

Joachim S. Haupt  
Volkhard Nordmeier

Freie Universität Berlin

### **Experimentiererset für die Schule: Granulare Materie & Strukturbildung**

Im Rahmen eines Projektes zur Aufbereitung moderner Physik wurden zwei spezielle Themenbereiche der Nichtlinearen Physik, *Granulare Materie* und *Strukturbildung*, ausgewählt. Im Vorlauf der Entwicklungsarbeit wurde einerseits eine explorative Expertenbefragung (Fachwissenschaftler\_innen) unter Beteiligung von 27 Expert\_innen durchgeführt (Haupt & Nordmeier, 2012), die das Ziel hatte das Themenfeld fachlich aufzuklären. Andererseits wurde eine Bedarfsanalyse unter Lehrkräften durchgeführt und die Antworten von 108 Lehrer\_innen ausgewertet (Haupt & Nordmeier, 2014). Auf Basis dieser Ergebnisse wurden weitere Entwicklungsschritte vorgenommen, die in eine didaktischen Rekonstruktion münden sollen (Kattmann et al., 1997), mit dem Ziel, ein Experimentiererset für den Einsatz im Physikunterricht zu entwickeln. In diesem Beitrag wird ein Experiment aus dem Themenfeld *Granulare Materie* vorgestellt, der „Granulare Greifer“.

In der Vergangenheit zeigte sich, dass es ein starkes Defizit zwischen Forschungsstand in der Fachdidaktik und Umsetzung der Erkenntnisse und Entwicklungen in der (schulischen) Lehre gibt (Prediger et al., 2013, S. 19ff). Da Wissenschaft aus sich selbst heraus den Auftrag hat, auch dafür Sorge zu tragen, dass Forschungsergebnisse veröffentlicht und vermittelt werden, wurde hier ein Entwicklungsansatz gewählt, der bereits zu Beginn der Entwicklungsarbeit die Zielgruppe mit einbezieht, um so auf ihre Bedürfnisse eingehen zu können: also die Lehrer\_innen bzw. die Akteure, die im Schulalltag die Entscheidungen für den Ablauf des Unterrichts treffen und z. B. die entwickelten Experimente tatsächlich einsetzen werden.

#### **Ein Element des Experimentierets: der Granulare Greifer**

Bei dem sog. Granularen Greifer handelt sich um einen einfachen Freihandversuch der auf dem Phänomen der Dilatanz beruht. Dilatanz beschreibt das Verhalten von Granularer Materie bei einer Formveränderung: Wenn die Form von Granularer Materie verändert wird, vergrößert sich das zugehörige Volumen. Wenn aber das Volumen begrenzt ist (z. B. durch eine Vakuumverpackung, d. h. eine luftdichte Verpackung, die unter Unterdruck gesetzt wird), dann widersteht die Granulare Materie eine Verformung (Reynolds, 1885, S. 470). Aus dem Alltag ist dieses Verhalten vom vakuumverpackten Kaffee bekannt. Flüssigkeiten lassen sich dagegen beliebig verformen, ohne Änderung des Volumens. Eine einfache Erklärung für die Dilatanz kann in einem zweidimensionalen Modell gegeben werden (Weber, 2006, S. 8ff). Dabei wird idealisiert die dichteste Kugelpackung (minimales Volumen) angenommen und sobald man diese durch Verformung verändert, vergrößern sich die Zwischenräume zwischen den Teilchen. Folglich vergrößert sich auch das Volumen, das durch die äußere Begrenzung des Granularen Mediums beschrieben wird.

Die Dilatanz erklärt auch die Wirkungsweise eines Granularen Greifers (s. Abb. 1). Zur experimentellen Realisierung eines solchen Greifers wird ein Luftballon mit einem Granulat befüllt und über eine zuvor präparierte Spritze<sup>1</sup> gestülpt. Im geschlossenen Zustand ist der Luftballon mit Granulat weich und verformbar. Wird die Spritze aufgezogen (wie in Abb. 1 abgebildet) und der Luftballon evakuiert, verhält sich das Granulat im Luftballon plötzlich anders: Es ‚verhärtet‘ sich und wir schwer verformbar. Die Ursache dafür ist die Dilatanz, die sozusagen gegen den Luftdruck arbeitet. Wird der Ballon zuvor um oder an ein Objekt gelegt, so wird das Objekt bei der Evakuierung des Ballons fest umschlossen und es lässt sich

<sup>1</sup> Die Spritze wurde vorne glatt geschnitten und es wurden weitere Löcher neben dem Nadelaufsatz gebohrt, so dass die Spritze an der Spitze ein Sieb bildet mit ungefähr sechs Löchern.

mit dem ‚Greifer‘ sogar anheben (Abb. 1). Der Granulare Greifer ist bereits Gegenstand von Fachpublikationen (Brown et al., 2010) und kann im Internet auch in Aktion angeschaut werden (TV, 2013).

Eigene Untersuchungen zum Granularen Greifer beschäftigten sich mit einer idealen Befüllung des Luftballons (Träger, 2014). Dabei wurden zwei Parameter, relative Kompression und die Korngröße, ausgiebig untersucht, mit dem Ergebnis, dass die Korngröße kein bestimmender Parameter für die Haltekraft ist (die Korngröße skaliert eher zufällig mit der Haltekraft, hier nicht dargestellt).

Die relative Kompression des Granulats hat allerdings einen Einfluss auf die Haltekraft (vgl. Abb. 2). Vereinfacht gesagt gilt: Eine stärkere Komprimierbarkeit des Granulats hat größere Haltekraft zur Folge. Daher eignet sich z. B. Kaffeepulver sehr gut zur Befüllung unseres Granularen Greifers.

Dieser Befund hilft auch bei der Erklärung des Phänomens: Zu Beginn ist das Granulat locker und leicht beweglich und formt sich leicht an den aufzuhebenden Gegenstand an. Wenn nun der Luftballon evakuiert wird, verfestigt sich das Granulat durch den Luftdruck. Zudem hält die Ballonhülle die Körner



Abb. 1: Freihandversuch Granularer Greifer bestehend aus einem mit Granulat befüllten Luftballon und einer zuvor präparierten 20-ml-Einwegspritze

### Haltekraft in Abhängigkeit der relativen Kompression

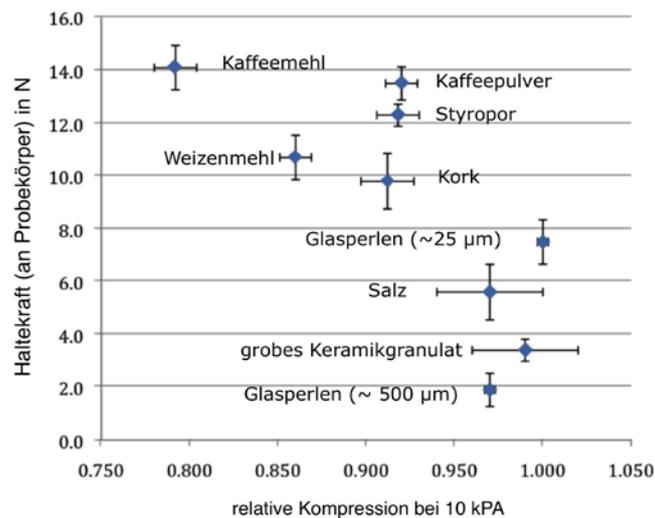


Abb. 2: Untersuchung zum ‚idealen‘ Granulat für größtmögliche Haltekraft; Dargestellt ist die Haltekraft eines Granularen Greifers, der mit verschiedenen Materialien befüllt wurde, in Abhängigkeit von der relativen Kompression (Volumen unter Belastung geteilt durch das Ausgangsvolumen bei Normaldruck).

an der Außenseite reibungsbedingt zusammen. Es bedarf also größerer Scherkräfte, um die Granulatkörner gegeneinander zu verschieben. So entwickelt der Ballon als Greifer eine bisweilen recht hohe Haltekraft. Ist das verwendete Granulat zusätzlich komprimierbar, sodass es bei der Evakuierung ‚schrumpft‘, ist offensichtlich, dass der Greifer stärker mit dem aufzuhebenden Gegenstand in Kontakt geht und auch die Anpresskraft sich erhöht. Das hat auch zur Folge, dass sogar konvexe Gegenstände ohne Einbuchtungen gehoben werden können (z. B. eine Kugel, die z. B. nur im oberen Drittel im Kontakt mit dem Greifer steht).

### **Alltagsbezug, Anwendungsszenarien und Ausblick**

Der Granulare Greifer besticht als Experiment für den Physikunterricht durch folgende ideale Bedingungen: Es ist preiswert, ungefährlich und lässt sich mit Haushaltsgegenständen durchführen. Zudem erweist sich das Experiment für Schüler\_innen als überraschend, wie sich in unseren ersten Erprobungen im Physikunterricht zeigte. Ebenso erscheint das Experiment haptisch interessant für die Schüler\_innen. Es lässt sich als Freihandversuch durchführen und bedarf keiner komplizierten experimentellen Aufbauten. Der Granulare Greifer bietet den Schüler\_innen einen Lerngegenstand aktueller physikalischer Forschung und lässt sich mit wenigen Vorkenntnissen bereits verstehen.

Er bietet verschiedene Alltagsbezüge und Anwendungsszenarien. Das zugrundeliegende Phänomen findet sich bei vakuumverpackten Gütern (z. B. Kaffee, Erdnüsse) wieder. Anwendungen sind zu sehen beim Einsatz durch Rettungsdienste (Vakuum-Matratzen werden zur Stabilisierung von Patienten benutzt), bei der Konstruktion eines Robotergrifiers, der verschiedenste auch schwer zu greifende Objekte zerstörungsfrei ohne weitere Sensorik heben kann oder auch in der Architektur beim Bau von Brücken (Maus, 2013).

In der weiteren Erarbeitung und Entwicklung sollen im Projekt weitere Experimente aus dem Themenbereich entwickelt und in Schulen erprobt werden um somit eine praxisnahe fachdidaktische Entwicklungsforschung umzusetzen.

### **Literatur**

- Brown, E., Rodenberg, N., Amend, J., Mozeika, A.; Steltz, E.; Zakin, M. R.; Lipson, H. & Jaeger, H. M. (2010): Universal robotic gripper based on the jamming of granular material. In Proceedings of the National Academy of Sciences, 107 (44), 18809–18814. <http://www.pnas.org/content/early/2010/10/18/1003250107> (12.11.2013)
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H. & Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3 (3), 3–18. [ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/1997/Heft3/S.3-18\\_Kattmann\\_Duit\\_Gropengiesser\\_Komorek\\_97\\_H3.pdf](ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/1997/Heft3/S.3-18_Kattmann_Duit_Gropengiesser_Komorek_97_H3.pdf) (10.12.2012)
- Haupt, J. S. & Nordmeier, V. (2012): Granulare Materie und dissipative Strukturbildung bzw. Selbstorganisation: Kontexte, Theorien und Inhalte der Themen – Ergebnisse eine Expertenbefragung. In PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/download/415/553> (10.09.2014)
- Haupt, J. S. & Nordmeier, V. (2014): Ergebnisse einer Bedarfsanalyse zur unterrichtlichen Aufbereitung der Nichtlinearen Physik. In PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.
- Maus (2013): Vakuumbrücke – Filme – Sachgeschichten – Die Seite mit der Maus – WDR Fernsehen. <http://www.wdrmaus.de/sachgeschichten/sachgeschichten/vakuumbuecke.php5> (06.10.2014).
- Prediger, S., Komorek, M., Fischer, A., Hinz, R., Hußmann, S., Moschner, B., Ralle, B. & Thiele, J. (2013): Der lange Weg zum Unterrichtsdesign: Zur Begründung und Umsetzung fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprogramme. In Komorek, M. & Prediger, S. (Hrsg.), Der lange Weg zum Unterrichtsdesign: Zur Begründung und Umsetzung fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprogramme. Münster: Waxmann, 9–24.
- Reynolds, O. (1885): LVII. On the dilatancy of media composed of rigid particles in contact. With experimental illustrations. In Philosophical Magazine Series 5, 20 (127), 469–481. <https://getinfo.de/app/download?id=tandf%3adoi~10.1080%252F14786448508627791> (02.10.2014)
- Träger, F. (2014): Realisierung und Analyse eines granularen Greifers. Bachelorarbeit, Freie Universität Berlin, Didaktik der Physik.
- TV, N. (2013): Robotic grippers based on granular jamming. <https://www.youtube.com/watch?v=txMRGuHpUs8> (04.11.2013)
- Weber, S. M. (2006): Granulare Materie I, Schüttgut in Ruhe - ein ungewöhnlicher Festkörper. [http://www.physikdidaktik.uni-bayreuth.de/projekte/piko/GranulareMaterie1\\_WeberSM.pdf](http://www.physikdidaktik.uni-bayreuth.de/projekte/piko/GranulareMaterie1_WeberSM.pdf) (21.12.2012).