



Pädagogische  
**Hochschule**  
Steiermark



## **Begleitheft zum Schulkoffer “The Virtual Sandbox”**

Herausgegeben im Rahmen des FWF Wissenschaftskommunikationsprojektes

„WKP 67 - The Virtual Sandbox“

Graz, Juli 2017

### *Projektpartner*

Technische Universität Graz (TUG) und Pädagogische Hochschule Steiermark  
(PHS)

### *Aufbereitung und Durchführung der Experimente durch*

HS-Prof. Mag. Dr. Erich Reichel (PHS)

Dipl.-Ing. Jakob D. Redlinger-Pohn, BSc. (TUG)

Benjamin Bahar (PHS)

Ing. Lukas Wachtler (PHS)

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Radl (TUG)

### *Projektsponsor*

Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF)

Haus der Forschung

Sensengasse 1

1090 Wien



Der Wissenschaftsfonds.

### *Autoren*

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Radl  
HS-Prof. Mag. Dr. Erich Reichel  
Dipl.-Ing. BSc. Jakob Dominik Redlinger-Pohn  
Benjamin Bahar  
Ing. Lukas Wachtler

### *Projektwebseite*

[ippt.tugraz.at/vsb](http://ippt.tugraz.at/vsb)



### *Externe Projektpartner*

Büro für Gleichstellung und Frauenförderung der TU Graz  
DCS Computing GmbH  
Landesschulrat für Steiermark  
Research Center Pharmaceutical Engineering GmbH

*Copyright ©2017 Technische Universität Graz und Pädagogische Hochschule Steiermark*

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Materials das durch diesen Urheberrechtsvermerk geschützt ist, darf ohne schriftliche Genehmigung der Autoren in irgendeiner Form, oder auf irgendeine Weise elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopie, Aufzeichnung oder durch ein Informationsspeicher- und Abrufsystem, vervielfältigt oder genutzt werden. Ausgenommen davon ist die nichtkommerzielle Nutzung im Rahmen des Schulunterrichts.

# Vorwort

Dieses Begleitheft entstand am Ende des Projektes „The Virtual Sandbox“, und soll die Umsetzung der Projektergebnisse in den Schulen unterstützen. Es besteht im Wesentlichen aus den Abschlussarbeiten von Benjamin Bahar (Fokus auf die Sekundarstufe) und Ing. Lukas Wachtler (Fokus auf die Primarstufe), sowie einer kurzen Beschreibung der im Schulkoffer enthaltenen Materialien.

Das Material für die Umsetzung in den Schulen – ein Sammelsurium aus Hilfsmitteln für den Unterricht – ist kompakt in einem robusten Koffer verpackt. Damit soll ein möglichst einfacher Transport, sowie eine unkomplizierte Weitergabe innerhalb des Lehrkörpers ermöglicht werden. Es wurde darauf geachtet den Koffer möglichst vollständig zu bestücken: In der „offline“-Version (d.h., ohne dem USB-Mikroskop) benötigen SchülerInnen lediglich einfache Dinge des Schulalltags (Papier, Bleistift, eine leere PET-Flasche, etc.) um die Experimente durchführen bzw. auswerten zu können. Ist ein Computer oder Laptop, bzw. ein modernes Kommunikationsmittel (d.h., Handy oder Tablett mit USB-Anschluss) vorhanden, können auch weiterführende Experimente mit dem beigelegten Mikroskop durchgeführt werden.

Zuletzt soll nicht unterwähnt bleiben dass der „Virtuelle Sandkasten“, d.h., eine interaktive Sandoberfläche zur Simulation von Wasserströmungen in Echtzeit, praktisch jederzeit an der TU Graz besucht bzw. benutzt werden kann. Arbeiten sind im Gange auch diese Ressource über die Projektwebseite, bzw. über die Möglichkeit einer Ferninteraktion, permanent zugänglich zu machen.

Das „The Virtual Sandbox“ Projekt hat die Ambition auch nach dem Abschluss weiter zu leben. Dafür wurde ein „Virtual Sandbox Laboratory“ an der TU Graz (Campus Inffeldgasse) eingerichtet. Dieses Labor, sowie ein angrenzender Seminarraum, stehen für die Nutzung der Projektergebnisse nach Voranmeldung zur Verfügung. Weiters sind Detailinformationen und Anleitungen auch auf der Projektwebseite ([ippt.tugraz.at/vsb](http://ippt.tugraz.at/vsb)) zu finden.

Das Projektteam bittet um eine aktive Nutzung der Materialien im Rahmen des Schulunterrichtes, sowie die Übersendung von Anregungen und Verbesserungsvorschlägen. Damit soll das Projekt möglichst reibungslos in den Unterrichtsstoff verankert werden, bzw. weiterführende Projekte an Schulen stimuliert werden.

*Stefan Radl*

Graz, 26. Juli 2017



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Materialliste Schulkoffer.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kurzbeschreibung der Experimente.....</b>	<b>3</b>
2.1	Bestimmung der Dichte von feuchtem Sand .....	3
2.2	Die optimale Sandburg und ihre Belastbarkeit .....	5
2.3	Modell des feuchten Sands mit Tischtennisbällen .....	7
2.4	Veranschaulichung der Wasserbrücken.....	8
2.5	Kapillarität in einem Glaskeil.....	9
2.6	Reynoldsche Dilatanz .....	10
2.7	Modellexperiment zur Reynoldsen Dilatanz – ein „Keksperiment“ .....	12
<b>3</b>	<b>Bakkalaureatsarbeit Lukas Wachtler (Primarstufe).....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Bakkalaureatsarbeit Benjamin Bahar (Sekundarstufe).....</b>	<b>17</b>



# 1 Materialliste Schulkoffer

<i>Nummer</i>	<i>Stückzahl</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Bemerkung</i>
1	1	Koffer (Kunststoff)	
2	1	USB Mikroskop	max. 500-fach
3	1	Taschenwaage	max. 1 kg
4	20	Kleine Pipette	2 ml
5	4	Große Pipette (Rohr)	10 ml (f. PET Flasche)
6	2	Löffel	
7	2	Gabel	
8	2	Trichter	
9	4 + 1	Sieb (Satz)	3 mm/2 mm/1 mm/0.5 mm
10	20	Becher 120 ml	
11	3	Becher 625 ml	
12	1	Messzylinder 100 ml	
13	20	Petrischale	100/20 mm
14	1	Untersetzer	250 x 250 mm
15	4	Objektträger (Glas)	
16	6	Tischtennisball	orange
17	1	Tinte	
18	2	CD	
19	2 x 1 kg	Glaskugeln	0,75...1,00/ 2,00 - 2,30mm
20	1 kg	Aquariumsand	0,1 - 0,3 mm
21	1	Begleitheft	
22	4 x 20	Bierdeckel	
23	1	Stift	





## 2 Kurzbeschreibung der Experimente

Die folgenden Experimente sind für alle Schulstufen geeignet, müssen aber im Abstraktheitsgrad an die Schulstufe entsprechend adaptiert werden.

### 2.1 Bestimmung der Dichte von feuchtem Sand

#### 2.1.1 Materialliste

Becher ca. 100ml, Becher ca. 400ml, Sand, Löffel, Wasser, Messzylinder, Untersetzer



*Abbildung 1  
Materialien*

#### 2.1.2 Fragestellung

Was ist bei gleichbleibenden Volumen leichter? Eine Schüttung von feuchtem Sand oder eine Schüttung von trockenem Sand?

#### 2.1.3 Versuchsanleitung

Die Schülerinnen und Schüler bekommen eine Wanne mit den Materialien. Der kleine Becher (ca. 100ml) wird bereits vor der Unterrichtseinheit vollständig mit Sand befüllt. Dies sind ca. 200g (abhängig von der Sandart). Die tatsächliche Masse

*Tabelle 1  
Messtabelle für die Dichte feuchten Sandes*

Gruppe	Sand Masse trocken (g)	Wasservolumen (ml)	Gesamtmasse feucht (g)
1	200	5	
2	200	10	
3	200	15	
4	200	20	
5	200	30	
6	200	40	
7	200	50	

wird von den Schülerinnen und Schülern selbst abgewogen. Die Masse des Bechers wird abgezogen. Hinweis auf die Addition der Massen!

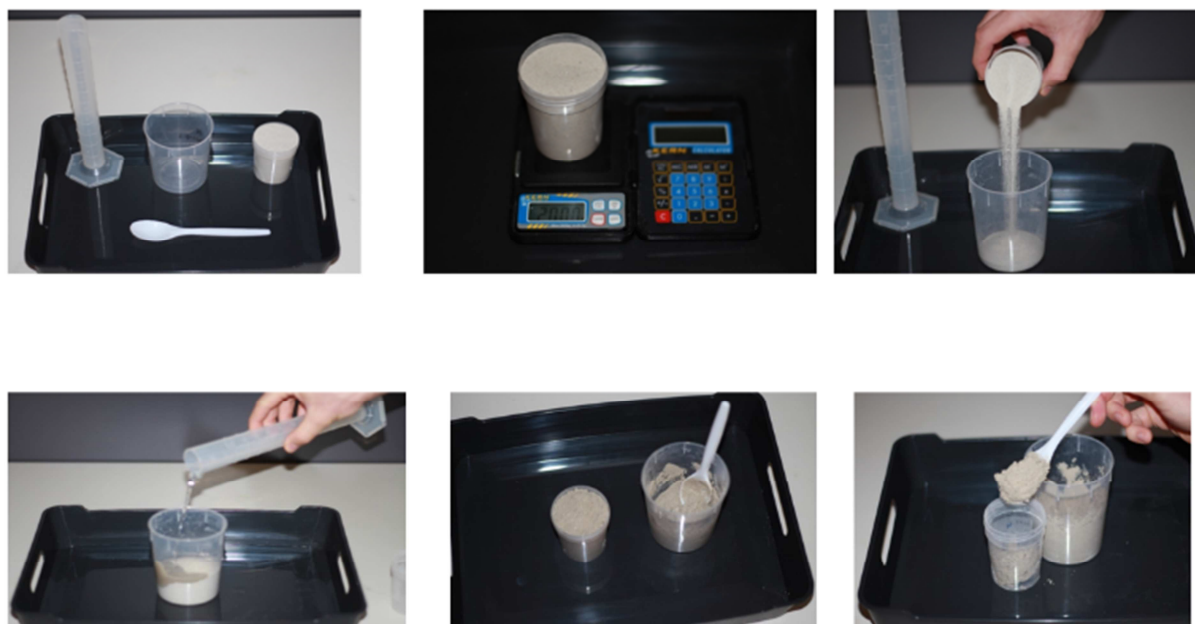
Je nach Öffnung des Unterrichts bekommt jede Gruppe ein bestimmtes Mischverhältnis zwischen Wasser und Sand vorgegeben (siehe Tabelle 1). Hierbei ist es wichtig, dass verschiedene Mischverhältnisse vorgegeben werden.

Beim nächsten Schritt füllen die Schülerinnen und Schüler den Sand in den großen Becher (ca. 400ml) und fügen die entsprechende Wassermenge, die sie mit dem Messzylinder bestimmt haben, hinzu. Dabei ist sehr wichtig, dass das Wasser möglichst gleichmäßig mit dem Sand vermischt wird (die Mischung soll überall die gleiche Farbe haben). Danach wird der feuchte Sand aus dem großen Becher in den kleinen Becher mit Hilfe eines Löffels zurück gefüllt. Hier muss man darauf hinweisen, dass 3 Punkte unbedingt zu beachten sind:

- Die Füllmenge muss gleich sein, wie bei der Messung mit dem trockenen Sand (gleiches Volumen)
- Der Sand darf nicht „gepresst“ werden
- Es ist erlaubt, den Becher leicht auf den Tisch zu stoßen, um den Sand etwas zu verdichten

Im letzten Schritt wird der Becher mit feuchtem Sand abgewogen und das Ergebnis in die Tabelle einzutragen. Die Lehrperson soll die Tabelle auch an die Tafel zeichnen oder per Beamer projizieren, damit die Schülerinnen und Schüler immer einen Überblick über die gesamten Messdaten haben. Nachdem alle Messdaten gesammelt wurden, können diese (je nach Schulstufe) mit einem Diagramm dargestellt werden. Hier können die Schülerinnen und Schüler sehen, wie sich die Dichte der Wasser-Sand Mischungen verändert. Die Masse des feuchten Sandes im Becher kann zur Masse des trockenen und/oder zur Masse and Wasser im Becher verglichen werden.

*Tipp: Eine Variation dieses Versuches ist den Einfluss der Partikelgröße zu untersuchen (d.h., einzelne Gruppen verwenden Sand oder Glaskugeln unterschiedlicher Größe)! Weiters kann durch das Mischen verschieden großer Partikel (z.B. Sand mit Glaskugeln unterschiedlicher Größe) der Einfluss der Partikelmischung auf die Dichte von feuchtem und trockenem Sand untersucht werden. Mit dem Sieb kann diese Mischung am Ende wieder getrennt werden!*



*Abbildung 2  
Durchführung des Experiments*

## 2.2 Die optimale Sandburg und ihre Belastbarkeit

### 2.2.1 Materialliste

Becher ca. 100ml, Becher ca. 400ml, Papierteller (oder Karton), Sand, Löffel, Wasser, Messbecher, Untersetzer, Gewichte (z.B. mit unterschiedlich viel Wasser gefüllte PET-Flaschen, die abgewogen werden).

### 2.2.2 Fragestellungen

Wie viel Gewicht hält meine „Sandburg“ aus?

### 2.2.3 Versuchsanleitung

a) Der Versuch kann als Folgeexperiment des Experimentes „Bestimmung der Dichte von feuchtem Sand“ (Kapitel 2.1) durchgeführt werden. Die Türme aus unterschiedlich feuchtem Sand werden in ihrer Festigkeit/Stabilität verglichen.

b) Die Schülerinnen und Schüler werden in Gruppen eingeteilt. Die verschiedenen Gruppen stellen verschiedene Mischverhältnisse her, die von der Lehrperson vorgegeben werden.

Die Becher werden auf die Kartonunterlagen gestülpt und einen Sandturm wie in Abbildung 3 herzustellen.

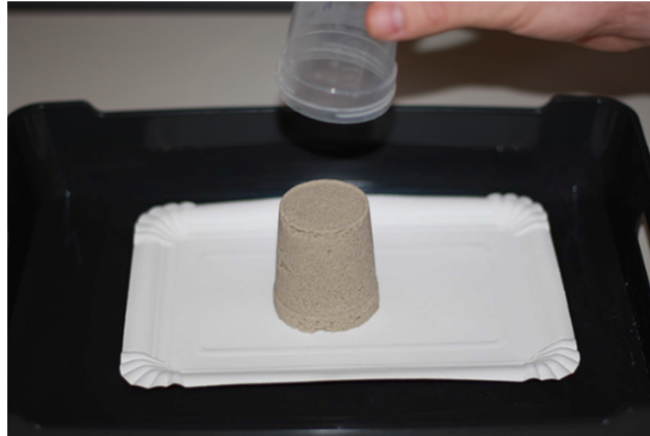


Abbildung 3  
Sandturm

Für die Gruppen mit extrem nassen Sand werden Becher mit einem Loch am Becherboden zur Verfügung gestellt, da sonst der Sand beim umstülpen nicht aus dem Becher läuft (Unterdruck). Das Loch wird während des Befüllens mit einem Klebestreifen zugeklebt. Wenn der Becher umgestülpt wird, muss der Klebestreifen entfernt werden, damit der Sand aus dem Becher läuft.

Danach wird eine Petrischale (für die gleichmäßige Belastung) auf den Sandturm gelegt. Die Türme werden dann steigend mit immer schwereren Gewichten belastet. Dies wird so lange durchgeführt bis der Turm einbricht. Das Gewicht, das den Turm zum Einsturz bringt wird dann von der Gruppe notiert.



Abbildung 4  
Belasteter Sandturm

Als Belastungsgewichte kann man PET-Flaschen mit unterschiedlichen Mengen an Wasser befüllen, oder fixe Gewichte (125g, 250g, 500g, usw.) verwenden. Die Masse der Gewichte wird in ihre Gewichtskraft umgerechnet ( $\text{Belastbarkeit} = \text{Gewicht} * \text{Gravitation}$ , mit Gravitation von  $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Die Schülerinnen und Schüler sollen daraus schließen können, dass es ein optimales/bestimmtes Mischverhältnis für die maximale Belastung gibt.

*Tipp: Eine Variation dieses Versuches gelingt durch Änderung der Partikelgröße, bzw. durch Verwendung einer Partikelmischung analog zu Kapitel 2.1.*

*Tabelle 2 – Belastbarkeit der Sandtürme*

Gruppe	Sand Gewicht trocken (g)	Wassermenge (ml)	Gesamtgewicht feucht (g)	Belastbarkeit (N)
1	210	5		
2	210	10		
3	210	15		
4	210	20		
5	210	30		
6	210	40		
7	210	50		



*Abbildung 5  
Belastung mit PET-Flaschen*

## 2.3 Modell des feuchten Sands mit Tischtennisbällen

### 2.3.1 Materialliste

4 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser, Untersetzer

### 2.3.2 Fragestellungen

Wie kann man mit den Tischtennisbällen eine stabile Pyramide (Tetraeder) bauen?

### 2.3.3 Versuchsanleitung

Zuerst sollen die Schülerinnen und Schüler versuchen eine Pyramide aus den Bällen zu bauen. Die Bälle werden bei diesem Versuch immer auseinanderrollen und nicht zusammenhalten.

Danach sollen die Schülerinnen und Schüler auf die Idee kommen, dass die Bälle mit Hilfe von Wasser zusammenhalten. Aus den Experimenten **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 2.2 sollen die Schülerinnen und Schüler auf die Benützung von Wasserbrücken stoßen. Wenn sie die Bälle an den Verbindungsstellen mit Wasser benetzen, entstehen Wasserbrücken zwischen den Tischtennisbällen, die diese dann zusammenhalten. Nun werden die Bälle nicht mehr auseinanderrollen und die Pyramide bleibt stabil.



Abbildung 6  
*Eine Tischtennisballpyramide stabilisiert durch Wasserbrücken*

## 2.4 Veranschaulichung der Wasserbrücken

### 2.4.1 Materialliste

2 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser

### 2.4.2 Fragestellungen

Modell einer Wasserbrücke: Wie kann man sich eine Wasserbrücke und ihre Eigenschaften vorstellen?

### 2.4.3 Versuchsanleitung

Die Bälle werden an der Kontaktstelle mit Wasser benetzt und eine Wasserbrücke entsteht. Wenn man die Bälle ein kleines Stück auseinanderzieht, wird diese besser sichtbar. Wenn man die Bälle dann auslässt, werden sie durch die Wasserbrücke wieder zusammengezogen.

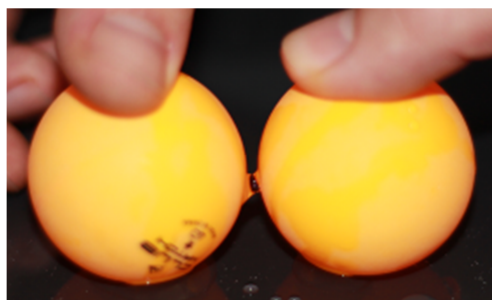


Abbildung 7  
Wasserbrücke zwischen Tischtennisbällen

*Tipp: Mit Glaskugeln (ca. 1 mm Durchmesser) und etwas Tinte können die Wasserbrücken unter dem Mikroskop veranschaulicht werden. Dieses Experiment erfordert aber etwas Geschick und mitunter Geduld!*

## 2.5 Kapillarität in einem Glaskeil

### 2.5.1 Materialliste

2 Objektträger, Wasser (gefärbt mit Tinte), Holzstäbchen (z.B. Grillspieße halbiert), Gummiring, Petrischale

### 2.5.2 Fragestellung

Was geschieht, wenn man den Keil in die mit etwas Wasser gefüllte Petrischale stellt?

### 2.5.3 Versuchsanleitung

In die Petrischale wird zuerst etwas Wasser eingefüllt, sodass nur der Boden bedeckt ist. Danach nimmt man 2 Objektträger und gibt auf einer Seite zwischen die beiden Plättchen ein Holzstäbchen oder ein Zündholz, sodass ein Keil entsteht. Mit einem Gummiring wird dieser Keil fixiert. Stellt man diesen Keil nun ins Wasser, so kann man beobachten, dass das Wasser aufgrund des Kapillareffekts an der engen Seite höher steigt als auf der breiten.

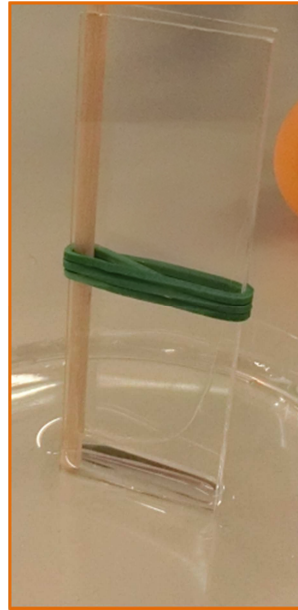


Abbildung 8  
*Kapillarität in einem Keilgefäß aus Objektträgern*

## 2.6 Reynoldsche Dilatanz

### 2.6.1 Materialliste

2 PET- Flaschen:

- Eine Flasche ist mit Wasser gefüllt
- Eine Flasche ist mit Sand oder Glaskugeln und Wasser gefüllt

Bei beiden Flaschen wird in den Verschluss ein Loch im Durchmesser eines durchsichtigen Rohres (große Pipette) gebohrt. Dieses Rohr wird durch die Bohrung bis ca. 2 cm unter den Verschluss der Flasche gesteckt. Wichtig ist, dass (i) der Sand oder die Glaskugeln bis oben hin die Flasche befüllen, und (ii) das Rohr dicht im Verschluss sitzt. Dazu am besten die Bohrung ein wenig kleiner als den Durchmesser des Rohres machen und das Rohr anschließend unter drehender Bewegung durch die Bohrung drehen. Andernfalls muss das Loch anschließend abgedichtet werden (z.B. mit einem Klebeband oder einer Heißklebepistole) um den Austritt von Wasser aus der Flasche zu vermeiden.

### 2.6.2 Fragestellung

Wie verändert sich der Wasserstand, wenn die Flasche zusammengedrückt wird?

### 2.6.3 Versuchsanleitung

Zuerst wird die Flasche mit dem Wasser (ca. in der Mitte der Flasche) zusammengedrückt. Nicht zu fest drücken, damit das Wasser nicht aus dem Rohr



spritzt. Die Schülerinnen und Schüler beobachten, dass sich das Wasser nach oben bewegt.

Danach wird die Flasche mit der Wasser-Sand-Mischung in der Mitte der Flasche zusammengedrückt. Hier geht aufgrund der *Reynoldsen Dilatanz* der Wasserpegel nach unten. Bei der Bewegung des Sandes entsteht Hohlraum in welches das Wasser einsickert. Dadurch sinkt der Wasserspiegel. Natürlich wird die Plastikflasche an anderen Stellen weiter um das Volumen aufzunehmen. Die Änderung ist minimal und nicht mit dem freien Auge erkennbar. Der Effekt der zu einer Volumenänderung führt wird im nachfolgendem Experiment (siehe Kapitel 0) erklärt!

In der Natur ist dieser Effekt beim Spaziergang am feuchten Sandstrand erkennbar. Die Fußabdrücke, hier wurde der Sand bewegt, erscheinen kurz trocken.

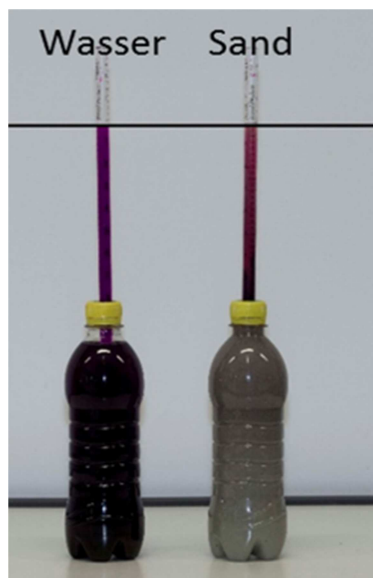


Abbildung 9  
Ungedrückte Flaschen

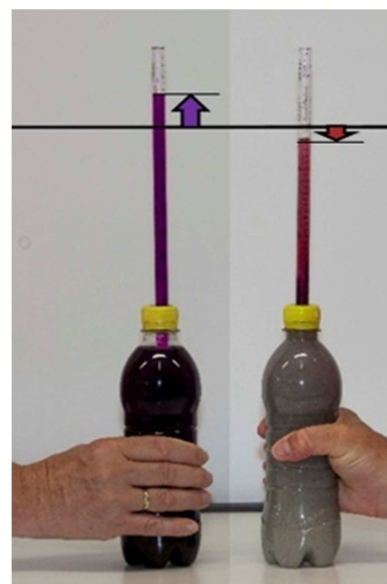


Abbildung 10  
Gedrückte Flaschen

## 2.7 Modellexperiment zur Reynoldsschen Dilatanz – ein „Keksperiment“

### 2.7.1 Materialliste

Mindestens 4 scheibenförmige „Kekse“ (Kekse, Magnete, Münzen, Bierdeckel, oder ähnliches)

### 2.7.2 Fragestellung

Wie kann man die Reynoldssche Dilatanz veranschaulichen?

### 2.7.3 Versuchsanleitung

Bei diesem Experiment kann noch einmal auf die Struktur des feuchten Sandes eingegangen werden. Feuchter Sand ist eine Mischung aus Sandkörnern und Wasser (die umgebende Luft vernachlässigen wir in dem was folgt, wir sprechen hier also von vollständig mit Wasser gesättigtem Sand). Die Hohlräume, die sich in der Mischung ergeben spielen eine große Rolle auf die Verteilung des Wassers in der Mischung.

Die Sandkörner werden durch Kekse oder andere scheibenförmige Objekte simuliert. Die Hohlräume dazwischen bilden den Wasseranteil. Den Wasseranteil denkt man sich zwischen den Kontaktstellen der Kekse (blaue Bereiche in Abbildung 11). Die Kekse werden zuerst in der Anordnung von Abbildung 11 aufgelegt, sodass der Wasseranteil (entspricht den blauen Bereichen) ein Minimum erreicht.

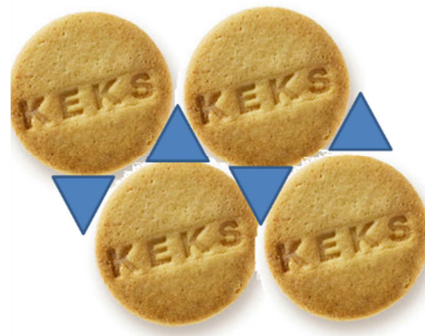


Abbildung 11  
*Lage der Kekse in dichter Packung (Normalzustand)*

Man kann bereits mit freiem Auge erkennen, dass die Hohlräume zwischen den Keksen sehr klein sind (die Schätzung der SchülerInnen sind meist sehr gut!). Die Anordnung der Sandkörner unter Druck kann man in Abbildung 12 sehen.



Abbildung 12  
Anordnung der Sandkörner unter Druck

Durch das Zusammendrücken der Sandkörner (Kekse) entstehen größere Hohlräume in denen nun mehr Wasser Platz hat.

*Tipp: Der relative Wasseranteil (d.h., die Fläche die nicht durch die Scheiben bedeckt wird) kann exakt durch eine geometrische Analyse der Hohlräume berechnet werden. Dazu betrachtet man ein gleichseitiges Dreieck in der Anordnung von Abbildung 11, bzw. ein Quadrat in der Anordnung von Abbildung 12. Alternativ kann eine einfache numerische Integration verwendet werden, wie diese in den „Keksperimenten“ auf der Projektwebseite dokumentiert ist! Letztere Methode ist zwar approximativ, ist aber bei der Verwendung einer Mischung aus verschiedenen großen Keksen wesentlich einfach anzuwenden.*



### **3 Bakkalaureatsarbeit Lukas Wachtler (Primarstufe)**

Siehe <https://ippt.tugraz.at/vsb>  
"Broschure"



#### **4 Bakkalaureatsarbeit Benjamin Bahar (Sekundarstufe)**

Siehe <https://ippt.tugraz.at/vsb>  
"Broschüre"

