtig, ein möglichst gut vermischtes Produkt herzustellen. Beispielhaft soll hier die Herstellung von Tabletten genannt werden, wo Wirkstoffe und Trägerstoffe miteinander vermischt und dann zu Tabletten gepresst werden. Hier ist es wichtig sicherzustellen, dass in allen Tabletten das gleiche Verhältnis von Wirkstoff und Trägerstoff vorhanden ist, da ansonsten jede Tablette anders wirken würde – von wirkungslos bis zur Überdosis.

Ein entgegengesetztes Beispiel ist die Entmischung von Erz und Gestein bei der Erzgewinnung. Hier ist es förderlich, wenn sich die nicht nutzbaren Gesteine durch Vibration auf Förderbändern von den nutzbaren trennen lassen. Ähnlich liegt das Beispiel bei der Müllverwertung, wo auch Rohstoffe getrennt werden sollen.

**Flussbetten und Berge** – In Flüssen, die viel Gestein transportieren, lässt sich die Trennung nach der Größe der Gesteine ebenso beobachten.

### Fachlicher Hintergrund

Es gibt mehrere Mechanismen, die dafür verantwortlich sind, dass in einem geschüttelten Granulat größere Objekte nach oben transportiert werden. Ein leicht verständlicher Mechanismus ist, dass sich beim Schütteln kurzzeitig kleine Lücken bzw. Hohlräume im Granulat bilden. In diese Lücken passen aber nur kleine Teilchen. D. h. die kleinen Granulatteilchen rutschen beim Schütteln unter den größeren Probekörper und sorgen so dafür, dass er Stück für Stück nach oben wandert. Dieser Effekt heißt *Paranusseffekt* (PNE), engl. *Brazilnuteffect* (BNE).

Bei Mischung aus verschiedenen Granulaten ist dieser Effekt vergleichbar und funktioniert ähnlich wie ein Sieb. Die größeren Granulate bilden ein Sieb für die kleineren, die hindurchrutschen. Unabhängig davon kann eine Entmischung (Segregation) aber auch stattfinden, falls die Granulate gleich groß sind, da Dichte und Form ebenso einen Einfluss haben.

### Weiteres Material auf: [www.niliphex.de](http://www.niliphex.de)

Text *Anwendungsbezüge und einfache Experimente zu granularer Materie* – Nordmeier, V.; Schlichting, H. J. (2008): *Physik beim Frühstück*. In: *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik*, 19 (105/106), S. 12–16. (dt., 4 Seiten)

=> auch zu finden auf [www.niliphex.de](http://www.niliphex.de)

Text *Erklärung des Paranusseffekts* – Schlichting, H. J.; Nordmeier, V.; Jungmann, D. (1996): *Die Großen landen immer oben – Phänomene der Selbstorganisation beim Schütteln von Kugeln*. In: *Physik in der Schule*, 34 (5), S. 191–193. (dt., 2 Seiten)

=> auch zu finden auf [www.niliphex.de](http://www.niliphex.de)

Fachwissenschaftlicher Artikel *Erweitertes Erklärungsmodell für den Paranusseffekt und ebenso den umgekehrten Paranusseffekt* – Schröter, M.; Ulrich, S.; Kreft, J.; Swift, J. B.; Swinney, H. L. (2006): *Mechanisms in the size segregation of a binary granular mixture*. In: *Physical Review E*, 74 (1). (engl., 15 Seiten)

<https://arxiv.org/abs/cond-mat/0601179>

(letzter Zugriff: 30.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/aagb76>

Video *Anwendung des Paranusseffekts zum Schutz vor Lawinenverschüttung mit Hilfe eines Lawinenairbags* – Yogeshwar, R. (2010): *Was haben Lawinen und Müsli gemeinsam?* (dt., Dauer 2:16)

<https://www.youtube.com/watch?v=mqWIVthsaLI>

(letzter Zugriff: 30.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/ehcclk>

Video *Schüttwinkel* – Jérôme Combes (2010): *Jérôme et le sable #2* (frz., Dauer 6:53)

<http://www.universcience.tv/video-jerome-et-le-sable-2-1722.html>

(letzter Zugriff: 30.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/lt2i47>

Video *Schüttwinkel und das Oberflächen-Verhalten von Lawinen* – Peddie-Physics (2013): *Granular Materials at Peddie #6 - Avalanches and Angle Of Repose*. (engl., Dauer 4:08)

<https://www.youtube.com/watch?v=QVYjqaekahU>

(letzter Zugriff: 30.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/tbbAWC>

Video *Schüttwinkel* – *Grains de Bâtisseurs* (2013): *chap 3 / exp n°1 "le tas"* (frz., Dauer 0:57)

<https://www.youtube.com/watch?v=DhRwLI4c41w>

(letzter Zugriff: 30.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/KHkp9N>





## Experiment 09: Entmischung beim Schütteln

Video Schüttwinkel und Lawinen – *Grains de Bâtisseurs* (2013): chap 3 / exp n°2 "l'angle de repos et l'angle d'avalanche" (frz., Dauer 1:07)

<https://www.youtube.com/watch?v=GMn532WZG8Q>

(letzter Zugriff: 30.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/aolTqE>

Video Trennung einer Granulatomischung unter Vibration – *Grains de Bâtisseurs* (2013): chap 4 / exp n°4 "la ségrégation par vibrations"

(frz., Dauer 1:30)

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_lOtp4iUTk](https://www.youtube.com/watch?v=_lOtp4iUTk)

(letzter Zugriff: 31.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/FVYSoi>

Video Paranusseffekt und Entmischung bei Vibration – Jérôme Combes (2010): Jérôme et le sable #4 (frz., Dauer 4:32)

<http://www.universcience.tv/video-jerome-et-le-sable-4-2194.html>

(letzter Zugriff: 31.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/hcQRDw>

Video Paranusseffekt mit Murmeln – *Grains de Bâtisseurs* (2014): chap 4 / exp n°5 "La noix du Brésil" (frz., Dauer 1:02)

<https://www.youtube.com/watch?v=vDKwpPmYjPs>

(letzter Zugriff: 31.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/PR7HdT>

Text Überblicksartikel über Schüttgüter (= granulare Materie) – Herrmann, H. J. (1995): Die wunderbare Welt der Schüttgüter. In: *Physikalische Blätter*, 51, S. 1083-1086. (dt., 4 Seiten)

[www.comphys.ethz.ch/hans/PhysBlaetter11\\_95.pdf](http://www.comphys.ethz.ch/hans/PhysBlaetter11_95.pdf)

(letzter Zugriff: 31.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/PQU78O>



GEFÖRDERT VON

**GESAMTMETALL**  
Die Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektro-Industrie

think  
**ING.**  
Die Initiative für  
Ingenieurwachstum

**sdw**  
Stiftung der Deutschen Wirtschaft  
Wir stiften Chancen!

Entwickelt von Joachim S. Haupt und der

Didaktik der Physik  
AG Nordmeier

Freie Universität  Berlin

Lizenz der Inhalte von NiliPhEx:



– CC0 1.0 – gemeinfrei / bedingungslos



[www.niliphex.de](http://www.niliphex.de)

Komplette, editierbare Dokumentation und weitere Materialien