



Seminararbeit

Thema: Untersuchung des Rice Kettlebells Experiments

Verfasser/in: Heidi Zintl

Leitfach: Physik

Seminarkürzel: 2W_ph

Lehrkraft: StR Dr. Thomas Grillenbeck

Abgabe der schriftlichen Arbeit am:

[Datumsstempel Sekretariat]

Präsentation mit Prüfungsgespräch am:

____.____. 20 ____

Bewertung	Note	in Worten	Punkte		Punkte
schriftliche Arbeit				x 3	
Abschlusspräsentation				x 1	
Summe					
Gesamtleistung nach § 29 (7) GSO = Summe : 2 (gerundet)					

Unterschrift der Lehrkraft

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3 -
1.1	<i>Beschreibung</i>	3 -
1.2	<i>Allgemeine Aufgabenstellung</i>	3 -
2	Welche Kräfte erlauben es, dass dieses Phänomen eintritt?	4 -
2.1	<i>Friktion</i>	4 -
2.2	<i>Gravitationskraft</i>	4 -
2.3	<i>Kohäsion</i>	5 -
3	Wie kann man das granulare Material charakterisieren?	6 -
4	Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Schüttwinkel und dem Experiment? ... -	7 -
4.1	<i>Reis</i>	8 -
4.2	<i>Mehl</i>	8 -
4.3	<i>Salz</i>	8 -
4.4	<i>Sand</i>	8 -
4.5	<i>Kaffeebohnen</i>	9 -
4.6	<i>Zucker</i>	9 -
4.7	<i>Salz und Zucker im Vergleich</i>	9 -
4.8	<i>Literaturvergleich</i>	10 -
4.9	<i>Kraftmessung</i>	10 -
4.10	<i>Schlussfolgerung</i>	11 -
5	Welchen Effekt hat das Material des Gefäßes?	11 -
6	Wie viel Volumen des Kochlöffels wird mindestens benötigt, damit das Experiment funktioniert?	11 -
7	Welchen Einfluss hat Feuchtigkeit auf dieses Experiment?	13 -
8	Schluss	16 -
9	Danksagung	16 -
10	Literaturverzeichnis	17 -
11	Abbildungsverzeichnis	17 -

1 Einleitung

1.1 Beschreibung

In der Wissenschaft gibt es noch sehr viele unerklärliche Experimente. Im Folgenden wird das Experiment „Rice Kettlebells“, das noch sehr unerforscht ist, näher betrachtet. Hierzu gibt es bislang keine Literatur, die direkt dieses Themengebiet behandelt, sondern nur Quellen zu wenigen einzelnen Teilbereichen. Beispielsweise wird in dieser Seminararbeit beleuchtet, welche Parameter dieses Experiment beeinflussen oder ob sich das Ergebnis abwandelt, wenn man die Ausgangslage des Experiments mit dem Hinzufügen von Stoffen verändert.

Für dieses Experiment benötigt man eine Flasche, ein granulares Material, wie zum Beispiel Reis, und einen Gegenstand, wie zum Beispiel einen Kochlöffel, um die Flasche am Ende hochzuheben. Zuerst nimmt man sich die leere Flasche und füllt diese bis zum Rand mit Reis. Anschließend verdichtet man den Reis und führt den Kochlöffel in die Flasche mit der Teilchenmasse, bis der Kochlöffel fest genug in der Flasche steckt, um diese schlussendlich nur mit dem Kochlöffel hochheben zu können. Eine andere Möglichkeit ist, dass man zuerst den Kochlöffel in die Flasche steckt, diese dann mit Reis befüllt und anschließend das granulare Medium verdichtet.

1.2 Allgemeine Aufgabenstellung

Die Idee, das Experiment „Rice Kettlebells“ zu bearbeiten, kam ursprünglich vom Physikwettbewerb GYPT (German Young Physicists Tournament), bei dem im Jahr 2022 die Aufgabenstellung lautete:

„Take a vessel and pour some granular material into it, for example, rice. If you dip e. g. a spoon into it, then at a certain depth of immersion, you can lift the vessel and contents by holding the spoon. Explain this phenomenon and explore the relevant parameters of the system.“¹

¹ <https://www.iypt.org/problems/problems-for-the-36th-iypt-2023/>

2 Welche Kräfte erlauben es, dass dieses Phänomen eintritt?

2.1 Friktion

Wenn man eine leere Flasche bis zum Rand mit Reis füllt, liegen noch viele kleine Luftteilchen zwischen den einzelnen Reiskörnern. Durch das Einführen des Kochlöffels oder eines anderen Gegenstandes, werden die Teilchen immer näher aneinandergedrückt und die Luftpartikel zwischen dem Granulat verdrängt, um genügend freies Volumen für den Gegenstand zu schaffen. Die Körnchen rücken mit jedem Verdichten des Reisgranulats in der Flasche immer näher zusammen, bis diese aneinander reiben und nur noch sehr wenig, bis gar keine Luft mehr zwischen ihnen liegt. Aufgrund dieses Vorgangs entsteht somit Reibungskraft, weil sich das Granulat in den meisten Fällen berührt und aneinander reibt.

„Die Friktion ist eine physikalische Kraft, die auftritt, wenn zwei Oberflächen sich gegeneinander bewegen. Sie wirkt entgegen der relativen Bewegung der Oberflächen und versucht, diese zu verlangsamen oder zu stoppen. Die Reibungskraft entsteht aufgrund der Wechselwirkung zwischen den Molekülen der beiden Oberflächen. Diese Kraft hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie der Art und Rauheit der Oberflächen, dem Druck zwischen den Oberflächen und der Geschwindigkeit der Relativbewegungen.“²

Wenn die Reiskörnchen so eng nebeneinander gepackt sind, ist die Reibung zwischen ihnen selbst, zwischen den Körnern und dem Löffel und zwischen den Körnern und der Behälterwand groß genug, dass man die Flasche mit dem Löffel anheben kann.

2.2 Gravitationskraft

Außerdem wirkt die Gravitationskraft auf dieses Experiment ein, die die Flasche mit ihrem Inhalt in Richtung Erde zieht. Bei diesem Experiment ist die Reibungskraft jedoch größer als die Gravitationskraft. Dadurch, dass das Granulat durch das Einführen des Löffels so stark zusammengedrückt wird und die einzelnen Körner untereinander „Brücken“ bilden³, wird die Reibungskraft so groß, dass sie einen Kraftvorteil gegenüber der Gravitationskraft hat, diese übertrifft und somit dieses Experiment funktionieren kann.

² <https://chat.openai.com>

³ Vgl. Fromme, Feuerräder, Zebrastrreifen und Lawinen - Experimente mit granularer Materie - S. 15.

„Die Gravitationskraft ist eine der fundamentalen Kräfte in der Physik. Sie ist verantwortlich für die Anziehung zwischen Massen und bewirkt, dass alle Objekte mit Masse zueinander gezogen werden.

Die Gravitation hängt von zwei Faktoren ab: der Masse der beteiligten Objekte und dem Abstand zwischen ihnen. Größere Massen erzeugen eine stärkere Gravitationskraft, während größere Abstände die Gravitation abschwächen.“⁴

Die Gravitation ist an diesem Experiment nur teilweise integriert und nur wahrzunehmen, wenn diese größer ist als die Reibungskraft. Andererseits gleicht sie nur einen Teil der Reibungskraft aus, weshalb man die Flasche hochheben kann.

2.3 Kohäsion

Es wirkt auch noch eine dritte Kraft auf dieses Experiment, die Kohäsion, weshalb sich die Körner aneinander „binden“ und somit nicht so schnell von ihrer Anordnung verrutschen.

„In der Physik bezieht sich Kohäsion auf die Anziehungskraft oder Bindungskraft zwischen den Teilchen in einem Material oder einem Körper. Diese Kräfte halten die Teilchen zusammen und bestimmen, wie fest oder locker das Material ist. Kohäsion ist ein wichtiger Faktor, der das Verhalten von Feststoffen und Flüssigkeiten beeinflusst.

In Feststoffen sind die Teilchen (Atome, Moleküle oder Ionen) eng beieinander angeordnet und üben starke Kohäsionskräfte aufeinander aus. Diese Kräfte halten die Körnchen in einer festen Position und verhindern, dass sie leicht voneinander getrennt werden.

In Flüssigkeiten sind die Teilchen enger beieinander als in Gasen, aber sie können noch frei beweglich sein. Kohäsionskräfte in Flüssigkeiten wirken nicht so stark wie in Feststoffen, aber sie sorgen dafür, dass die Flüssigkeit zusammenhält und eine Oberflächenspannung aufweist.“⁵

⁴ <https://chat.openai.com>

⁵ <https://chat.openai.com>

3 Wie kann man das granulare Material charakterisieren?

Jedes Granulat hat eine andere Oberfläche, Größe, Form und damit auch einen anderen Schüttwinkel.

„Der Schüttwinkel bezieht sich auf den maximalen Neigungswinkel eines Schüttguts auf einer geneigten Fläche oder in einem Behälter, bevor es zu einer spontanen Bewegung oder einem Abrutschen kommt. Dieser Winkel hängt von mehreren Faktoren ab, wie der Größe, Form und Oberflächenbeschaffenheit der Schüttgutteilchen sowie der Reibung zwischen den Granulaten und der Fläche. Je nach diesen Faktoren kann der Schüttwinkel für verschiedene Materialien unterschiedlich sein.“⁶

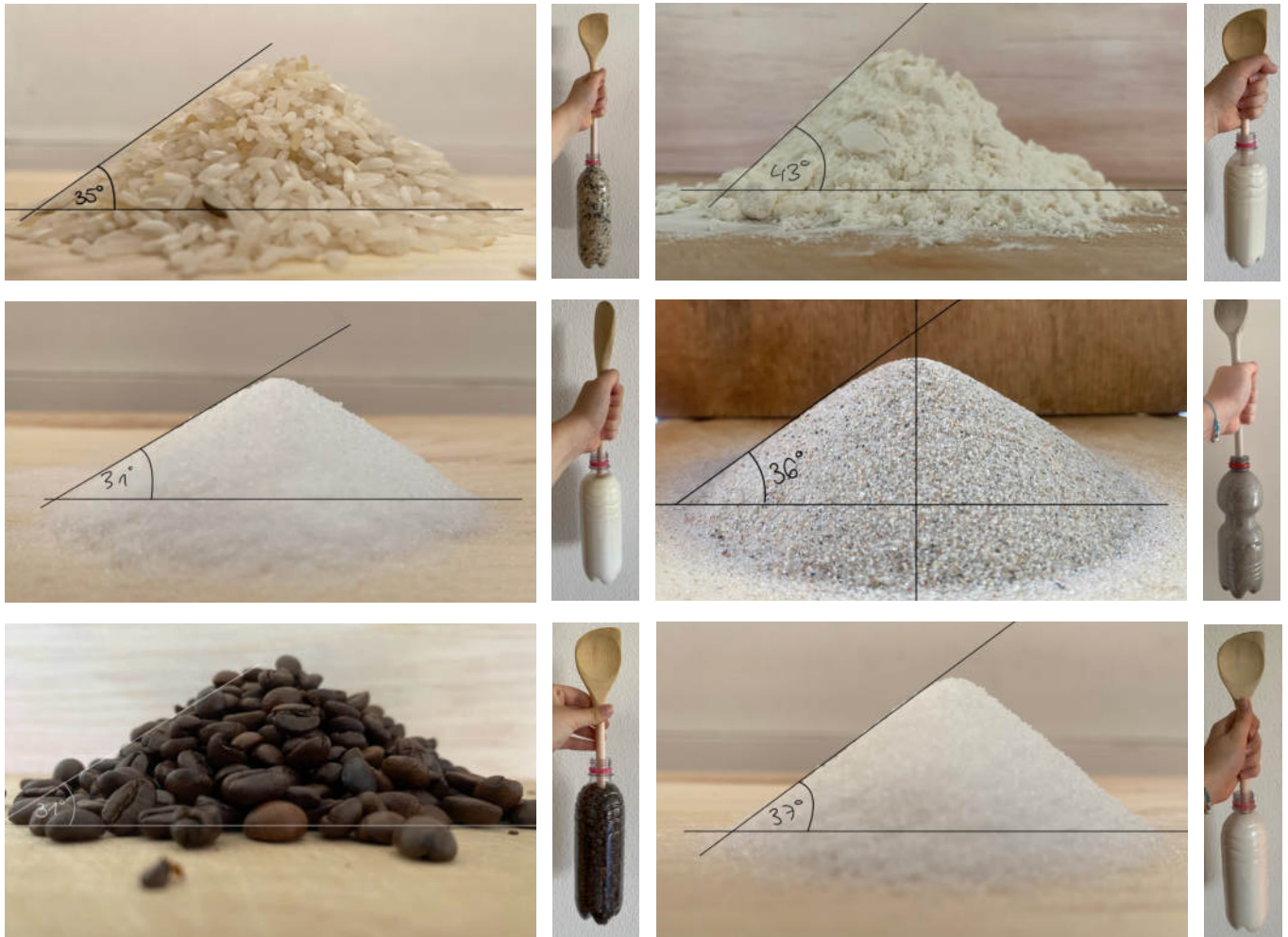
Je rauer die Oberfläche des Granulats ist, desto größer ist der Schüttwinkel, denn die einzelnen Teilchen können dadurch besser aneinander haften. Je größer die Kohäsion zwischen den Körnern ist, desto größer ist der Schüttwinkel, weil sich durch die Kohäsion die Teilchen untereinander anziehen und dadurch eine größere Dichte entsteht. Je mehr das Medium verdichtet wurde, desto größer ist der Schüttwinkel, weil weniger störende Luftpartikel zwischen dem Granulat vorhanden sind. Bei gleichgroßen Partikeln kann man nicht sagen, dass kleinere oder größere Teilchen eines Granulats einen größeren Schüttwinkel haben, weil je kleiner diese sind, desto weniger Luftpartikel liegen zwischen den Körnchen. Je größer die einzelnen Körner sind, desto mehr Verbindungen können sie untereinander schließen. Deshalb ist der Faktor Größe nur interessant, wenn die Teilchen sich in der Größe unterscheiden. Denn je verschiedener die Korngrößen sind, umso größer ist der Schüttwinkel, weil sich dadurch die kleinen Teilchen in die Lücken der großen einordnen und somit weniger Luftteilchen zwischen dem Granulat sitzen, die die Reibung verhindern könnten. Je runder die Form des granularen Mediums ist, desto platzsparender können sich die Körner anordnen, weil die Packung von kugelförmigen Teilchen bei runden Körpern am effektivsten ist. Dadurch befindet sich weniger Luft in den Zwischenräumen, was zu einer größeren Reibung führen kann. Je stabiler die Kraftbrücken zwischen den Granulatteilchen sind, desto höher ist der Schüttwinkel.

Jedoch kann man nicht allein aus einem dieser Faktoren schließen, welche Größe der Schüttwinkel einer Materie besitzt, denn nur in Verbindung von Oberflächenbeschaffenheit, Größe und Form des Granulats ergibt sich diese Größe.

⁶ <https://chat.openai.com>

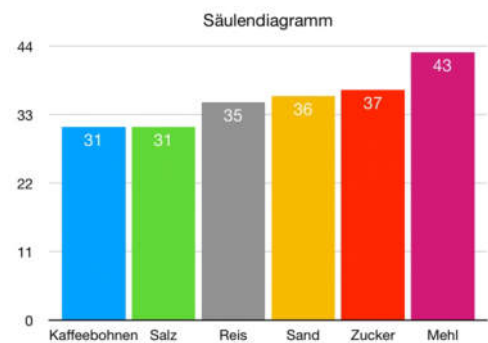
4 Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Schüttwinkel und dem Experiment?

Im Folgenden soll festgestellt werden, ob ein Zusammenhang zwischen dem Schüttwinkel und dem Experiment besteht. Man könnte meinen, wenn der Schüttwinkel größer ist, dass das Experiment besser funktioniert als bei einem Kleineren.



Ergebnisse der Schüttwinkel verschiedener Materialien

Granulat	Schüttwinkel in °
Kaffeebohnen	31
Salz	31
Reis	35
Sand	36
Zucker	37
Mehl	43



4.1 Reis

Reis ist das granulare Material, mit dem man am einfachsten das Experiment durchführen kann. Der Schüttwinkel beträgt 35° . Hier ist vor allem die Form und Größe der Reiskörner von Vorteil, die sich nach Verdichtung sehr platzsparend anordnen, und somit nur noch sehr wenig Raum für Luft zulassen.

4.2 Mehl

Mehl hat im Gegensatz zu den anderen Materialien einen relativ hohen Schüttwinkel von 43° . Es ist auch nach dem Verdichten des Mehls schwierig, das Experiment funktionieren zu lassen, weil die einzelnen Mehlteilchen sehr klein sind und dadurch relativ wenig Fläche für Reibung vorhanden ist. Der Versuch funktioniert bei behutsamer Vorgehensweise, bei ruckartiger Bewegung rutscht der Kochlöffel aus der Masse.

4.3 Salz

Der Schüttwinkel von Salz beträgt 31° . Hier ist es jedoch wesentlich schwerer, auch nach dem Verdichten, die Flasche hochzuheben. Vielleicht liegt es daran, dass Salz aus kleinen Kristallen und nicht wie Sand aus Steinchen besteht und so keine große Reibung entstehen kann.

4.4 Sand

Sand hat einen Schüttwinkel von 36° . Das Experiment funktioniert mit Sand auch unverdichtet, weil die Sandteilchen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Größe schon beim Einfüllen in die Flasche platzsparender anordnen und die Lücken zwischen den größeren Teilchen von den kleinen abgedichtet werden. Wird der Sand verdichtet, gelingt der Versuch umso leichter, weil die Teilchen nun unmittelbar von den einzelnen Körnern umgeben sind und kaum noch Luft zwischen ihnen vorhanden ist.

4.5 Kaffeebohnen

Bei Kaffeebohnen beträgt der Schüttwinkel ungefähr 31° . Auch wenn durch die etwas größere Größe der Teilchen mehr Freiraum zwischen den einzelnen Bohnen entsteht, funktioniert das Experiment sehr gut, weil diese einen größeren Angriffsraum für Reibung besitzen.

4.6 Zucker

Zucker hat einen Schüttwinkel von 37° . Trotz der Ähnlichkeit zu Salz, ist hier der Schüttwinkel um ungefähr 5° größer. Das Experiment funktioniert, wenn man den Kochlöffel noch vor dem Verdichten in das granulare Medium steckt, weil sonst die Masse noch dichter wird und der Kochlöffel schon nach ein paar Zentimetern nicht weiter in die Flasche eingeführt und später wieder ohne Kraftaufwand herausgezogen werden kann. Diese Granularteilchen bauen sehr starke Verbindungen auf, ähnlich wie Salz, und bilden dadurch eine sehr feste Masse, doch woran liegt dies?

4.7 Salz und Zucker im Vergleich



Abb. 1: Vergrößerte Darstellung von Salzteilchen



Abb. 2: Vergrößerte Darstellung von Zuckerteilchen

78

Wenn man sich die Eigenschaften dieser Granulate ansieht, stellt man fest, dass diese zur Gruppe der Kristalle gehören. Diese beiden Kristallarten haben viele Gemeinsamkeiten, wie zum Beispiel die Größe der Körnchen oder die starken Verbindungen zwischen den einzelnen Teilchen. Aber sie haben auch Unterschiede, wie man beispielsweise an den Bildern sieht. Die Salzkörner sind eher kugelförmig und die von Zucker eher quaderförmig. Außerdem haben die beiden Kristalle bei der Kraftmessung ähnliche Ergebnisse, obwohl beide einen sehr unterschiedlichen Schüttwinkel besitzen.

⁷ <https://techpharm.de/vergleichsmessungen-zur-partikelgroessenverteilung/>

⁸ <https://www.alamy.de/aggregator-api/download/?url=https%3A%2F%2Fc7.alamy.com%2Fcompde%2F2bkh8p8%2Ferstaunliche-salzkristalle-unter-dem-mikroskop-2bkh8p8.jpg>

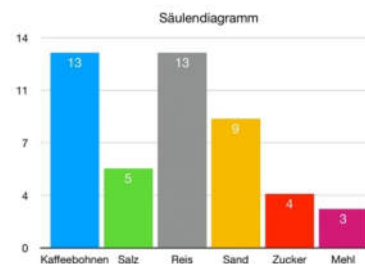
4.8 Literaturvergleich

Die Literaturmesswerte von eckigem, scharfkantigem Sand mit 32 - 35° Schüttwinkel weichen nur um einen Grad von den Ergebnissen ab, dies ist also nicht nennenswert. Der Messwert von Mehl mit einem Schüttwinkel von 45° liegt bei ähnlichen Messwerten. Der Wert von Zucker mit 35° Schüttwinkel liegt ungefähr in dem Bereich der durchgeführten Versuche, denn dieser weicht hier nur um 2° ab. Hingegen weicht der Messwert von Salz mit 40° Schüttwinkel deutlich von den Versuchsergebnissen ab, und zwar mindestens um 8 - 9°. Dieser Unterschied im Ergebnis ist immens.⁹

4.9 Kraftmessung

Ergebnisse der Kräfte verschiedener Materialien

Granulat	Schüttwinkel in kg
Kaffeebohnen	13
Salz	5
Reis	13
Sand	9
Zucker	4
Mehl	3



Unter Zuhilfenahme einer Gepäckwaage lässt sich der unterschiedliche Kraftaufwand bis zum Herausziehen des Kochlöffels bei den jeweiligen Experimenten messen. Wenn man dabei die kristallartigen Granulate Salz und Zucker außer Acht lässt, nimmt die Kraft, die zwischen den Teilchen und dem Kochlöffel wirkt, bis der Kochlöffel aus der Flasche rutscht, umso mehr ab, je größer der Schüttwinkel wird. Am größten ist die Kraft bei Reis und Kaffeebohnen. Hier hätten die Experimente noch weitaus mehr Gewicht ausgehalten, weil sich auch bei 13 kg der Kochlöffel noch nicht aus der Flasche löst. Bei Salz und Zucker ist es sehr schwierig den Kochlöffel in die granulare Materie zu stecken, weil sich die Granulate dabei sehr verkanten. Jedoch sind die Kraftbrücken zwischen den Kristallen nicht so stark, um mehr als das Sieben- bis Achtfache des Eigengewichts zu heben. Bei Salz sind es 5,3 kg und bei Zucker 3,5 kg bis sich der Kochlöffel herausziehen lässt. Mit dem größten Schüttwinkel hält Mehl nur unwesentlich mehr als sein Eigengewicht, nämlich gerade einmal 2,5 kg, und hält damit am wenigsten aus.

⁹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Reibungswinkel>

4.10 Schlussfolgerung

Nach Rückschau aller durchgeführten Versuche beeinflusst der Schüttwinkel das jeweilige Experiment. Je kleiner der Schüttwinkel, desto größer ist das Gewicht, das das Experiment aushält. Mit zunehmendem Schüttwinkel nehmen die Kräfte weiter ab, bis sie gerade so ihr Eigengewicht halten können, auch wenn die Kraftbrücken bei höheren Schüttwinkeln stabiler sind.

5 Welchen Effekt hat das Material des Gefäßes?

Jedes Material eines Gefäßes hat eine andere Oberflächenbeschaffenheit, weshalb auch die Reibung der Körner mit der Gefäßwand bei verschiedenen Flaschenmaterialien unterschiedlich ist. Zum Beispiel hat eine Glasflasche eine glattere Oberfläche als eine Plastikflasche. Somit sollte das Experiment mit einer Plastikflasche besser funktionieren, da materialbedingt eine größere Reibungskraft zwischen dem Granulat und der Oberfläche entsteht. Mehrere Versuche bestätigten die Vermutung, dass das Experiment mit einer Glasflasche weniger gut gelingt. Man kann die Flasche nur wenige Zentimeter hochheben, ohne dass sich der Kochlöffel aus dem Reis löst. Durch die glatte Glasoberfläche kann nur eine geringe Reibung zwischen den einzelnen Komponenten zueinander (Körner – Behälterwand; Körner untereinander; Körner – Kochlöffel) entstehen, auch wenn beim Hinzufügen des Kochlöffels das Material zusätzlich verdichtet und folglich die Freiräume zwischen den Körnern verringert. Außerdem ist Glas wesentlich schwerer als Plastik, also wirkt hier eine größere Gravitation. Die Wahrscheinlichkeit sinkt, dass das Experiment funktioniert, weil die Reibungskraft kleiner als die Gewichtskraft wird.

6 Wie viel Volumen des Kochlöffels wird mindestens benötigt, damit das Experiment funktioniert?

Zu dieser Frage gibt es jeweils zu den verschiedenen Materialien zwei Experimente.



Bei diesem Versuch soll festgestellt werden, wie groß der Unterschied zwischen verdichtetem und unverdichtetem Granulat ist. Durch das Verdichten rutschen die Körner näher aneinander. Die Luftpartikel bahnen sich einen Weg aus der Teilchenmasse und die Dichte steigt, woraufhin die Anfangshöhe des Materials in der Flasche sinkt. Je nachdem, ob

das Granulat verdichtet oder unverdichtet ist, befindet sich mehr oder weniger Luft zwischen den Körnchen. Hier ergibt sich außerdem ein Unterschied bei dem jeweiligen Volumen, welches der Kochlöffel einnehmen muss, um Reibung zu verursachen, damit die Flasche gehoben werden kann. Dabei kommt es auch auf den Durchmesser des Kochlöffels an, wie viel Volumen verdrängt wird.

Bei verdichtetem Reis muss man den Kochlöffel mindestens 5,5 cm in die Flasche stecken, um die Flasche hochheben zu können. Wenn man den Kochlöffel nur einen Millimeter weniger in die Flasche hineinschiebt, nimmt der Kochlöffel zu wenig Volumen ein und es entsteht nicht die nötige Reibung zwischen den einzelnen Komponenten (wie oben beschrieben), um den gewünschten Effekt zu erzeugen. Dadurch, dass der Reis zuvor verdichtet wurde, befand sich zwischen den einzelnen Körnern nicht mehr so viel Luft, die die Reibung zwischen den einzelnen Körnchen verhindern konnte.

Bei unverdichtetem Reis benötigt man 1,5 cm mehr Länge des Kochlöffels, das heißt insgesamt 7 cm, um die Flasche hochheben zu können. Warum gibt es hier einen so großen Unterschied? Da der Reis vorher nicht verdichtet wurde, lagen alle Reiskörner locker aufeinander und nicht in einer geordneten, mit wenig Luft umschlossenen Lagerung, die die Reibung vereinfacht. Weil hier die Körnchen von Luftpartikeln umgeben waren, ist die Durchführung des Experiments mit derselben Länge des Kochlöffels in der Flasche wie bei verdichtetem Reis nicht möglich. Deshalb muss hier der Kochlöffel weiter in die Flasche geschoben werden, um das Volumen, das vorher die Luftteilchen besetzt hatten, zu ersetzen und Reibung zu erzeugen.

Bei diesem Experiment kommt es immer darauf an, wie breit oder dünn der Kochlöffel ist, weil er dadurch mehr oder weniger Volumen einnimmt.



Der Verdichtungseffekt fällt bei Sand nicht so groß aus wie bei Reis, weil die Sandkörnchen sich von Anfang an schon platzsparend anordnen und die Teilchen mehrere unterschiedliche Größen haben.

Bei verdichtetem Sand benötigt man 5 cm des Kochlöffels in der Flasche, um ein funktionierendes Experiment darzustellen. Obwohl die Sandteilchen kleiner sind als die von Reis, benötigt das Experiment mit verdichtetem Reis einen halben Zentimeter Kochlöffellänge mehr. Sprich mehr Volumen, das durch den Kochlöffel verdrängt werden muss, um die Flasche hochheben zu können. Dies erklärt sich durch die Anordnung der Körner, wie beim Vergleich der beiden Experimente sichtbar, wurde bei Reis nach dem Verdichten viel mehr Volumen freigesetzt als bei Sand.

Jedoch benötigt unverdichteter Sand mehr Volumen des Kochlöffels als Reis, etwa 8 cm. Dies lässt sich dadurch erklären, dass das Reisgranulat größer ist als das von Sand, welches eine größere Reibungskraft aufbauen kann als die wesentlich kleineren Sandkörnchen.

7 Welchen Einfluss hat Feuchtigkeit auf dieses Experiment?

Je feuchter das Granulat ist, desto schwieriger ist es, das Phänomen hervorzurufen. Die Luftpartikel, die zwischen den jeweiligen Körnchen liegen, können durch das Einführen des Kochlöffels, durch das das Medium zusammengedrückt und die Luft damit verdrängt wird, durch den Flaschenhals entfliehen und das Granulat verdichtet sich. Dadurch, dass sich nun aber Wasser- anstelle von Luftteilchen zwischen der granularen Materie befinden, kann das Granulat sich nicht mehr so gut verdichten und somit das Phänomen nicht genauso gut hervorrufen, als wenn die Körnchen trocken wären. Denn die Wasserteilchen können nicht wie die Luftpartikel in die Luft freigesetzt werden, sondern bleiben in der Flasche zwischen den Teilchen und verhindern damit die Entstehung der nötigen Reibungskraft, um die Flasche mit dem Löffel hochzuheben.

Man möchte denken, dass Feuchtigkeit einen großen Einfluss auf das Experiment hat, jedoch wird es nach Messung mit einem Feuchtigkeitsmessgerätes erst ab 3 % Wasseranteil immer schwieriger, das Experiment zu verwirklichen, bis es bei 6 % gar nicht mehr funktioniert. Durch

das sich zwischen den Körnchen befindende Wasser wird die Dichte generell größer, weil der ursprünglich mit Luft gefüllte Freiraum durch die Wasserteilchen ersetzt wird.

Das Experiment wurde gemäß folgendem Versuchsablauf umgesetzt. Zuerst nimmt man Sand, in diesem Fall Seesand, der mit Salz versetzt sein und damit die Werte etwas verfälschen kann. Wasser wird hinzugefügt, bis der gewünschte Wassergehalt erreicht ist, den man vom Feuchtigkeitsmessgerät abliest. Dann füllt man den feuchten Sand in eine Flasche, verdichtet diesen und versucht, ob man die Flasche mit dem zuvor ausgewählten Wassergehalt mit dem Kochlöffel hochheben kann.

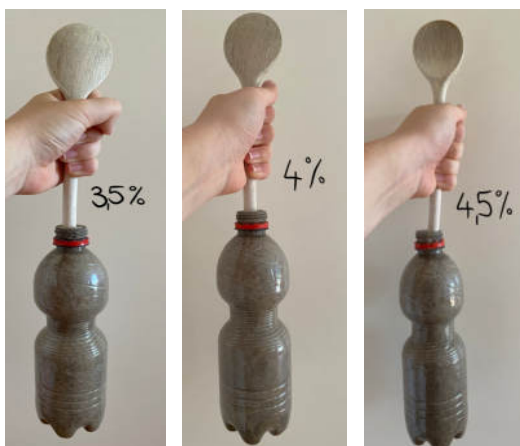
Bis 1,5 % Wassergehalt zeigt sich noch keine Veränderung. Die Körnchen bewegen sich immer noch wie zuvor bei Fremdeinwirkung und sind noch an die anderen Körner gebunden.



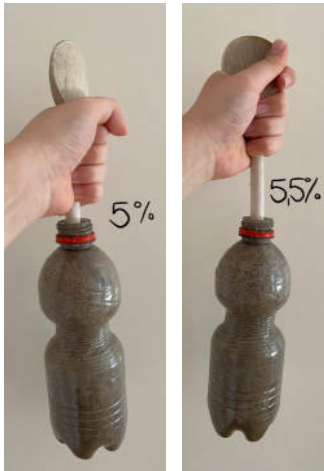
Bei 2 - 2,5 % Wassergehalt werden die Sandkörner schon durch Wasserteilchen miteinander verbunden, jedoch ist noch ausreichend Reibung vorhanden und das Experiment funktioniert sehr gut ohne leichtes Herausrutschen.

Bei 3 % Wassergehalt gibt es erste Schwierigkeiten beim Verdichten. Das

Wasser trennt die einzelnen Körner voneinander und Reibung kann weniger stattfinden. Auch beim Hochheben muss man sehr aufpassen, dass der Kochlöffel nicht aus der Flasche herausrutscht.



Bei einem Wassergehalt von 3,5 - 4,5 % gibt es weitere Kleinigkeiten anzumerken, wie leichtes Herausrutschen und schwieriges Hineinstecken des Kochlöffels in die Flasche aufgrund der größeren Dichte des Sandes durch die Wasserzufuhr. Jedoch funktioniert auch hier das Experiment noch einwandfrei.



Bei 5 - 5,5 % Wassergehalt ist es äußerst schwierig, das Experiment durchzuführen, weil zwischen den Sandkörnern schon so viel Wasser vorhanden ist, dass man den Sand nicht mehr so einfach verdichten kann und das Wasser schon beginnt, sich oben abzusetzen. Wenn man den Versuch von 1,5 % mit 5,5 % Wassergehalt vergleicht, zeigt sich, dass man wesentlich mehr Sand benötigt, um das Experiment zu verwirklichen.



Bei 6 % Wassergehalt stößt man an das Maximum und das Experiment funktioniert nicht mehr. Bei dem Bild (links) sieht man sehr gut, wie viel Wasser sich

über dem Sand durch das Verdichten abgesetzt hat. In den Zwischenräumen der Sandkörner war kein Freiraum mehr, um noch weitere Wasserteilchen aufzunehmen. Es ist nun generell sehr schwierig den Sand in der Flasche zu verdichten. Wenn man nur leicht in die Seite der Flasche hineindrückt, entsteht dort ein Freiraum, weil die Kohäsion durch das Wasser zwischen den Teilchen steigt und somit die Körnchen mehr aneinander gebunden sind. Auf dem zweiten Bild (rechts) erkennt man deutlich, wie sich die Struktur des Sandes im Gegensatz zu trockenem Sand verändert hat und wie sich die Sandkörnchen mit den Danebenliegenden verbunden haben.

8 Schluss

Zusammenfassend kann man sagen, dass die entscheidenden Parameter für dieses Experiment die Eigenschaften des granularen Mediums, das Material der Flasche und die Größe des Schüttwinkels sind. Bei optimalen Voraussetzungen entsteht eine sehr große Kraft, die es ermöglicht, die Flasche mit Inhalt hochzuheben. Es gibt auch noch andere Parameter, die Auswirkungen auf das Experiment haben, die aber den Rahmen dieser W-Seminararbeit überziehen würden. Wie zum Beispiel die einzelnen Experimente mit ganz anderen Granulaten durchzuführen, um zu verdeutlichen, dass die Kraft immer kleiner wird, je größer der Schüttwinkel wird. Weiterhin könnte man Veränderungen der Kräfte durch Feuchtigkeit bei anderen Granulaten als Sand feststellen oder Auswirkungen verschiedener Gefäßöffnungen erkennen, um dann schlussendlich auf die Lösung der Frage „Wie berechnet man, wann der Phasenübergang stattfindet, also wann das Granulat genügend verdichtet ist, um das Gefäß mit dem Gegenstand hochzuheben?“ zu finden, bei der man neue Denkansätze benötigt. Abgeschlossen werden soll diese Seminararbeit mit den Worten des amerikanischen Biochemikers und Nobelpreisträger Albert von Szent-Györgi:

„Eine Entdeckung besteht darin, etwas zu sehen, was jedermann gesehen hat, und sich dabei etwas zu denken, was noch niemand gedacht hat.“¹⁰

9 Danksagung

Für die hilfreiche Unterstützung bei der Anfertigung meiner wissenschaftlichen Arbeit und den konstruktiven sowie kritischen Beistand, mit dem ich dieses Projekt strukturiert und fokussiert umsetzen konnte, möchte ich mich herzlich bei Herrn Dr. Grillenbeck bedanken.

¹⁰ <https://www.janko.at/Zitate/044.htm>

10 Literaturverzeichnis

Byland, Samuel et al. (2022): „Problems for the 36th IYPT 2023“.

URL: <https://www.iypt.org/problems/problems-for-the-36th-iypt-2023/>

[Stand: 20.10.2022]

<https://chat.openai.com>

Fromme, Bärbel: „Feuerräder, Zebrastrifen und Lawinen - Experimente mit granularer Materie-“. S.15

Wikipedia: „Reibungswinkel“.

URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Reibungswinkel>

[Stand: 25.10.2023]

Janko, Angela / Janko, Otto (1999): „Aphorismen und Zitate“.

URL: <https://www.janko.at/Zitate/044.htm>

[Stand: 02.11.2023]

11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vergrößerte Darstellung von Salzteilchen

URL: <https://techpharm.de/vergleichsmessungen-zur-partikelgroessenverteilung/>

[Stand: 06.10.2023]

Abb. 2: Vergrößerte Darstellung von Zuckerteilchen

URL: <https://www.alamy.de/aggregator-api/download/?url=https%3A%2F%2Fc7.alamy.com%2Fcompde%2F2bkh8p8%2Fferstaunliche-salzkristalle-unter-dem-mikroskop-2bkh8p8.jpg>

[Stand: 06.10.2023]

Seminararbeit

Erklärung der eigenständigen Erstellung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Rosenheim, 06.11.2023

Ort, Datum

Heidi Zintl

Unterschrift des Verfassers/der Verfasserin