

Experiment 05: Beschleunigte Sanduhr

mehrfach vorhanden (15x)

Stand: 27.07.2016 // v15

Phänomen

Die Ablaufzeit einer Sanduhr kann sehr stark beschleunigt werden, wenn sie rotierend geschleudert wird.

Einleitung (für Schüler_innen)

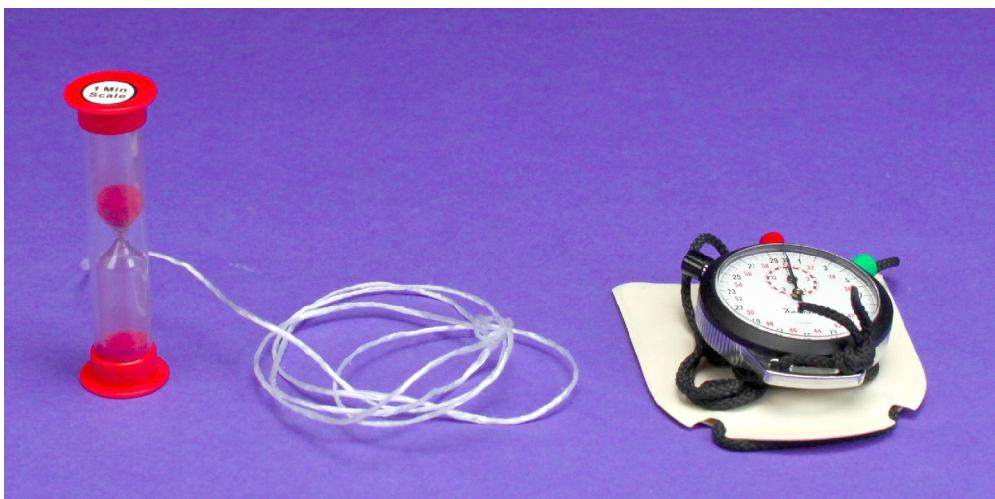
Eine Sanduhr wird z. B. bei Gesellschaftsspielen dazu genutzt, kurze Zeiten zu messen. Manchmal zieht sich dies ewig hin und es ist ganz klar, dass Sanduhren langsamer ablaufen können bzw. gestoppt werden können, indem sie z. B. schräg gehalten oder stark geschüttelt werden. Ist es dann auch möglich eine Sanduhr schneller ablaufen zu lassen?

Material pro Schülergruppe

- Sanduhr (Laufzeit ungefähr 1 Minute)
- reißfeste Schnur

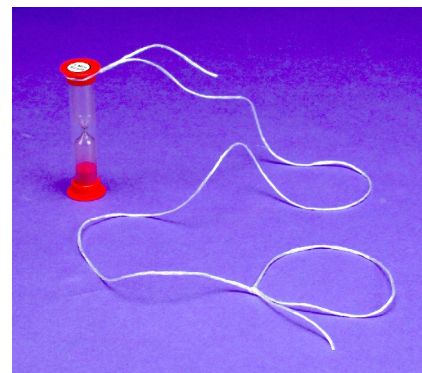
Zusätzlich benötigtes Material

- Stoppuhr, Armbanduhr oder sonstiges Gerät mit Stoppuhrfunktion



Vorbereitung

Die Schnur wird an der Sanduhr gut festgeknotet. Es sollte noch ungefähr 1 m Länge nach dem Knoten übrig sein. Nun wird am anderen Ende eine Schlaufe geknotet, damit die Schnur beim Experiment sicher gegriffen werden kann.



Experiment 05: Beschleunigte Sanduhr

Durchführung

Dieser Versuch sollte am besten im Freien durchgeführt werden. Idealerweise sollte die Sanduhr über dem Kopf gedreht werden (Umlauf wie in einer Zentrifuge), damit eine möglichst gleichmäßige Beschleunigung auf die Sanduhr wirkt.



Um Verletzungen zu vermeiden, muss besonders darauf geachtet werden, dass niemand mit den Sanduhren getroffen wird. Sie sind aus Glas und zerbrechlich. Also Abstand halten.

Messungen:

- 1. Ruhedurchlaufzeit** der Sanduhr messen: Dazu wird die Sanduhr umgedreht und es wird gleichzeitig mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen, die sie braucht um durchzulaufen. Abweichungen von der aufgedruckten Dauer (1 min) sind möglich (bis zu 10 Sekunden). Die Durchlaufzeit der Sanduhren kann in beiden Richtungen unterschiedlich sein. Um 'oben' und 'unten' zu markieren, kann einer der beiden Aufkleber am Fuß bzw. Kopf der Sanduhr entfernt werden.

	Aufkleber oben	Aufkleber unten
Ruhedurchlaufzeit (in s)		

- 2. Rotationsdurchlaufzeit** messen, wenn die Sanduhr geschleudert wird: Danach kann gemessen werden, wie lange es dauert, bis die Sanduhr durchläuft ist, wenn sie rotiert wird. Dazu wird die Zeit gestartet, sobald die Sanduhr rotiert. Sobald der Sand durchgelaufen ist, sollte die Zeit gestoppt werden. Gleichzeitig muss die Anzahl der Umläufe gezählt werden.

Die Sanduhr sollte möglichst aus dem Handgelenk rotiert werden, damit die Länge der Schnüre einheitlich ist und nicht durch die eigene Armlänge beeinflusst wird.

Für einen zweiten Durchlauf kann die Schnur auf die andere Seite der Sanduhr gezogen werden. Zu beachten sind dabei die unterschiedlichen Ruhedurchlaufzeiten in beiden Richtungen.

Die gemessenen Daten können z. B. in einer Tabelle notiert werden:

Rotationen / Umläufe				
Rotationsdurchlaufzeit (in s)				
Ruhedurchlaufzeit (in s)				

Mögliche Arbeitsaufträge

- a) **Hypothesenbildung** – Wie verändert sich vermutlich die Rotationsdurchlaufzeit? Mögliche Argumente könnten u. a. die erhöhte Fliehkraft oder ein Verhaken bzw. Verdichten sein.
- b) **Abschätzen** – Welche Zentripetalbeschleunigung tritt bei den verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten der Sanduhr auf?
- c) **Problembehebung Messunsicherheit** – Ein Problem bei diesem Versuch ist, dass nicht gut zu erkennen ist, wann die Sanduhr abgelaufen ist, während sie rotiert wird. Hier werden zwei mögliche Lösungsansätze vorgeschlagen:
- c.1) Der Versuch wird mehrfach durchgeführt und dabei wird versucht, die Beschleunigung gleichmäßig zu halten (das heißt, dass die Umdrehungszahl möglichst konstant gehalten werden muss). Dann kann die Zeit, in der die Sanduhr rotiert wird, immer weiter verringert werden, bis es genau so passt, dass beim Ende der Rotation die Sanduhr leer ist.
- c.2) Eine exaktere Modellierung kann mit folgendem Weg umgesetzt werden, ist aber wesentlich aufwendiger:
Die Sanduhr wird lediglich für 10 Sekunden rotiert und die Anzahl der Rotationen wird gezählt. Danach wird die Sanduhr zügig hingestellt und der Rest des Sandes läuft in Ruhe durch. Mit einer Stoppuhr wird die gesamte Zeit gemessen – vom Start der Rotation bis die Sanduhr durchgelaufen ist.
Nun kann versucht werden, eine Gleichung aufzustellen, die mit Hilfe der Ruhezeit die vermutete gesamte Durchlaufzeit in Rotation T_X bestimmt.

T_{Ruhe}	:	Ruhedurchlaufzeit (ca. 60 Sekunden, genauer durch eigene Messung)
T_1	:	10 Sekunden (Durchlaufzeit in Rotation)
T_2	:	Restdurchlaufzeit in Ruhe im Versuch
T_{ges}	:	gesamte Durchlaufzeit im Versuch (gemessene Zeit)
T_X	:	errechnete Durchlaufzeit in Rotation (wie lange wäre die Sanduhr gelaufen, wenn sie die ganze Zeit rotiert hätte)
S_{ges}	:	gesamte Sandmenge in der Sanduhr
S_1	:	Sandmenge, die in T_1 durchgelaufen ist
S_2	:	Sandmenge, die in T_2 durchgelaufen ist

Die Gesamtzeit besteht aus den beiden Teilzeiten:

$$T_{ges} = T_1 + T_2$$

Die Gesamtsandmenge besteht aus den beiden Teilmengen:

$$S_{ges} = S_1 + S_2$$

In der Zeit T_1 ist die Sandmenge S_1 durch die Sanduhr gelaufen. In Ruhe würde der gesamte Sand in der Zeit T_{Ruhe} durch die Sanduhr laufen. Sandmenge S_2 ist in Ruhe in der Zeit T_2 durch die Sanduhr gelaufen. Folglich gilt $T_{Ruhe} = T_2 + T_{S1_in_Ruhe}$.

Umgestellt ergibt sich: $T_{S1_in_Ruhe} = T_{Ruhe} - T_2$. Wäre die Sandmenge S_1 in Ruhe (nicht in Rotation) durch die Sanduhr gelaufen, dann hätte dies die Zeit $T_{S1_in_Ruhe}$ benötigt.

Stattdessen ist die Sandmenge S_1 in der Zeit T_1 durchgelaufen, d. h. die Sanduhr

wurde um den Faktor $b = \frac{T_{S1_in_Ruhe}}{T_1}$ beschleunigt. Das lässt sich genauso für die ge-

samte Laufzeit annehmen: $b = \frac{T_{Ruhe}}{T_X}$

Experiment 05: Beschleunigte Sanduhr

Diese beiden Gleichungen für b können gleichgesetzt werden und es ergibt sich:

$$\frac{T_{S1_in_Ruhe}}{T_1} = \frac{T_{Ruhe}}{T_X} \quad \text{Umgeformt ergibt sich} \quad T_X = \frac{T_1 \cdot T_{Ruhe}}{T_{S1_in_Ruhe}}$$

Mit dieser Formel kann die Rotationsdurchlaufzeit genauer bestimmt werden.

- d) **Grafische Auswertung** – Die Ergebnisse sollen grafisch dargestellt werden. Auf der X-Achse sollen die errechneten Zentripetalbeschleunigungen aufgetragen werden und auf der Y-Achse die zugehörigen bestimmten Rotationsdurchlaufzeiten T_X . Welcher Zusammenhang lässt sich vermuten?
- e) **Entwicklung einer alternativer Messmethode** – Wie könnte das Problem der Messung noch gelöst werden? Welche Materialien oder Geräte wären dafür nötig?
- f) **Wie verhält sich die Rotationsdurchlaufzeit zur Seillänge?** Dazu kann der Versuch variiert werden, indem die Rotationsdurchlaufzeit bei unterschiedlichen Seillängen untersucht wird, aber dabei die Umdrehungszahl gleich bleibt.
- g) **Wie verhält sich die Rotationsdurchlaufzeit zur Umdrehungszahl?** Dazu kann der Versuch variiert werden, indem die Rotationsdurchlaufzeit bei unterschiedlichen Umdrehungszahlen untersucht wird, aber dabei die Seillänge gleich bleibt.
- h) **Modellbildung** – Warum sollte die Sanduhr über dem Kopf rotiert werden und nicht an der Körperseite?

Hinweise

Es kann ein **Wettbewerb** gestartet werden mit dem Ziel, die Sanduhr am schnellsten durchlaufen zu lassen.

Die schlechte Beobachtungsmöglichkeit bei diesem Versuch ist ein zentrales Problem. Es gibt mehrere, auch teilweise dargestellte, Möglichkeiten diese zu umgehen. Aber es kann ebenso als Anlass genutzt werden, dass selbstständig Möglichkeiten gesucht werden, dieses experimentelle Problem zu lösen – vgl. Aufgabe e). Dies ist selten in Schulversuchen zu finden, da häufig nur solche Versuche gewählt werden, die valide Ergebnisse liefern. In der Wissenschaft aber ist dieser Schritt (die valide Erschließung eines Messgegenstands und der Entwurf einer passenden experimentellen Vorschrift) häufig selbst zu leisten.

Sanduhren bleiben stehen während des Versuchs – Durch die günstigen Materialien kann es dazu kommen, dass die Sanduhren im Verlauf des Versuchs stehen bleiben. In diesem Fall muss die Messung wiederholt werden.

Um eine **Aufnahme mit einer normalen Videokamera** durchzuführen, kann ein Stroboskop genutzt werden, das möglichst auf die ungefähre Bildfrequenz der Kamera eingestellt wird. Dabei sollte der Versuch eher in einem Raum durchgeführt werden, da der dunkler gemacht werden kann, als die Beleuchtung durch das Stroboskop. Dadurch werden kurze Belichtungen realisiert, in denen ein scharfes Bild vom Füllstand der Sanduhr entsteht, obwohl sie sich schnell bewegt.

Draußen durchführen – Es bietet sich an, diesen Versuch draußen durchzuführen, um sich nicht gegenseitig zu behindern.

Motorisierter Versuchsaufbau – Zu Demonstrationszwecken (und zur genaueren Messung) kann das Experiment auch mit Hilfe eines Motors durchgeführt werden, der die Sanduhr in Rotation versetzt. Hierbei kann auch eine 10-Minuten-Sanduhr genutzt werden.

Experiment 05: Beschleunigte Sanduhr

Falls die Sanduhr beim Versuch zu schnell durchläuft, kann entweder auf Sanduhren mit längeren Laufzeiten ausgewichen werden (mit dem Nachteil, dass es auch länger dauert, die Ruhezeit zu bestimmen) oder die Umdrehungszahl verringert werden, indem die Uhr weniger oft rotiert wird.

Materialverschleiß – Im Versuch ist damit zu rechnen, dass bei aktiven Experimentatoren Sanduhren zu Bruch gehen können. Ein Nachkauf ist bei den Quellen auf der Materialliste auf www.niliphex.de möglich bzw. durch Einkauf in Haushaltswarenläden.

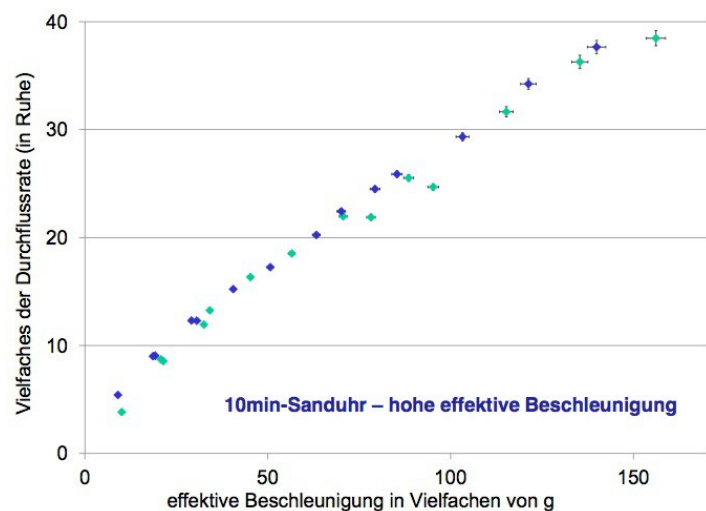
Zusammenhang mit:

→ Experiment 03: Kraftbrücken sichtbar machen

Fachlicher Hintergrund

Sanduhren unterscheiden sich grundlegend von einer gleichartig gebauten Uhr, die statt Sand eine Flüssigkeit wie z. B. Wasser verwendet. Die Abflussrate des Wassers hängt von der Höhe der Wassersäule ab. Folglich würde das Wasser einer Wasseruhr zu Beginn schneller durchlaufen als am Ende. Die Sanduhr läuft aber kontinuierlich, weil sich durch Kraftbrücken der Druck auf die unteren Sandschichten nicht mehr erhöht. Das ist auch der Grund, warum z. B. auf Saunasanduhren die Zeitangaben auf dem Holz in gleichen Abständen aufgedruckt sind. Bei einer Wasseruhr müssten die Abstände ungleich sein.

Wenn nun die Sanduhr beschleunigt wird, wird das Granulat stärker belastet und die Sanduhr läuft schneller ab. Dies wäre bei der Wasseruhr zu erwarten gewesen. Bei der Sanduhr müssten eigentlich die Kraftbrücken verstärkt werden und folglich dürfte keine nennenswerte Beschleunigung eintreten. Das ist aber nicht zutreffend. Adäquater ist das Modell, dass der Sand schneller am Hals abtransportiert wird (durch die höhere Beschleunigung), was zur Folge hat, dass der Sand auch schneller nachrücken kann und somit insgesamt schneller abfließen kann.



Quelle: Staude, J.; Haupt, J. S.; Nordmeier, V. (2014): Die beschleunigte Sanduhr – Einwirkung äußerer Kräfte auf den Fluss granularer Materie. In: PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.

Eine einfache Anwendung lässt sich bei Gesellschaftsspielen zu Hause finden. Diese Sanduhren können beschleunigt werden, wenn sie mit dem Handgelenk rotiert werden (oder auch am langen Arm oder mit einer Schnur).

Beispielmesswerte

→ Zu finden auf www.niliphex.de mit Highspeed-Aufnahmen und Messwertanalyse.

Alltagsbezug / Anwendungen / Kontexte

Sanduhren wurden früher als Zeitmesser genutzt. Der Grund dafür ist, dass damit lange Zeitabstände gemessen werden können, was mit Wasser als Medium nicht möglich gewesen wäre, wegen der Oberflächenspannung des Wassers. Das Messen von Zeitabständen war z. B. für die Schiffsnavigation unverzichtbar. Heute werden Sanduhren vorrangig in der Küche als Eieruhr, beim Zähneputzen, in der Sauna oder bei Spielen genutzt.

Experiment 05: Beschleunigte Sanduhr

Rahmenlehrplanbezug

Drehbewegung / Rotation / Kreisbewegung – Dieser Versuch kann als praktische Anwendung der Gesetze der Kreisbewegung eingesetzt werden. Dabei können optional die Fadenlänge bei der Rotation und / oder die Umdrehungszahl variiert werden und die Rotationsdurchlaufzeit ist dann ein Maß für die Beschleunigung.

Schweredruck / Wasseruhr vorher bauen – Um die Besonderheit einer Sanduhr zu thematisieren (der Sand läuft gleichmäßig durch, unabhängig von der Füllhöhe) und / oder zur Thematisierung des Schweredrucks in Flüssigkeiten kann dieses Experiment auch abgewandelt werden: Zwei durchsichtige Flaschen mit Loch im Boden werden aufgehängt. Eine wird mit Wasser und die andere mit Sand gefüllt. Dort kann beobachtet werden, dass das Wasser nicht gleichmäßig durchläuft, sondern am Anfang schneller als am Ende. Daneben fließt der Sand gleichmäßig aus der Plastikflasche heraus.

Lagerungshinweise / Instandhaltung

Nach dem Versuch lässt sich die fertig geknotete Schnur um die Sanduhr wickeln und so in die Box zurücklegen, ohne dass alle Fäden miteinander verknoten.

Weiteres Material auf: www.niliphex.de

Text *Wissenschaftliche Untersuchung des Phänomens – Staude, J.; Haupt, J. S.; Nordmeier, V. (2014): Die beschleunigte Sanduhr – Einwirkung äußerer Kräfte auf den Fluss granularer Materie.* In: PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.

=> Zu finden auf www.niliphex.de

Bachelorarbeit *Wissenschaftliche Untersuchung dieses Themas – Staude, J. (2014): Untersuchung granularer Materie am Beispiel des Laufzeitverhaltes einer Sanduhr unter Einwirkung äußerer Kräfte.* Bachelorarbeit, Freie Universität Berlin.

=> Zu finden auf www.niliphex.de (dt., 68 Seiten)

Video *Erklärung Durchlauf Sanduhr – Jérôme Combes (2010): Jérôme et le sable #3*, (frz., Dauer 7:32 – letzte Minute)

<http://www.universcience.tv/video-jerome-et-le-sable-3-2186.html>

(letzter Zugriff: 10.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/KpRkmY>



Artikel *Phänomene bei Sanduhr und wie man sie stoppt – Schlichting, H. J. (2006): Wie man die Zeit aufhalten kann.* In: *Physik in unserer Zeit*, 37 (2), S. 99. https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/09_wie_man_die_zeit_aufhalten_kann.pdf (letzter Zugriff: 10.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/uL1oSV>



GEFÖRDERT VON

GESAMTMETALL
Die Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektro-Industrie

**think
ING.**
Die Initiative für
Ingenieurnachwuchs

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

Komplette, editierbare Dokumentation und weitere Materialien

6 / 6