



**Ein Problem, das schon beim  
Frühstück beginnt**

Amelie Lerche

# Ignaz-Günther-Gymnasium Rosenheim

Oberstufenjahrgang 2014/16

## SEMINARARBEIT

aus dem Fach

Physik

Thema:

Der Paranusseffekt – ein Problem, das schon beim Frühstück beginnt.

Verfasser der Seminararbeit: Amelie Lerche  
Kursbezeichnung: Faszination Sand: die Physik granularer Materialien  
Kursleiter: StR Dr. Thomas Grillenbeck  
Abgabetermin: 10. November 2015  
Abgegeben am 10. November 2015  
Mündliche Prüfung abgelegt am .....

Erzielte Punkte in der schriftlichen Arbeit:

Erzielte Punkte in der Präsentation:

Gesamtpunktzahl (3-fach schriftlich + mündlich = 4-fache Wertung):

Doppelte Wertung (= 4-fache Wertung geteilt durch 2, gerundet):

Aus der einfachen Wertung (= 4-fache Wertung geteilt durch 4, gerundet):

ergibt sich für die Gesamtleistung die Note ....., in Worten: .....

Unterschrift des Kursleiters: .....

## **Inhaltsverzeichnis**

1.	Einleitung	S. 3
2.	Granulate – allgemeine Definition	S. 4
3.	Der Paranusseffekt	S. 5
	3.1. Der Paranusseffekt bei kugelförmigen Granulaten	S. 6
	3.2. Der Paranusseffekt bei Tackerklammern	S. 6
4.	Bereits existierende Theorien zum Paranusseffekt	S. 7
	4.1. Der Ratschen-Effekt	S. 7
	4.2. Konvektionsströmungen	S. 7
5.	Experimente zum Paranusseffekt	S. 8
	5.1. Kugelförmige Granulate	S. 8
	5.1.1. Zucker und Steine	S. 8
	5.1.2. Styroporkugeln	S. 12
	5.1.2.1. Glaskugeln	S. 12
	5.1.2.2. Holzkugeln	S. 12
	5.1.2.3. Styroporkugeln in Styroporkugeln	S. 13
	5.2. Tackerklammern und Steine	S. 13
	5.3. Silica-Gel und Steine	S. 14
6.	Der umgekehrte Paranusseffekt	S. 15
7.	Fazit	S. 16
8.	Quellenverzeichnis	S. 17



## 1. Einleitung

„Warum liegen die dicken Nüsse immer oben, wenn man eine Dose Nussmix öffnet?“<sup>1</sup> (Max Rauner)

Wenn Müsli von der Produktionsfirma über holprige Straßen ins Geschäft und damit zum Endverbraucher gebracht wird und letzterer die Müslischachtel dann öffnet, wird er bemerken, dass die größten Teile, in diesem Fall vermutlich Paranüsse, oben auf liegen. Und das, obwohl das Müsli die Firma gut durchgemischt verlassen hatte. Warum ist das so?

Diese Frage hat mich unter anderem dazu bewegt, über dieses alltägliche Phänomen einmal genauer nachzudenken und mich damit auseinanderzusetzen.

Anhand verschiedener granularer Medien, wie zum Beispiel Zucker, wurden einige Versuche durchgeführt, die den Paranusseffekt bestätigt haben. Desweiteren wurden eher ungewöhnliche Granulate wie Tackerklammern eingesetzt, um zu überprüfen, ob bei diesen ebenfalls der Paranusseffekt zu beobachten ist.

Das Ziel meiner Arbeit ist es, über den Paranusseffekt zu informieren, bereits vorhandene Theorien mithilfe von eigenen Experimenten zu überprüfen und bislang eher unerforschte Gebiete, wie zum Beispiel den umgekehrten Paranusseffekt, zu untersuchen.

Dafür wird zum allgemeinen Verständnis mit der Definition von Granulaten und einer Erklärung des Paranusseffektes begonnen, woraufhin bereits existierende Theorien und eine Reihe eigener Experimente mit verschiedenen granularen Medien und deren Ergebnisse unter dem Einfluss verschiedener Faktoren folgt.

Außerdem wird der umgekehrte Paranusseffekt kurz angeschnitten.

Zum Abschluss meiner Arbeit wird ein zusammenfassendes Fazit gezogen.

---

<sup>1</sup>Max Rauner, Die Zeit, [http://www.zeit.de/2001/33/Das\\_Paranuss-Problem](http://www.zeit.de/2001/33/Das_Paranuss-Problem) (Stand: 24.10.2015)

## 2. Granulate – allgemeine Definition

„Mit *granularer Materie* ist all das gemeint, was in irgendeiner Weise körnig ist: Sand, Reis, Nüsse oder Kieselsteine“<sup>2</sup> (Oliver Morsch, S.7)

Wenn man sich etwas mit dem Thema Granulate befasst, wird man schnell merken, dass diese fast überall im Alltag zu finden sind, seien es Kaffeebohnen oder die Steine am Wegesrand.

Allerdings ist das Gebiet der granularen Materie trotz seiner ständigen Präsenz weitestgehend unerforscht.

Die Erkenntnis, dass alles aus Atomen besteht, brachte die Wissenschaft zwar einen deutlichen Schritt weiter, jedoch wurden die Forschungen Ende des 19. Jahrhunderts vorerst eingestellt.

Die Physiker beschäftigten sich mit Dingen wie der Relativitäts- oder der Quantentheorie, wohingegen Granulate vergleichsweise uninteressant schienen.<sup>3</sup>

Doch Granulate haben durchaus ihre Tücken.

So ist es möglich, dass sie scheinen wie ein fester Stoff, jedoch unter bestimmten Einflüssen ihren Aggregatzustand scheinbar ändern und flüssig werden, wie dies zum Beispiel bei Sand zu beobachten ist. Man kann aus diesem Sandburgen bauen, wobei er als fester Stoff angesehen wird, jedoch kann man Sand auch „fließen“ lassen, indem man ihn durch die Hände rieseln lässt.

---

<sup>2</sup> Oliver Morsch: Sandburgen, Staus und Seifenblasen, S.7 Z.5f

<sup>3</sup> vgl. ebd., S. 13f

### 3. Der Paranusseffekt

Beim Paranusseffekt, auch Brazil Nut Effect genannt, handelt es sich um ein Problem aus der Physik, das auch im Alltag zu finden ist.

Es beschreibt den Vorgang, dass in einer heterogenen Mischung von Granulaten, die sich in ihrer Größe unterscheiden, die größten Stücke nach mehrmaligem Schüttelvorgang oben auf liegen.

Vor diesem Problem stand man schon im 13. Jahrhundert, als die Armeen mehr Schwarzpulver benötigten, bei dem eine möglichst gleichmäßige Mischung der einzelnen Bestandteile äußerst wichtig war. Da man zu dieser Zeit das Schwarzpulver mit Pferdewägen über holprige Straßen transportierte, trat auch hier der Paranusseffekt auf.<sup>4</sup>

Im Alltag ist dies zum Beispiel in Müsli oder Nussmischungen der Fall, wobei meist Paranüsse die größten Teile und somit Namensgeber für den Paranusseffekt sind.

Zu erklären ist dieses Phänomen unter anderem dadurch, dass durch das Schütteln die großen Teile aus ihrer Position gelockert werden und somit Hohlräume entstehen, die durch die kleineren Teile ausgefüllt werden. Anstatt zu Schütteln kann man auch auf die Unterseite des Behälters, in dem sich das Granulat befindet, klopfen.

Nach mehrmaligem Wiederholen des Schüttelvorgangs bzw. des Klopfens liegen letztendlich die großen Teile oben auf, da sie von den kleineren nach oben geschoben wurden.

Jedoch kann es durch verschiedene Faktoren, wie zum Beispiel die Masse oder die Dichte der Teilchen, auch zum sogenannten umgekehrten Paranusseffekt kommen. Hierbei liegen am Ende des Schüttelvorgangs die größten Teile nicht oben auf, sondern unten am Boden des Gefäßes.

---

<sup>4</sup> Oliver Morsch: Sandburgen, Staus und Seifenblasen, S.35



Dies tritt auf, wenn es sich um große, leichte Teile handelt, währenddessen der normale Paranusseffekt auftritt, wenn die Teile zwar von geringer Größe, jedoch einer hohen Masse sind.<sup>5</sup>

Desweiteren spielt auch die Reibung der Teilchen eine Rolle, welche Art von Paranusseffekt auftritt, denn wenn keine Reibung vorhanden ist, kann das große Teil nicht aufsteigen und somit tritt der umgekehrte Paranusseffekt auf.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Teile aufsteigen, hängt vom Verhältnis der Partikeldichten sowie vom Luftdruck ab. Umso geringer der Luftdruck, umso niedriger ist die Geschwindigkeit der Teile.<sup>6</sup>

### **3.1. Der Paranusseffekt bei kugelförmigen Granulaten**

Bei kugelförmigen Granulaten, wie zum Beispiel Zucker, ist der Paranusseffekt sehr deutlich zu beobachten, da deren Form das Hineinfließen in die Hohlräume der großen Teile begünstigt und es eben diesem großen Teil dann nicht mehr möglich ist, an die selbe Stelle zurück zu fallen.

Stattdessen landet es etwas höher, da die kleinen Teilchen an seine Stelle gerutscht sind und somit wandert das große Teil immer weiter nach oben, bis es letztendlich oben auf liegt.

### **3.2 Der Paranusseffekt bei Tackerklammern**

Bei Tackerklammern, also nicht-kugelförmigen Granulaten, ist ebenfalls der Paranusseffekt zu beobachten, jedoch etwas abgewandelt, da Tackerklammern, bedingt durch ihre Form, die Hohlräume des großen Teils nicht ausfüllen können. Jedoch besitzen sie die Fähigkeit, sich ineinander zu verhaken und somit eine Art „Ball“ zu bilden, wodurch die großen Teile entweder ausgestoßen oder eingeschlossen werden.

---

<sup>5</sup>[http://online-media.uni-marburg.de/biologie/nutzpflanzen/lukas\\_hartmann/Paranusseffekt.html](http://online-media.uni-marburg.de/biologie/nutzpflanzen/lukas_hartmann/Paranusseffekt.html)  
(Stand: 24.10.2015)

<sup>6</sup><http://sciencev1.orf.at/science/news/31922> (Stand: 25.10.2015)

## **4. Bereits existierende Theorien zum Paranusseffekt**

### **4.1. Der Ratschen-Effekt**

Eine bestätigte Theorie zum Paranusproblem ist der sogenannte „Ratschen-Effekt“.<sup>7</sup>

Er besagt, dass durch den Schüttelvorgang die großen Teile in der granularen Mischung aus ihrer Position gelockert werden und somit einen Hohlraum erzeugen. Dieser Hohlraum wird von den kleineren Teilen ausgefüllt, sodass es dem großen Teil nicht mehr möglich ist, an die selbe Position zurückzufallen. Stattdessen landet es ein Stück höher und wird so immer weiter nach oben befördert. Nach mehrmaliger Wiederholung ist das große Teil oben angelangt.

### **4.2. Konvektionsströmungen**

Eine weitere Möglichkeit ist die Theorie von Heinrich Jaeger. Dieser hat gemeinsam mit seinen Kollegen Knight und Nagel der Universität Chicago ein Experiment zum Paranusseffekt mithilfe eines Kernspintomographen durchgeführt. Dafür hat er ein Gefäß mit zwei gleichgroßen Granulaten, die unterschiedliche Signale an den Kernspintomographen lieferten, gefüllt. Diese wurden abwechselnd in Schichten in das Gefäß geschüttet. Außerdem wurde eine Kugel in die Mitte gelegt, die als großes Teil fungierte.

Nun war zu beobachten, dass bei Einsetzen des Schüttelvorgangs in der Mitte der Mischung Konvektionsströmungen auftraten, die die Kugel mit nach oben zogen. Das kleinere Granulat floss an den Seiten des Gefäßes wieder hinunter zum Boden, die Kugel jedoch blieb oben auf liegen, da sie zu groß war, um mit den schmalen Strömungen an der Gefäßwand wieder nach unten gezogen zu werden.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Oliver Morsch: Sandburgen, Staus und Seifenblasen, S.44

<sup>8</sup> ebd., S.44f



## 5. Experimente zum Paranusseffekt

### 5.1. Kugelförmige Granulate

#### 5.1.1. Zucker und Steine

Dieses Experiment wurde zehn Mal durchgeführt, um einen Durchschnittswert ermitteln zu können. Außerdem wurde auf den Boden des Gefäßes geklopft anstatt es zu schütteln, da so ein genauerer Wert ermittelbar ist.

Es wurde mit verschiedenen Mengen Zucker, einem Glas mit dem Durchmesser 8,5 cm und der Höhe 13 cm und Steinen mit jeweils 1,5 cm Durchmesser gearbeitet. Die Steine lagen auf dem Boden des Glases und der Zucker wurde darüber aufgeschüttet, woraufhin auf den Boden des Gefäßes geklopft wurde, sodass der Paranusseffekt eintrat.

Außerdem wurde getestet, ob es einen Einfluss darauf hat, wie schnell die Steine oben angelangt sind, wenn sich ein oder drei Steine im Glas befinden.

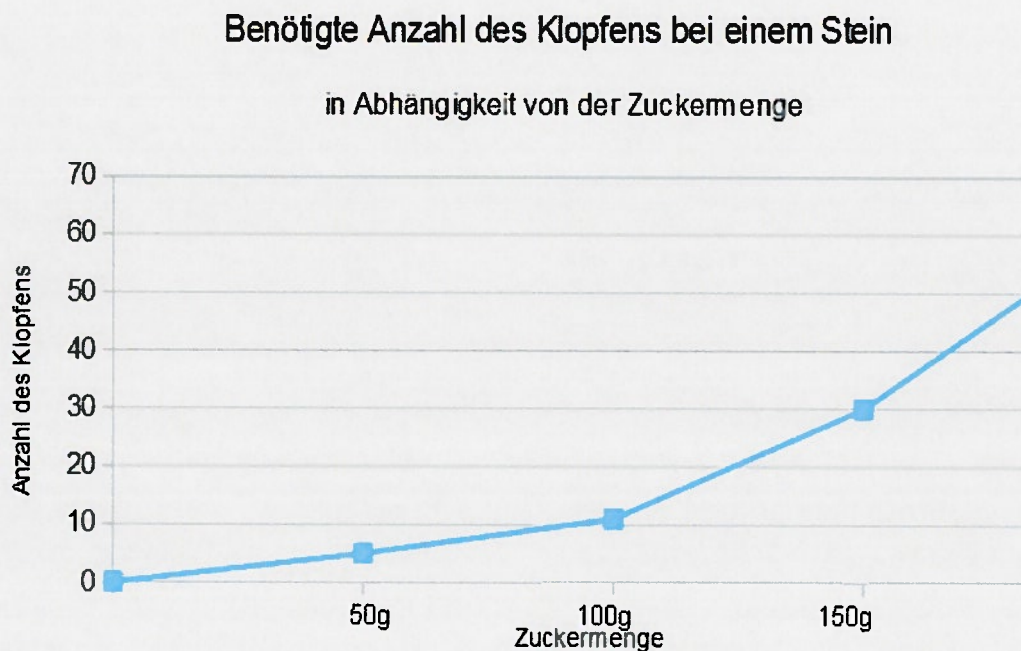


Abbildung 1: *Durchschnittlich* benötigte Anzahl des Klopfens auf den Gefäßboden bei einem Stein in Abhängigkeit von der jeweiligen Zuckermenge

Benötigte Anzahl des Klopfens bei drei Steinen  
in Abhängigkeit von der Zuckermenge

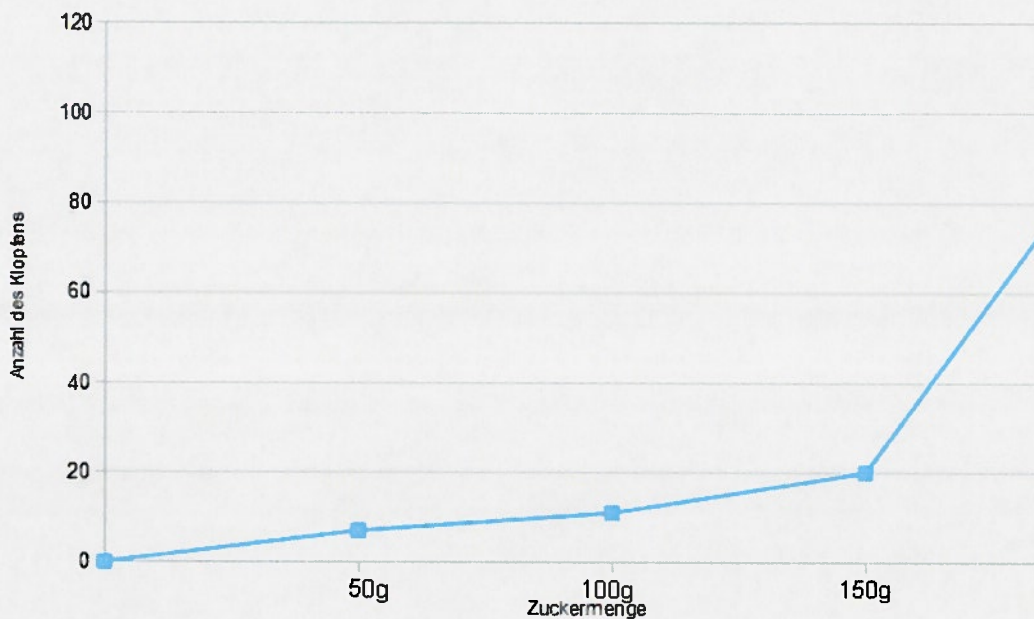


Abbildung 2: *Durchschnittlich* benötigte Anzahl des Klopfens auf den Gefäßboden bei drei Steinen in Abhängigkeit von der jeweiligen Zuckermenge

Die Graphen zeigen auf, wie oft im Durchschnitt auf den Boden des Gefäßes geklopft werden musste, bis die Steine oben auf dem Zucker lagen. Dies steht im Verhältnis dazu, wie viel Zucker sich im Glas befand. Die x-Achse stellt die Zuckermenge dar, die y-Achse die Anzahl des Klopfens.

Bei dem oberen Graphen wurde ein Stein verwendet, bei dem unteren Graphen 3 Steine. Bei beiden Graphen ist ein hyperbelförmiger Anstieg zu sehen.

Anfangs ist bei beiden Graphen eine Regelmäßigkeit im Wachstum der Anzahl des Klopfens zu erkennen, da sich die Zahlen bis zu einer Zuckermenge von 100 g bzw. 150 g ungefähr verdoppeln, dann jedoch steigt die Anzahl stärker an und ist bei Graph 2 sogar mehr als vervierfacht.

Wenn man die genauen Zahlen betrachtet, das heißt, wie oft es bei jedem einzelnen Versuch nötig war, auf den Glasboden zu klopfen, kann man bei einer geringen Zuckermenge bis 100 g bzw. 150 g eine Regelmäßigkeit feststellen, doch ab 150 g bzw. bei 200 g ist dies nicht mehr zu erkennen.

Während die Zahlen bei den kleineren Zuckermengen noch relativ gleich bleiben, schwanken sie mit zunehmender Menge an Zucker immer mehr.

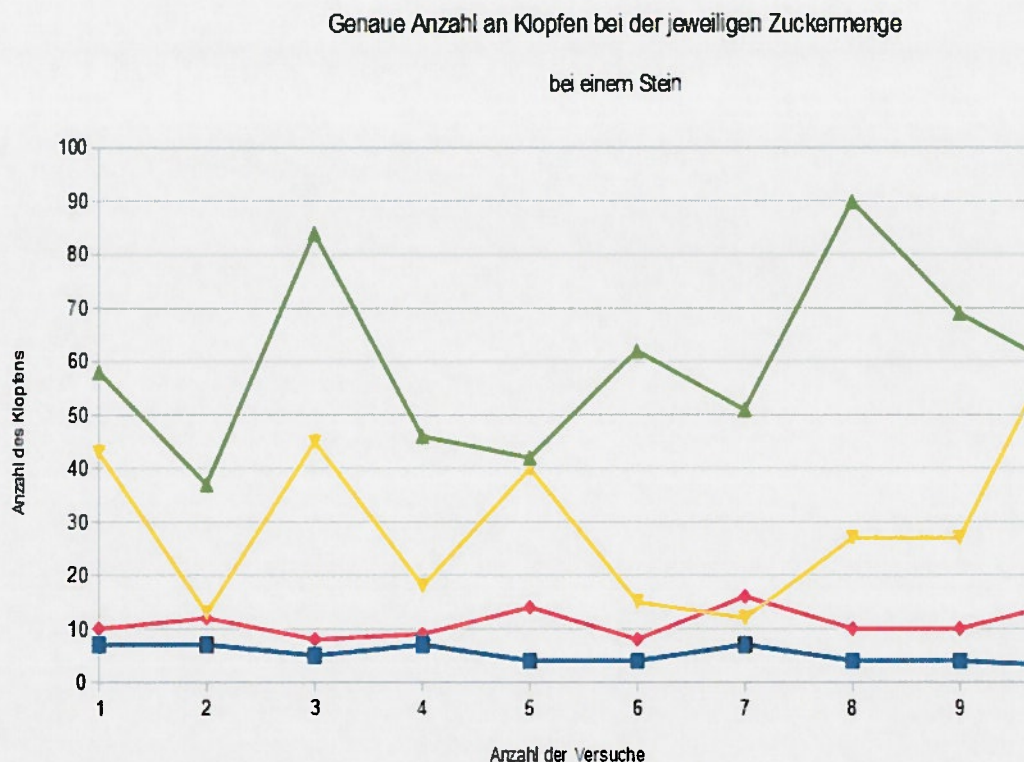


Abbildung 3: Genauere Anzahl an Klopfen bei jeweiliger Zuckermenge bei einem Stein bei jedem einzelnen Versuch

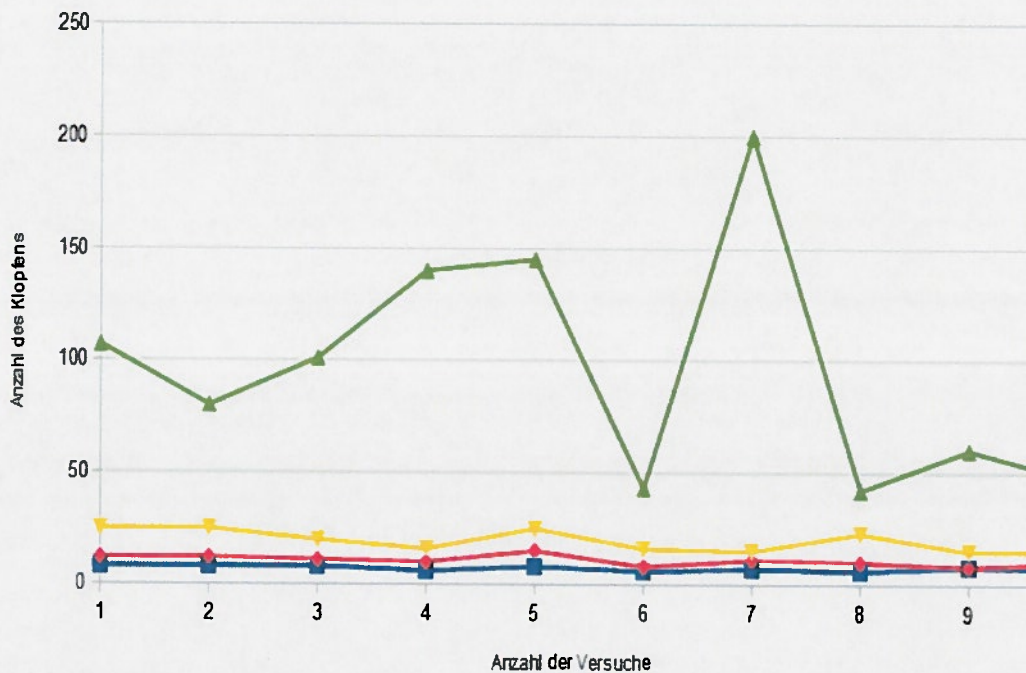
Graph 3 zeigt auf der y-Achse auf, wie oft geklopft werden musste, bis der Stein oben auf lag. Die x-Achse stellt die Zahl des Versuchs dar.

Es ist deutlich zu sehen, dass bei einer Zuckermenge von 50 g und 100 g die Anzahl des Klopfens relativ gleichbleibend ist, während ab 150 g keinerlei Regelmäßigkeiten erkennbar sind.



### Genauere Anzahl an Klopfen bei der jeweiligen Zuckermenge

bei 3 Steinen



*Abbildung 4: Genauere Anzahl an Klopfen bei jeweiliger Zuckermenge bei drei Steinen bei jedem einzelnen Versuch*

Graph 4 zeigt die selbe Situation wie Graph 3, nur anstatt mit einem mit 3 Steinen. Auch hier zeigt sich bei den Zuckermengen 50 g, 100 g und nun auch bei 150 g eine relativ gleichbleibende Anzahl an Klopfen.

Bei 200 g ist jedoch ebenfalls keine Regelmäßigkeit mehr sichtbar und es treten große Schwankungen bei der Anzahl des Klopfens auf. So treten Sprünge von 145 mal Klopfen zu 43 mal und anschließend wieder zu 200 mal Klopfen auf.

Dies zeigt, dass granulare Medien unberechenbar sind und der Paranusseffekt hier nach keinem Muster auftritt, sondern scheinbar willkürlich.

## **5.1.2. Styroporkugeln**

Dieses Experiment wurde mit 1 cm großen Styroporkugeln und Kugeln aus verschiedenen Materialien und mit verschiedenen Größen durchgeführt. Außerdem wurde ein Gefäß mit dem Durchmesser 12 cm und der Höhe 13,5 cm verwendet.

### **5.1.2.1. Glaskugeln**

Zuerst wurde der Versuch mit einer Glaskugel (1,5 cm) durchgeführt. Dabei war festzustellen, dass es weder möglich ist, die Kugel in die Mitte noch oben auf die Styroporkugeln zu legen, da sie durch ihr Gewicht nach unten gezogen wird und die leichten Styroporkugeln zur Seite drängt. Damit sinkt sie auf den Boden des Gefäßes, ohne dass dieses geschüttelt wird.

Ist die Glaskugel am Boden des Gefäßes und dieses wird geschüttelt, ist zwar kurzzeitig ein Paranusseffekt zu erkennen, jedoch tritt das selbe Problem wie anfangs auf, nämlich dass es der schweren Kugel nicht möglich ist, oben auf den Styroporkugeln zu liegen. Diese sinkt also wieder zu Boden.

Als Vergleich wurde der Versuch mit einer Glaskugel der Größe 2,5 cm durchgeführt, jedoch brachte dieser das selbe Ergebnis, welches damit unabhängig von der Kugelgröße eintritt.

### **5.1.2.2. Holzkugeln**

Bei diesem Versuch wurden drei Holzkugeln mit verschiedenen Größen verwendet. Der kleinste Kugeldurchmesser lag bei 2 cm, dann folgte eine Kugel mit 2,5 cm und darauf eine Kugel mit dem Durchmesser 3 cm.

Auch hier wurde unabhängig von der Kugelgröße zwar kurzzeitig ein Paranusseffekt sichtbar, jedoch trat das selbe Problem wie bei den Glaskugeln auf. Die Holzkugeln drängten die Styroporkugeln zur Seite, sobald sie etwas nach oben gewandert waren und sanken darauf wieder nach unten auf den Boden des Gefäßes, da sie ein zu hohes Gewicht aufwiesen.

### **5.1.2.3. Styroporkugeln in Styroporkugeln**

Hierfür wurden zwei Sorten Styroporkugeln verwendet, die zwar die selbe Größe und das selbe Gewicht aufwiesen, jedoch unterschiedliche Farben hatten, sodass erkennbar ist, ob ein Paranusseffekt auftritt.

Zuerst wurde nur eine andersfarbige Styroporkugeln verwendet und das Gefäß anschließend geschüttelt. Hierbei war sehr schnell ein Paranusseffekt sichtbar.

Daraufhin wurde das Gefäß zur Hälfte mit Styroporkugeln der Farbe 1 und dann mit Styroporkugeln der Farbe 2 aufgefüllt. Daraufhin wurde das Gefäß geschüttelt. Es war zu erkennen, dass die oben aufliegenden Kugeln an die Wand des Gefäßes wandern und die unten liegenden durch das Schütteln nach oben gebracht werden, sodass die Kugeln der Farbe 2 nach unten zum Gefäßboden sinken. Bei anhaltendem Schütteln findet jedoch eine komplette Mischung der beiden Sorten Styroporkugeln statt und es ist keinerlei Anordnung erkennbar.

Es lässt sich also feststellen, dass bei Styroporkugeln durchaus ein Paranusseffekt erkennbar ist, jedoch nur, wenn der zweite Komponente genauso schwer oder leichter ist als die Styroporkugeln.

## **5.2. Tackerklammern und Steine**

Tackerklammern stellen kein klassisches Granulat dar und besitzen die Fähigkeit, sich ineinander zu verhaken. Dennoch tritt hier der Paranusseffekt auf.

Dieses Experiment wurde mit ungefähr 4000 Tackerklammern, einem Stein mit 1,5 cm Durchmesser und zwei verschiedenen Gefäßen durchgeführt.

Beim ersten Versuch wurde ein Glas mit der Höhe 13 cm und dem Durchmesser 8 cm verwendet. Zuerst lag der Stein am Boden des Glases und die Tackerklammern darüber. Nach starkem Schütteln wanderte der Stein zwar nach oben, blieb jedoch in der Mitte stecken, da sich die Tackerklammern fest ineinander verhakt hatten.

Liegt der Stein anfangs in der Mitte zwischen zwei Schichten Tackerklammern, so tritt nach starkem Schütteln der umgekehrte Paranusseffekt ein. Dies ist auch der Fall, wenn der Stein am Anfang oben auf den Tackerklammern liegt.



Beim zweiten Versuch wurde ein Gefäß mit der Höhe 13,5 cm und einem Durchmesser von 12 cm verwendet. Auch hier lag der Stein zuerst wieder unter den Tackerklammern und nachdem das Gefäß geschüttelt wurde, trat der Paranusseffekt ein und der Stein lag oben auf.

Nun wurde der Stein zwischen zwei Schichten Tackerklammern gelegt. Nach Schütteln des Gefäßes sammelten sich die Tackerklammern an einer Gefäßseite, verhärten sich und „klettern“ die Wand hinauf. Daraufhin kippen die Tackerklammern um, es entstand eine Art Rolle und der Stein lag oben.

Als der Stein oben auf lag und das Behältnis geschüttelt wurde, sammelten sich die Tackerklammern ebenfalls an einer Gefäßseite und kippen um, sodass wieder eine Art Rolle entstand, die den Stein mitzog, woraufhin dieser unten am Boden des Gefäßes lag.

### **5.3. Silica-Gel und Steine**

Für diesen Versuch wurde Silica-Gel, also Gelkugeln mit fast nicht vorhandener Reibung, und Steine mit je 1,5 cm Durchmesser verwendet. Dies befand sich in einem Glas mit dem Durchmesser 8,5 cm und der Höhe 13 cm.

Auch hier wurde wieder getestet, ob ein Unterschied zwischen dem Experiment mit einem und drei Steinen besteht.

Begonnen wurde mit einem Stein. Beim ersten Versuch befand sich dieser am Boden des Glases. Erst durch starkes Schütteln wurde überhaupt ein Effekt sichtbar. Der Stein wanderte in die Mitte des Gefäßes, sank dann wieder zum Boden, um daraufhin wieder in die Mitte zu wandern. Dieser Vorgang wiederholte sich fortlaufend.

Als der Stein anfänglich zwischen zwei Schichten Silica-Gel lag, trat auch durch starkes Schütteln des Glases keinerlei Effekt ein. Der Stein verblieb an seiner Position.

Legt man den Stein ganz oben auf das Silica-Gel und schüttelt das Glas stark, tritt der umgekehrte Paranusseffekt ein, das heißt, der Stein sinkt durch das Schütteln auf den Boden des Gefäßes.

Führt man diese Versuche mit drei Steinen durch, erhält man ähnliche Ergebnisse. Liegen die Steine unten am Glasboden, wandern die Steine zur Gefäßmitte, daraufhin zum Boden und wieder zur Mitte.

Befinden sich die Steine jedoch anfangs mittig, tritt anders als bei dem Versuch mit einem Stein der umgekehrte Paranusseffekt auf.

Liegen die Steine oben auf, treten wieder Parallelen auf, dann setzt durch starkes Schütteln der umgekehrte Paranusseffekt ein und die Steine sinken auf den Boden des Glases.

## **6. Der umgekehrte Paranusseffekt**

Das Problem des umgekehrten Paranusseffektes trat auf, nachdem man plausible Theorien für den Paranusseffekt entwickelt hatte, welche auf den umgekehrten Paranusseffekt jedoch nicht anwendbar sind.

Hong, Quinn und Luding haben ein Modell entwickelt, welchem zufolge es bei granularen Medien zwei Zustände gibt, nämlich „voll fluidisiert und (teilweise) kondensiert, je nachdem, ob Teilchen Plätze mit ihren Nachbarn tauschen können oder nicht.“<sup>9</sup> (Dr. Stefan Linz, S.20)

Abhängig von Durchmesser und Masse der granularen Teilchen kann es zur Fluidisierung kommen. Wenn sich also zwei verschiedene Sorten Granulate in einem Gefäß befinden, kann es passieren, dass Sorte A schon in den fluidisierten Zustand übergeht, während Sorte B im kondensierten Zustand verbleibt.

Letztere wird nun, wie ein Stein im Wasser, nach unten wandern.

Allerdings steht diese Kondensationstheorie im Gegensatz zu der, die besagt, dass die kleinen Teilchen unter die größeren rutschen und diese so nach oben wandern lassen.<sup>10</sup>

Entscheidend dafür, ob der normale oder der umgekehrte Paranusseffekt eintritt, sind nun das Verhältnis der Kugeldurchmesser und das der Kugelmassen.

Auch wenn man schon viele Erkenntnisse zum umgekehrten Paranusseffekt gewonnen hat, so ist die Forschung dennoch lange nicht abgeschlossen.

---

<sup>9</sup> Dr. Stefan J. Linz, Physikalische Blätter 57 (2001) Nr. 6, S.20

<sup>10</sup> D. C. Hong, P.V. Quinn, S. Luding, Phys. Rev. Lett. 86, 3423

## 7. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Paranusseffekt aus weitaus mehr besteht als nur dem Problem, dass die Paranüsse im Müsli immer oben auf liegen.

Und auch wenn die Wissenschaft schon viele bestätigte Theorien entwickelt hat, so ist weder der normale noch der umgekehrte Paranusseffekt komplett erforscht.

Es wird noch einiges an Arbeit nötig sein, wenn man dieses Problem vollständig verstehen will.

Auch wenn das Phänomen, dass unterschiedliche Granulate innerhalb einer Mischung dazu neigen, sich zu entmischen, schon seit vielen Jahrhunderten bekannt ist und erst seit einigen Jahren intensiv untersucht wird, bin ich dennoch zuversichtlich, dass es den Wissenschaftlern irgendwann gelingen wird, sowohl den normalen als auch den umgekehrten Paranusseffekt zu verstehen.

Dies wäre ein wichtiger Schritt für viele Bereiche, zum Beispiel die Pharmaindustrie, da es mit dem Wissen, die Entmischung der Medikamentenwirkstoffe zu kontrollieren, viel weniger Aufwand bedeuten würde, in jeder Tablette die gleiche Wirkstoffzusammensetzung zu erreichen.

Abschließend kann man also sagen, dass der Paranusseffekt als Teil des Themenbereiches der granularen Medien zwar im Alltag fast überall zu finden ist, jedoch trotzdem ein Gebiet ist, mit dem die Wissenschaft noch länger beschäftigt sein wird.



## **8. Quellenverzeichnis**

### **8.1. Internetquellen**

Max Rauner, Zeit online: Das Paranusss-Problem

[http://www.zeit.de/2001/33/Das\\_Paranuss-Problem](http://www.zeit.de/2001/33/Das_Paranuss-Problem) (Stand: 24.10.2015)

Lukas Hartmann, Universität Marburg: Der Paranusseffekt

[http://online-media.uni-](http://online-media.uni-marburg.de/biologie/nutzpflanzen/lukas_hartmann/Paranusseffekt.html)

[marburg.de/biologie/nutzpflanzen/lukas\\_hartmann/Paranusseffekt.html](http://online-media.uni-marburg.de/biologie/nutzpflanzen/lukas_hartmann/Paranusseffekt.html)

(Stand: 24.10.2015)

ORF Science: Forscher enträtselten „Paranusss-Effekt“

<http://sciencev1.orf.at/science/news/31922> (Stand: 25.10.2015)

### **8.2. Bücher und sonstige Literatur**

Morsch, Oliver: Sandburgen, Staus und Seifenblasen, Weinheim 2005

Dr. Linz, Stefan J.: Nüsse: geschüttelt, nicht gerührt, Physikalische Blätter 57, Nr. 6, Augsburg 2001

D. C. Hong, P.V. Quinn, S. Luding, Phys. Rev. Lett. 86, 3423, 2001