

Experiment 01: Sandtürme bauen

mehrfach vorhanden (15 x)

Stand: 27.07.2016 // v18

Phänomen

Die Stabilität eines Sandturms aus feuchtem Sand kann durch Festpressen und Verstärkungen derart gesteigert werden, dass er sogar das Gewicht eines Menschen tragen kann.

Einleitung (für Schüler_innen)

Eine Sandburg zerfällt schnell, aber bei diesem Experiment wird untersucht, wie stabil Sandburgen sein können.

Material pro Schülergruppe

- 2 Plastikbecher
- Box
- Sand
- 10 Stücke Armierungsgewebe (Glasfasergewebe, zugeschnitten)
- kleines Brett

Zusätzlich benötigtes Material

- verschiedene Massestücke oder andere Gewichte (z. B. als Ersatzmassenstücke: Wasserflaschen mit abgewogener Wassermenge)
- Wasser
- optional: Waagen (gut funktionierende Waagen mit bis zu 5 kg maximaler Belastung bei 1 g Einteilungen sind günstig online zu erwerben, Preis ca. 10 Euro inkl. Versand, siehe Materialliste unter www.niliphex.de)



Vorbereitung

Insgesamt werden vier Becher Sand mit einem Becher Wasser in die Box gegeben. Der Sand kann in der geschlossenen Box durch Schütteln gut vermischt werden. Der Einfachheit wegen, kann der Sand einmal für alle angemischt werden und die Schüler_innen bekommen das Sand-Wasser-Gemisch.

Damit die Türme an den Rändern nicht zerbröseln und leichter aus den Bechern herausnehmbar sind, sollten die Armierungen bei der erstmaligen Benutzung rundgeschnitten werden (an die Becher angepasst).

Experiment 01: Sandtürme bauen

Durchführung

Es können verschiedene Sandtürme gebaut und auf ihre Stabilität hin untersucht werden. Zur Überprüfung wird das kleine Brett auf den fertigen Turm gelegt und mit Gewichten belastet, bis der Turm zusammenbricht. Der Moment des Zusammenbrechens ist dabei schwierig zu bestimmen (gerade, wenn die Belastung in kleinen Schritten erhöht wird), da die Sandtürme manchmal etwas nachgeben und dann trotzdem wieder halten. Deshalb gilt der Turm erst als zusammengebrochen, sobald er komplett eingestürzt ist.

Beim Versuch sollte der erhöhte Reinigungsaufwand beachtet werden (Besen bereitstellen, draußen durchführen oder als Demonstrationsexperiment nutzen)

1. Sandturm, einmal gedrückt: Der Becher wird mit dem feuchten Sand befüllt, und der Sand wird am Ende gut festgedrückt. Danach den Becher umdrehen und vorsichtig abheben.



2. Sandturm, geschichtet gedrückt: Der Becher wird schichtweise mit Sand befüllt, und nach jeder Schicht wird mit dem zweiten Becher der Sand festgedrückt. Am Ende sollten für einen Turm ungefähr zehn dieser Schichten festgedrückt werden. den Becher umdrehen und abheben.



3. Sandturm, geschichtet gedrückt, mit Gewebe: Der Becher wird erneut schichtweise mit Sand befüllt. Nach jeder Schicht wird nun zusätzlich ein Armierungsgewebe eingelegt und der Sand festgedrückt (wie bei 2.). Am Ende sollten für einen Turm ungefähr zehn dieser Schichten entstehen; den Becher umdrehen und abheben. Dieser Turm ist durch die hohe Verdichtung und Verstärkung schwierig aus dem Becher zu bekommen. Mehrfaches Klopfen und leichtes Zusammendrücken des Bechers hilft hier.



Mögliche Arbeitsaufträge

a) **Messung der Bruchbelastung der gebauten Sandtürme:** Es soll systematisch untersucht werden, unter welcher Belastung die jeweiligen Sandburgen zusammenbrechen. Da die Ergebnisse schwanken, ist es wichtig den Versuch mehrmals durchzuführen um einen Eindruck zu gewinnen, wie stark die Werte schwanken:

Experiment 01: Sandtürme bauen

Turmart	Bruchlast (in g)		
	Versuch 1	Versuch 2 (erste Wdh.)	Versuch 3 (zweite Wdh.)
1. einmal gedrückt			
2. geschichtet gedrückt			
3. geschichtet gedrückt, mit Gewebe			

- b) **Weitermessen:** Der dritte Turm (geschichtet gedrückt, mit Gewebe) wird kaum mit handhabbaren Gewichten zusammenbrechen, da er sehr stabil ist. Deswegen sollte dieser Turm auf den Boden gestellt und das Brett darauf gelegt werden. Nun kann sich ein Freiwilliger/eine Freiwillige vorsichtig darauf stellen. Achtung: Zum Abstützen bitte jemanden zu Hilfe nehmen. Falls es zu sehr wackelt, können zwei Türme direkt nebeneinander aufgebaut werden und mit einem Brett verbunden werden, um ein seitliches Abrutschen zu verhindern.
- c) **Theoriebildung:** Wieso ist es günstig, wenn ich bei einer Dünenerklimmung jemanden habe, der vor mir geht und dessen Spur ich benutzen kann?

Hinweise

Größerer Demonstrationsversuch – Der Versuch kann auch als Demonstrationsversuch durchgeführt werden. Dann lohnt es sich einen kleinen Eimer zu nutzen (z. B. 1 kg Joghurtbecher) und die Armierung entsprechend zu zuschneiden.

Messgenauigkeit – Die Messgenauigkeit bei der Bruchlast ist durch die Stückelung der eingesetzten Massen vorgegeben. Wenn z. B. nur mit 2000 g Massestücken gearbeitet werden würde, dann wären die Ergebnisse für einmal gedrückt und geschichtet gedrückt gleich. Sinnvoll sind Schritte in der Größenordnung von 50 g bzw. 100 g.

Schräge Belastung – Sobald ein Sandturm schräg belastet wird, bricht er viel leichter zusammen. Deswegen ist bei der Belastung darauf zu achten, dass die Belastung möglichst gleichmäßig wirkt.

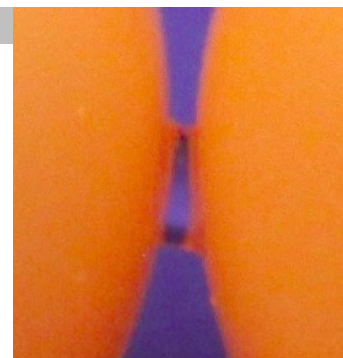
Zusammenhang mit:

- *Experiment 02: Wasserbrücken*
- *Experiment 03: Kraftbrücken sichtbar machen*

Fachlicher Hintergrund

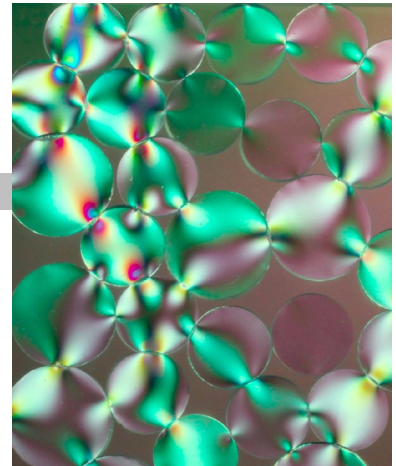
Beim Bau des Sandturms (oder einer Sandburg) wirken vorrangig zwei Mechanismen: Zum einen der Mechanismus der *Wasserbrücken* und zum anderen der Mechanismus der *Kraftbrücken*.

Wasserbrücken entstehen durch die Benetzung der einzelnen Sandkörner mit Wasser. Das Wasser haftet durch adhäsive Kräfte. Die Frage ist, welche Form das Wasser dabei annimmt. Die Form des Wassers ist bestrebt, bedingt durch die Oberflächenspannung des Wassers, eine minimale Oberfläche anzunehmen (siehe auch *Experiment 02: Wasserbrücken*). Die Wasserbrücken sind der Grund dafür, dass feuchter Sand – anders als trockener – seine Form erhalten kann. Beim Drücken von feuchtem Sand wird die Bildung von Wasserbrücken begünstigt. Mehr Wasserbrücken erhöhen die Stabilität des Sandturms.



Experiment 01: Sandtürme bauen

Kraftbrücken werden wirksam, sobald eine Kraft auf den Sand einwirkt. Sie sorgen dafür, dass die Kraft, die auf den Sand wirkt, verteilt und zu den Seiten hin abgeleitet wird (siehe auch *Experiment 03: Kraftbrücken sichtbar machen*).



Erläuterungen zu den Türmen

Turm 1: Wenn nur oben auf den Sand im Becher gedrückt wird, verteilt sich die Kraft durch *Kraftbrücken* in den oberen Schichten des Bechers. Diese erreichen nicht bzw. kaum den Boden. Dadurch entstehen im oberen Teil mehr *Wasserbrücken*, als im eher locker liegenden Sand am Becherboden. Nach dem Stürzen des Bechers ist der lockere Sand oben und deswegen hat dieser Turm die geringste Belastbarkeit.

Turm 2: Wenn der Sand schichtweise gedrückt wird, können in dem gesamten Sandturm viele *Kraft-* und *Wasserbrücken* entstehen. Folglich ist der entstandene Sandturm wesentlich stabiler.

Turm 3: Wenn zusätzlich Armierungen eingebracht werden, wird der Turm um ein Vielfaches stabiler. Dies liegt daran, dass die Kraft, die auf den Sandturm wirkt, durch die *Kraftbrücken* zu den Seiten abgeleitet wird. Wird diese am Rand nicht aufgefangen (wie bei Turm 1 und 2), zerfällt der Turm, weil der Sand zu den Seiten hin ausweicht. Das horizontal eingebrachte Armierungsgewebe (Glasfaser) ist aber sehr reißfest und kann die seitlichen Kräfte aufnehmen. Dadurch wird der Turm so stabil, dass er sogar einen Menschen tragen kann.

Überraschend ist neben der Reißfestigkeit der Armierungen, dass der Sand zwischen den Armierungsschichten nicht herausgedrückt wird, wenn sich ein Mensch darauf stellt. Das zeigt, wie belastbar die *Kraftbrücken* sind, die sich im Sand bilden.

Beispielmesswerte

Turmart	Bruchlast (in g)		
	Versuch 1	Versuch 2 (erste Wdh.)	Versuch 3 (zweite Wdh.)
1. einmal gedrückt (50 g Schritte)	550	750	750
2. geschichtet gedrückt (100 g Schritte)	1 300	1 300	1 500
3. geschichtet gedrückt, mit Gewebe	über 80 000	über 80 000	über 80 000

Alltagsbezug / Anwendungen / Kontexte

Erosion wird bedingt durch die Abtragung von Erdreich. Wenn ein Gewebe, wie zum Beispiel das Wurzelwerk einer Pflanze, das Erdreich schützt, dann ist es wesentlich widerstandsfähiger. Dies ist analog zur Stabilität des Turms mit Gewebe.

Spargelfelder werden in Hügeln angelegt, die selbst sehr stabil sind, was an dem Wurzelwerk des Spargels liegt. Dies ist vergleichbar mit der Stabilität des Turms mit Gewebe.

Reibung und Sandstrände – Die Kräfte und *Kraftbrücken*, die im Sandturm wirken, werden mittels Reibung zwischen den Körnern weitergeleitet. Dabei kann die Reibung so groß werden (bei der Einbringung des Armierungsgewebes), dass der Sand sogar unter großen Lasten nicht wegrutscht. Dies ist ebenso bei Sandstränden der Fall, in denen man auch nicht versinkt, obwohl die Sandkörner alle frei gegeneinander beweglich sind.

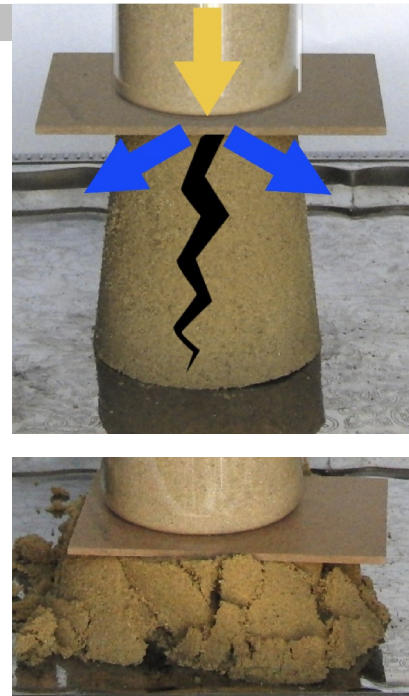
Experiment 01: Sandtürme bauen

Rahmenlehrplanbezug

Druck – Unterscheidung bei der Fläche des Sandturms: Falls eine Masse auf eine kleinere Fläche drückt, würde der Turm früher kollabieren, was auch experimentell dargestellt werden kann.

Kräfte – Zusammenhang zwischen der Gewichtskraft der Massen, die auf den Sandturm wirken und einer maximalen Haltekraft: Sobald diese überschritten wird, gibt es kein Kräftegleichgewicht mehr und die unbewegte Situation wird aufgelöst: Die Massestücke beschleunigen nach unten und zerstören dabei den Turm, bis sie wieder gebremst werden. Weil sich dabei der Turm verbreitert und die Kraft auf eine größere Fläche verteilt wird (→ Druck) bzw. die Kraftbrücken die Last direkt in den Boden ableiten, findet sich erneut ein stabile Lage der Massen auf dem nun zusammengebrochenen Sandturm.

Kräftezerlegung – Beim Kollabieren des Sandturms wird der Turm breiter, obwohl nur senkrechte Kräfte wirken (die Massestücke wirken nach unten durch die Gravitation und vom Sandturm aus wirkt entgegengesetzt eine Haltekraft). Dass der Turm breiter wird, ist ein Zeichen dafür, dass die Kräfte in die Seite wirken (siehe Abbildung).



Lagerungshinweise / Instandhaltung

Der feuchte Sand sollte nach der Durchführung wieder in einer große Kiste offen gelagert werden, damit das Wasser verdunsten kann und der Sand nicht anfängt zu faulen.

Weiteres Material auf: www.niliphex.de

Video ScienceSlam – Erklärung und Vorführung zum Sandturmexperiment (2015): 'Wie baut man eine stabile Sandburg?' - Joachim S. Haupt beim #43 Science Slam Berlin (dt., Dauer 10:55)

<https://www.youtube.com/watch?v=QjR5tz81rVw>

(letzter Zugriff: 27.07.2016); ShortLink: <https://v.gd/wKOowV>

=> Zu finden auf www.niliphex.de



Video KinderportalClixmix – KinderErklärVideo (2012): "Wie baut man eine tolle Sandburg?" (dt., Dauer 5:48)

<https://www.youtube.com/watch?v=-xyuAGesmPE>

(letzter Zugriff: 02.03.2016); ShortLink: <http://v.gd/7Up6Wa>



Video Experiment Sandturm festgedrückt – Grains de Bâtisseurs (2013): chap 5 / exp n°5 "comment faire un bon pâté de sable?" (frz., Dauer 3:20)

https://www.youtube.com/watch?v=qjHsHJCo_uE

(letzter Zugriff: 02.03.2016); ShortLink: <http://v.gd/qAc0bO>



Video Experiment Sandturm mit Armierung – Grains de Bâtisseurs (2013): chap 5 / exp n°6 "comment faire un super pâté de sable ?" (frz., Dauer 1:59)

<https://www.youtube.com/watch?v=2nOMGomRvaE>

(letzter Zugriff: 02.03.2016); ShortLink: <http://v.gd/RRjWPd>



Experiment 01: Sandtürme bauen

Video *Warum ist feuchter, feiner Sand widerstandsfähiger, als grober? – Grains de Bâtisseurs (2013): chap 7 / exp n°10 "les pâtés de sable fin et de sable grossier"* (frz., Dauer 2:13)

https://www.youtube.com/watch?v=9OTMD0zf_Qo

(letzter Zugriff: 03.03.2016); ShortLink: <http://v.gd/gZl4X2>

Video *Stabilität von Sandburg mit unterschiedlichem Wassergehalt – Grains de Bâtisseurs (2013): chap 7 / exp n°8 "la colonne de sable"* (frz., Dauer 2:26)

<https://www.youtube.com/watch?v=EFenNLB6BN4>

(letzter Zugriff: 03.03.2016); ShortLink: <http://v.gd/W1Ycbr>

Video *Vergleich normaler Sand und Magischer (hydrophober) Sand – Grains de Bâtisseurs (2013): chap 7 / exp n°7 "le sable magique"* (frz., Dauer 3:13)

https://www.youtube.com/watch?v=1gx_A3ly1Xk

(letzter Zugriff: 06.04.2016); ShortLink: <http://v.gd/gd2dgd>

Video *Zerfließen von feuchtem Sand unter Vibration – Grains de Bâtisseurs (2013): chap 7 / exp n°9 "la dilatance"* (frz., Dauer 2:37)

<https://www.youtube.com/watch?v=Fns8pfRcgsk>

(letzter Zugriff: 06.04.2016); ShortLink: <http://v.gd/Q0dXZH>

Text *Forschungsstand zur Stabilität feuchter Granulate – Seemann, R.; Brinkmann, M.; Herminghaus, S. (2009): Auf Sand gebaut – Die Physik feuchter Granulate. In: Physik Journal, 8 (11), S. 31–36. (dt., 5 Seiten)*

www.pro-physik.de/details/physikjournalArticle/prophy47241article/article.html

(letzter Zugriff: 30.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/NytLb1>

Text *Wasserbrücken sichtbar gemacht – ProPhysik SH/BA (2008): Warum kann jeder Sandburgen bauen?* (dt., 2 Seiten)

<http://www.pro-physik.de/details/news/1113735/>

[Warum_kann_jeder_Sandburgen_bauen.html](http://www.pro-physik.de/details/news/1113735/Warum_kann_jeder_Sandburgen_bauen.html)

(letzter Zugriff: 30.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/dmfxHB>

Text *Blossey, R. (2008): Was eine Sandburg im Innersten zusammenhält In: Physik Journal, 7 (4), S. 17–18. (dt., 2 Seiten)*

<http://www.pro-physik.de/details/physikjournalArticle/prophy26761article/article.html>

(letzter Zugriff: 06.04.2016); ShortLink: <https://v.gd/RKIDWb>

Text *Herminghaus, S. (2011): Was Sandburgen zusammenhält.*

<http://www.dcf.ds.mpg.de/index.php?id=135#c365> (dt., ca. 3 Seiten)

(letzter Zugriff: 06.04.2016). ShortLink: <http://v.gd/SziYWL>



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

Komplette, editierbare Dokumentation und weitere Materialien

6 / 6