



## – Bauanleitung –

### Nichtlineare Physik – Experimentierset: Granulare Materie und Strukturbildung

#### Einführung

Um das Experimentierset komplett nachzubauen bedarf es einiger Beschaffungen, die in der Materialliste vermerkt sind. Insgesamt wären dafür maximal 330 Euro an Materialkosten (inkl. Versand) nötig.

Einzelne Experimente lassen sich aber auch mit eigenen Mitteln vor Ort günstiger umsetzen oder es können durch eine Reduktion auf angepasste Unterrichtsformate z. B. Stationenarbeit, weniger Exemplare eines Experimentes genutzt werden, anstatt eines ganzen Klassensatzes.

---

#### Experiment 01: Sandtürme bauen



Bei diesem Versuch ist lediglich das Armierungsgewebe zu zuschneiden. Dies lässt sich mit einer Schere erledigen. Für mehrere Zuschnitte gleichzeitig bietet es sich an mit einem Cuttermesser und einem Lineal zu arbeiten.

Es hat sich in der Evaluation gezeigt, dass es hilfreich ist, wenn das Armierungsgewebe in der Form der Becher geschnitten wurde. Falls die Becher konisch sind, dann sollten entsprechend auch die Armierungsgewebestücken kleiner werden. Idealerweise können die Schüler\_innen da selbst den Versuch mit vorbereiten.

Für größere Projekte (z. B. ganze Eimer) kann natürlich das Gewebe auch entsprechend ausgeschnitten werden.



## Experiment 02: Wasserbrücken



Bei diesem Experiment ist keine Bearbeitung nötig.

---

## Experiment 03: Kraftbrücken sichtbar machen



### Rahmen

Es gibt zwei Varianten den Rahmen nachzubauen:

*Option 1 (Ein 3D-Druckers ist verfügbar):* Die Druckdatei steht zur Verfügung (erstellt in Google SketchUp und konvertiert in .stl).

*Option 2 (Ein 3D-Druckers ist nicht verfügbar):* Wenn Bohrer und Schrauben mit Muttern vorhanden sind, können die Acrylglasplatten direkt miteinander verschraubt werden – als Abstandshalter zwischen den Acrylglasfenstern kann dann zum Beispiel ein schmaler Streifen des Acryls genutzt werden. Vorteil ist, dass damit der Rahmen so groß gebaut werden kann, wie die Polarisatoren sind. Nachteil hier ist, dass dies so gestaltet werden sollte, dass eine Acrylglasplatte abnehmbar ist, damit die Granulatscheiben auch wieder gelockert werden können – Flügelmuttern erweisen hier einen guten Dienst. Ansonsten kann dies nur mit Gewalt erfolgen (Hämmern mit einem Gummihammer gegen den Rahmen).

Dabei ist zu beachten, dass der Rahmen mindestens doppelt so hoch wie breit sein sollte, damit die Kraftbrücken beobachtbar sind.

### Acrylglasplatten und Polarisatoren

Um die Polarisatoren zu schützen, empfiehlt es sich vorne, wie hinten zwei Acrylglasfenster zu nutzen, so dass der Polarisator zwischen den beiden Acrylglasfenstern eingesetzt werden kann. Das dickere Acrylglasfenster hin zu den Granulatscheiben und das dünnere nach außen zum Schutz.

Beim Zuschneiden der beiden Polarisatoren ist zu beachten, dass sie im Endeffekt 90° gekreuzt eingebaut werden (der Kontrast bei der Betrachtung ist wesentlich besser, wenn die unscheinbaren Bereiche dunkel sind, anstatt hell), d. h. ein Polarisator wird horizontal aus der Folie ausgeschnitten und der zweite vertikal.

### **Druckstempel**

Der Druckstempel setzt sich aus einem kleinen Stück der Acrylglasplatte zusammen und einem Halter – dieser kann entweder auch 3D-gedruckt werden und dann mit Klebstoff eingeklebt werden oder statt dessen können Weinkorken genutzt werden, die seitlich eingeschnitten werden (bis zur Hälfte) und dann auf die Acrylglasplatte gesetzt werden.

### **Granulatscheiben**

Die Granulatscheiben wurden mit Hilfe eines Bohrfutterständers und einer Stanze ausgestanzt. Wenn das nicht vorhanden ist, ist es auch ohne Problem möglich mit einer großen Schere die Granulate auszuschneiden. Für den Versuch ist es nicht relevant, ob die Scheiben exakt identisch bzw. rund sind. Irreguläre Scheiben haben sogar den Vorteil Granulate besser darzustellen.

Die Scheiben kleiner zu machen als 15 mm im Durchmesser hat den Nachteil, dass sich die Färbung nur noch bei größeren Kräften ändert.

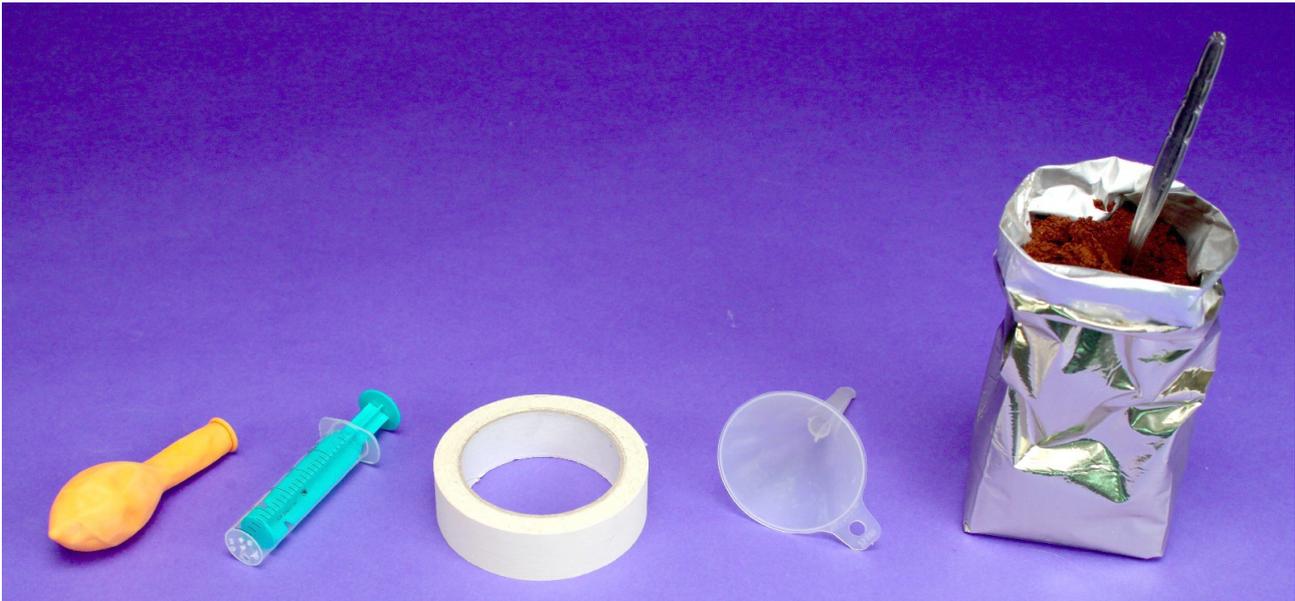
### **Zusammenbau**

Der Aufbau im Rahmen erfolgt in der folgenden Reihenfolge [Dicke]:

<i>außen</i>	dünne Acrylglasplatte [2 mm]
	Polarisator (vertikal ausgerichtet) [0,2 mm]
	dicke Acrylglasplatte [2 mm]
	Silikonöl [dünne Schicht]
<i>innen</i>	Granulatscheiben [2 mm]
	Silikonöl [dünne Schicht]
	dicke Acrylglasplatte [4 mm]
	Polarisator (horizontal ausgerichtet) [0,2 mm]
<i>außen</i>	dünne Acrylglasplatte [2 mm]

Damit die Granulatscheiben nicht an der Scheibe kleben und verkanten sollte die Innenseite der dicken Acrylglasplatten dünn mit Silikonöl eingerieben werden.

## Experiment 04: Granularer Greifer



Für diesen Versuch müssen die Spritzen vorbereitet werden. Dazu wird der Ansatzstutzen der Spritze vorne abgeschnitten – idealerweise mit einem Cutter oder einem scharfen Messer, damit kein Grat über bleibt, der den Ballon zerreißt. Dann zusätzlich ca. 4 Löcher in den Boden der Spritze bohren (siehe Bild rechts). Der Durchmesser der Löcher sollte ca. 1–2 mm sein. Das Kaffeepulver kann dann zwar beim Versuch in das Innere der Spritze gelangen, aber das stellt kein nennenswertes Problem dar, da das Kaffeepulver bei Unterdruck mit einander verkantet.



## Experiment 05: Beschleunigte Sanduhr



Bei diesem Experiment ist keine Bearbeitung nötig.

## Experiment 06: Feststeckender Holzstab



Falls für diesen Versuch eine Flasche mit einem entsprechend großem Verschluss genutzt wird, ist es hilfreich, wenn in den Deckel ein Loch gebohrt wird (falls Zugriff zu entsprechend großen Bohrer besteht), so dass der Holzstab gerade hindurch passt.

Alternativ können auch einfach zwei Gefäße genutzt werden und der Sand wird umgeschüttet, wenn der Stab bereits im Gefäß steht.

---

## Experiment 07: Stockender Sand



*Bei diesem Experiment ist keine Bearbeitung nötig.*

## Experiment 08: Aggregatzustände



Zur Vorbereitung dieses Versuches sollten die Acrylglasrohr einseitig mit einem Korken verschlossen werden und dann befüllt werden. Die Schwierigkeit dabei besteht, dass idealerweise die Rohre die gleiche Füllhöhe haben, wenn sie nicht gerüttelt sind. Dazu muss der Sand sehr vorsichtig eingefüllt werden. Für einen einfacheren Nachbau genügt es, das den Korken für das Glasgranulat nicht zu durchbohren, da er ja einfach wieder gelockert werden kann um Luft hinein zu lassen.

Weiterhin muss natürlich beachtet werden, dass der Sand, sowie die Glasperlen trocken sind.

Falls das Wasser durchgängig im Rohr verbleiben soll, dann sollte es z. B. mit Essig versetzt werden (ca. 1 % Essiglösung genügt bereits), damit sich keine Algen bilden bzw. das Wasser nicht anfängt zu faulen.

---

## Experiment 09: Entmischung beim Schütteln



Beim Befüllen ist zu beachten, dass die Flasche nicht zu voll gefüllt wird, damit der Sand noch geschüttelt werden kann.

## Experiment 10: Zwei-Kammer-Rüttler – Viele sammeln sich bei Vielen



### Verstärkerverkabelung



Am Verstärker sind drei Anschlüsse für die Spannungsversorgung vorhanden: [REM], [+B] und [GND].

[REM] wird mit [+B] zusammen an den positiven Pol der Spannungsversorgung angeschlossen. Der Einfachheit wegen können die Kontakt [REM] und [+B] durch ein kurzes Drahtstück dauerhaft verbunden werden. [GND] wird folglich an den negativen Pol der Spannungsversorgung angeschlossen. Zum einfachen Anschluss kann dafür auch ein Bananensteckerkabel geopfert werden, dass in der Mitte durchgeschnitten wird, dann abisoliert wird und dann verschraubt wird.

Der Lautsprecher wird dann an den Speakerausgang Links oder Rechts angeschlossen.

### Lautsprecher mit Dose

Die Dose kann mittels Silikon (Dichtungsmasse) dauerhaft auf den Lautsprecher aufgeklebt werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass sie möglichst gerade aufgeklebt wird.

## Zwei-Kammer-Box mit Trennwand

Die Schwierigkeit ist hier eine Trennwand einzupassen – dies verlangt einige Versuche. Die Höhe der Trennwand sollte nicht zu groß sein (ca. 3–5 cm), da der Verstärker nah an seiner Leistungsgrenze arbeitet beim Bespielen des Lautsprechers. D. h. dass die Perlen nicht so hoch springen können. Dies hängt aber auch von den verwendeten Material der Perlen ab. Das Einkleben kann reversibel mit Klebegummi erledigt werden, alternativ sind natürlich alle möglichen anderen Klebstoffe auch möglich.

---

## Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte



*Bei diesem Experiment sind die Bearbeitung identisch zum vorgehenden Versuch (Experiment 10: Zwei-Kammer-Rüttler – Viele sammeln sich bei Vielen).*

## Experiment 12: Rayleigh-Bénard Konvektion – Wabenmuster



Zur Vorbereitung dieses Experimentes muss lediglich das Silikonöl mit dem Kupferpigment vermischt werden, was sehr gut funktioniert. Dabei muss lediglich darauf geachtet werden, dass die Mischung nicht mit Wasser in Kontakt kommt.

Als Mischverhältnis bietet sich ca. 1–2 EL Kupferpigment auf einen Liter Silikonöl an (ca. 20 g Pigment pro Liter Silikonöl). Falls die Färbung nicht intensiv genug ist, kann auch mehr Pigment dazu gegeben werden.

GEFÖRDERT VON

**GESAMT**METALL  
Die Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektro-Industrie

think  
**INO.**  
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)

aktuelle Dokumentation und weitere Materialien