

# Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

einfach vorhanden (1x)  
Stand: 27.07.2016 // v15

## Phänomen

Feines Glasperlengranulat wird auf einem Lautsprecher zum Schwingen angeregt und bildet dabei verschiedene Muster aus – abhängig von der Frequenz und der Amplitude. Das schwingende Glasgranulat kann sich sogar eine Steigung hinauf bewegen.

## Einleitung (für Schüler\_innen)

In der Natur können sich Strukturen und Muster teilweise selbstständig ausbilden. Dies kann in zwei Kategorien unterschieden werden:

Zum einen die Ordnungsstrukturen nah einem Gleichgewichtszustand (z. B. Kristallbildungen). Dies sind häufig Systeme in denen keine Flussprozesse stattfinden.

Zum anderen Ordnungsstrukturen fern einem Gleichgewichtszustand – sogenannte *dissipative Strukturen* (z. B. Sandrippeln am Meeresgrund oder Dünen in der Wüste). Dies sind Systeme in denen ein Medium oder Energie in Bewegung ist und sich dabei Strukturen bilden.

Während die erste Gruppe ihren Ursprung in einer energetisch günstigen Anordnung auf atomarem Niveau hat (Kristallgitter), ist das Verständnis der zweiten Gruppe schwieriger. Das folgende Experiment ist ein Beispiel für eine *dissipative Struktur*.

## Material

- Glasperlengranulat (70–110  $\mu\text{m}$ )
- Lautsprecher mit Dose (Rüttler)
- Verstärker (CT-C2 oder Shark)
- zweifach Cinch zu 3,5 mm-Klinke-Adapterkabel
- ein Haftpad

## Zusätzlich benötigtes Material

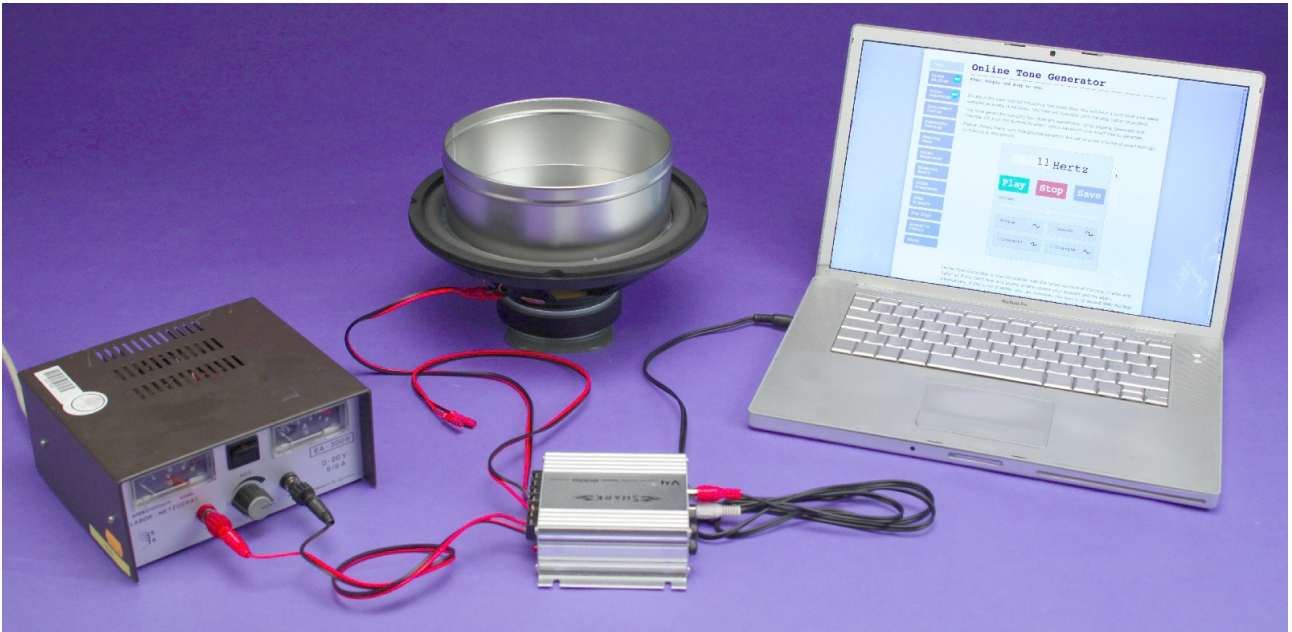
- 12 V-Gleichspannungsquelle
- Signalquelle (MP3-Player, Laptop, Smartphone o. ä.)



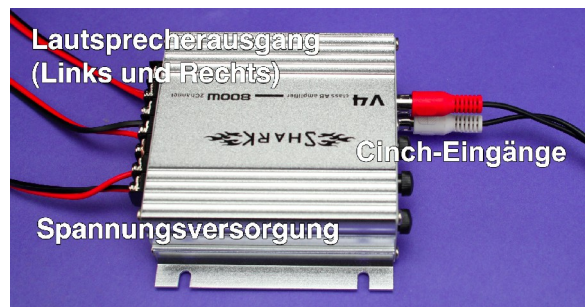
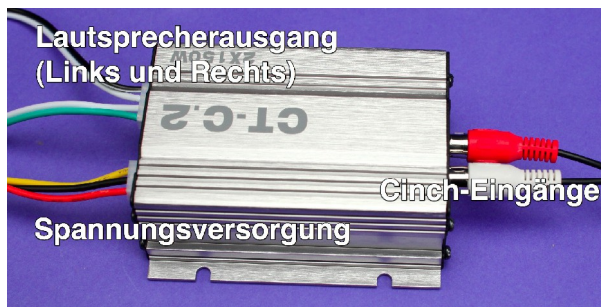
## Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

### Vorbereitung

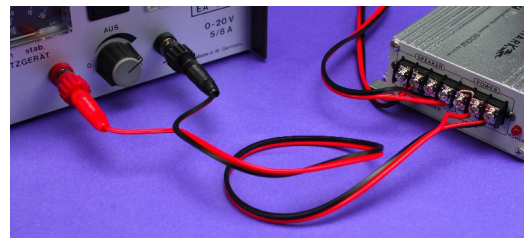
**Aufbauen:** Der Rüttler (Lautsprecher mit Dose) wird auf ein Haftpad gestellt. Die Dose des Rüttlers wird geöffnet und es wird ca. ein Esslöffel Glasgranulat hineingegeben.



**Verstärker:** Am Verstärker sind bereits Kabel angebracht: a) zur Spannungsversorgung (eine Zwillingsleitung) und b) zum Lautsprecher (je eine Zwillingsleitung für das Signal L (Links) und R (Rechts)). Zusätzlich gibt es zwei Cinch-Eingänge für das Audiosignal.



**Spannungsversorgung:** Die Bananenstecker müssen an einer 12 V-Gleichspannungsquelle angeschlossen werden (schwarz an den negativen Pol und rot an den positiven Pol). Eine Unterversorgung mit einer zu niedrigen Spannung ist für den Verstärker ungefährlich, eine Überversorgung mit einer zu hohen Spannung kann den Verstärker beschädigen.





## Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

**Lautsprecherverkabelung:** Zwei der roten Steckschuhe müssen an den Steckverbindern am Lautsprecher angebracht werden. Es sind insgesamt vier rote Steckschuhe vorhanden (zwei für den linken Kanal und zwei für den rechten Kanal des Stereo-Verstärkers). Es muss darauf geachtet werden, dass die beiden angeschlossenen Steckschuhe vom gleichen Kanal sind.



**Audiosignal:** Das mitgelieferte zweifache Cinch zu 3,5 mm-Klinke-Adapterkabel muss mit den passenden Buchsen am Verstärker verbunden werden (beim Shark-Verstärker vorher die Schutzkappen entfernen); ebenso der Klinke-Stecker mit einer Signalquelle (MP3-Player, Laptop, Smartphone o. ä.).

**Software / Signalgenerator:** Als Signalquelle können alle Geräte genutzt werden, die ein Audiosignal ausgeben (s. o.). Je nach Gerät unterscheiden sich die maximalen Ausgangslautstärken.

Für Geräte mit Internetzugang bietet sich die Nutzung dieser Webseite an:

<http://onlinetonegenerator.com/>

Darauf können verschiedene Frequenzen eingestellt und ausgegeben werden.

Es muss bedacht werden, dass Laptops und Computer auf die maximale Lautstärke geregelt werden müssen (Lautsprechereinstellungen etc. beachten), damit das Experiment funktioniert.

Alternativ können für Smartphones kostenlose Frequenzgeneratoren genutzt werden (z. B. Android: keuwl function generator; iPhone: Audio Funktionsgenerator) oder es können MP3-Dateien mit unterschiedlichen Frequenzen von [www.niliphex.de](http://www.niliphex.de) heruntergeladen werden.

**Einstellungen:** Der Verstärker sollte auf die maximale Lautstärke eingestellt werden (GAIN bzw. LEVEL). Die Regelung der Amplitude (Lautstärke) wird dann an der Signalquelle vorgenommen. Ebenso sollten die Filter am Verstärker auf Low gestellt sein (CT-C.2) bzw. der Bass maximal verstärkt werden (Shark).



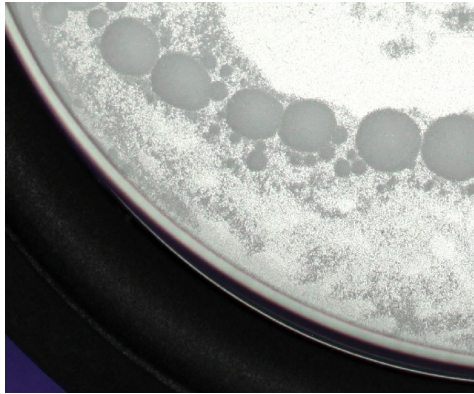
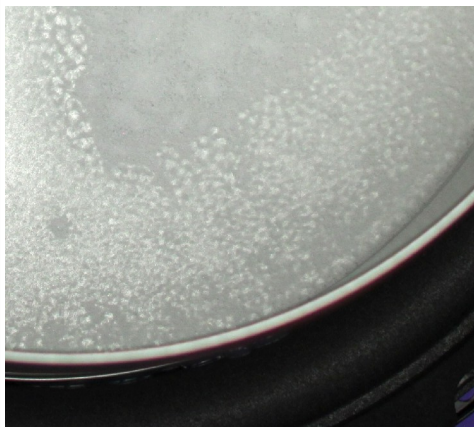

### Durchführung

An der Signalquelle (z. B. <http://onlinetonegenerator.com/>) werden verschiedene Sinusfrequenzen und Amplituden eingestellt. Vorsicht: Bei kleinen Frequenzen ( $< 15$  Hz) und hohen Amplituden ( $> 60$  % Maximalleistung des Verstärkers) springt das Glasperlengranulat aus der Dose heraus.

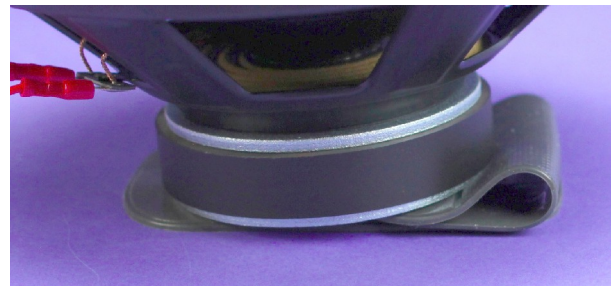
Zu beachten ist auch, dass die Schwingungsamplitude des Lautsprechers (Höhe des Hubs der Lautsprechermembran) sich auch mit der Frequenz verändert. Je höher die Frequenz ist (bei gleichbleibender Spannungsamplitude), desto geringer ist die Auslenkung der Lautsprechermembran (Schwingungsamplitude).

## Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

**1. Verschiedene Strukturen:** Mit den folgenden Einstellungen können die gezeigten Strukturen erzeugt werden.

	Einstellung	Foto	Strukturbeschreibung
A	Frequenz: 30 Hz Amplitude: <i>mittel</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hügel bilden sich</li> <li>• große Strukturen „fressen“ kleinere Strukturen</li> <li>• neue Hügel bilden sich und bewegen sich zurück in die großen Strukturen</li> </ul>
B	Frequenz: 33 Hz Amplitude: <i>hoch</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hügel vorhanden, umrahmt von netzartiger Struktur</li> <li>• Struktur von Schichtdicke abhängig (überprüfbar indem vorsichtig auf das Granulat gepustet wird, dadurch verschwinden Hügel und es entstehen dünne Schichten)</li> </ul>
C	Frequenz: 18 Hz Amplitude: <i>hoch</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Hügel</li> <li>• netzartige Struktur, die binär wechselt</li> </ul>

**2. Hochsteigendes Granulat:** Der Lautsprecher muss leicht angekippt werden. Dies kann z. B. erreicht werden, indem das Haftpad ein- bis zweimal an einer Seite umgeschlagen und dann der Rüttler darauf befestigt wird.  
Einstellung:  $\approx 25$  Hz;  $\approx 80$  % Amplitude  
Dann kann beobachtet werden, wie das Granulat sich die Steigung hinauf bewegt.



## Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

### Mögliche Arbeitsaufträge

- Es kann das **Verhalten anderer Granulate** auf der schwingenden Platte untersucht und beobachtet werden, welche Strukturen sich damit erzeugen lassen. Mögliche andere Granulate wären: Sand, feineres Glaspulver, Bärlappsporen / Lycopodiumpulver, Couscous etc.
- Untersuchen**, welche verschiedenen Strukturen sich in Abhängigkeit von Frequenz und Amplitude (Lautstärke) finden lassen. Diese skizzieren bzw. beschreiben und die entsprechenden Parameter (Amplitude und Frequenz) notieren.
- Beobachten** der *hügelartigen* Strukturen (A und B). Was passiert mit den kleineren Hügeln?
- Erstellung eines Phasendiagramms**, in dem die verschiedenen Strukturen A bis C in unterschiedlichen Farben dargestellt werden, in Abhängigkeit von der jeweiligen Frequenz und Amplitude. Dazu müssen die verschiedenen Einstellungen ausprobiert und überprüft werden, welche der Strukturen A bis C dabei jeweils beobachtet werden können.

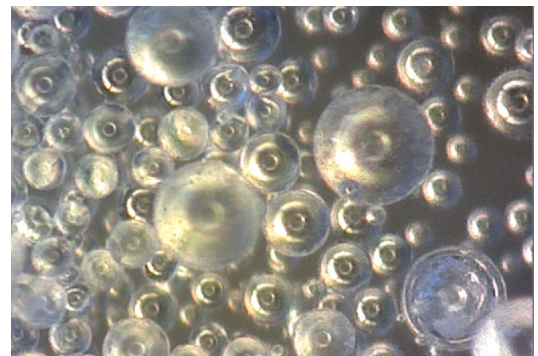
### Hinweise

**Zu wenig Leistung / eigener Verstärker** – Damit der Lautsprecher stark genug schwingt, muss entweder eine geeignete Signalquelle genutzt werden, damit das Eingangssignal im Verstärker bereits groß genug ist (einige MP3-Player, Laptops, etc. haben eine größere Ausgangslautstärke als andere). Oder, falls das nicht ausreicht, sollte entsprechend ein eigener Verstärker (ggf. inkl. Signalquelle) oder ein Funktionsgenerator mit Leistungsausgang verwendet werden.

**Glasperlengranulat nach Versuch in Dose belassen** – Um sich eine aufwendige Reinigung (ggf. mit Hilfe eines Pinsels) zu ersparen, kann das Glasperlengranulat einfach in der verschlossenen Dose verbleiben.

### Alternatives Experiment: *Reibungslos-Pulver* –

Das Glasperlengranulat besteht aus kleinen kugelförmigen Glasperlen. Wenn es auf eine harte, glatte Fläche aufgebracht wird (z. B. beschichtete Tischplatte, Glas(-tisch), Metallplatte, etc.) dann vermindert es die Reibung enorm – vergleichbar zu einer Luftkissenbahn (nur wesentlich leiser). Besonders Gegenstände mit einer harten Seite eignen sich dafür (z. B. Petrischalen oder Metallklötze). Es reicht bereits eine kleine Prise Glasperlengranulat um den Effekt zu erreichen.



Mikroskopische Aufnahme des Glasperlengranulats – kaum Abweichungen von der Kugelform

**Glasperlengranulat schwer zu reinigen** – Durch die geringe Größe und der Adhäsionskräfte sowie dem Einfluss der Elektrostatik lassen sich Geräte von dem Glasperlengranulat nur schwer vollständig reinigen. Das ist besonders zu beachten, wenn Glasgeräte (z. B. Petrischalen) genutzt wurden und danach wieder in einen Glasschrank gestellt werden sollen. Wenn die Glasgeräte nicht ordentlich gereinigt sind (idealerweise unter fließend Wasser), können sie den gesamten Glasschrank *kontaminieren*, was dahingehend problematisch wird, dass alle Glasgeräte im Schrank anfangen ins Rutschen zu kommen.

**Schlecht sichtbar für alle** – Es gäbe die Möglichkeit den Versuch mit Hilfe einer Videokamera aufzunehmen und dann via Projektion allen Schüler\_innen zu zeigen. Allerdings birgt



## Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

dies die Gefahr, dass bedingt durch die Bildrate der Kamera, der Effekt nur noch schwer bis gar nicht sichtbar sein kann. Ein vorheriger Test ist zu empfehlen.

**Vorsicht bei Aufwirbelung** – Beim Rütteln des Granulats sollte darauf geachtet werden, dass kein Glasgranulat eingeatmet wird. Das Granulat ist zwar ungiftig, aber es ist unangenehm.

**Zweiter-Lautsprecher-Erweiterung** – Es ist möglich, an den Verstärker einen zweiten Lautsprecher anzuschließen, da ein Kanal des Verstärkers bisher ungenutzt ist. Damit könnten zwei Gruppen gleichzeitig experimentieren. Es müsste dazu ein zweiter Lautsprecher, eine leere Keksdose und ein weiteres Cinch-Klinke-Adapterkabel angeschafft werden. Ein Adapterkabel geht mit einem Cinchstecker auf Links (Eingang des Verstärkers), der zweite Cinchstecker wird nicht angeschlossen und das zweite Adapterkabel geht mit einem Cinchstecker auf rechts. Ebenso wird der zweite Cinchstecker nicht angeschlossen.

**Nichtnewtonsche Fluide** – Eine andere Form der Strukturbildung lässt sich realisieren indem Maisstärke mit Wasser gemischt wird (Mischverhältnis: 3 Teile Maisstärke und 2 Teile Wasser). Dieses Gemisch wird in die Dose gegeben und angeregt. Dabei bilden sich Strukturen ähnlich Fingern bzw. Tentakeln aus. Zur einfacheren Reinigung im Nachhinein sollte der gesamte Lautsprecher inkl. Dose mit einer Mülltüte überzogen werden und das Nichtnewtonsche Fluide wird auf diese Tüte gegeben.

**Faraday-Wellen** – Wenn eine Schüssel mit Wasser in den Rüttler gestellt und angeregt wird, können darin Faraday-Wellen sichtbar gemacht werden (nichtlineare, stehende Wellen => vgl. <http://www.physics.utoronto.ca/~nonlin/faraday.html> oder dieses Video <http://nigelstanford.com/Cymatics/>). Um das Gewicht gering zu halten, sollte die Schüssel aus Kunststoff und möglichst flach sein, damit bereits wenig Wasser eine große Fläche einnimmt.

### Zusammenhang mit

- ➔ *Experiment 09: Entmischung beim Schütteln*
- ➔ *Experiment 10: Zwei-Kammer-Rüttler – Viele sammeln sich bei Vielen*
- ➔ *Experiment 12: Rayleigh-Bénard-Konvektion – Wabenmuster*

### Fachlicher Hintergrund

Die **Bildung der Hügel** in A und B ist vergleichbar mit dem Verhalten in *Experiment 10: Zwei-Kammer-Rüttler – Viele sammeln sich bei Vielen*. Wo viele Glasperlen sind, verringert sich die Sprungweite der einzelnen Perlen. Auf der schwingenden Platte passiert nun Folgendes: Glasperlen, die kaum weitere Perlen in ihrer Umgebung haben, können weiter springen und bewegen sich schnell, bis sie in einer Anhäufung landen, wo sie dann verlangsamt werden. Einzelne Glasperlen verlassen diese Anhäufung, aber sie werden schnell wieder in einer neuen Anhäufung *gefangen*. Folglich entstehen Strukturen mit hügelartigen Anhäufungen.

## Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

Die **netzartige Zellenstruktur** aus B und C (s.o.) hat eine Besonderheit: Sie wechselt zwischen zwei ähnlichen Strukturen. Dies kann wie folgt erklärt werden: Bei der Schwingung bildet sich ein Berg – dieser verhält sich ähnlich wie Wasser, dass in Schwingung versetzt wird. Es bildet sich eine Spitze. Von dieser Spitze aus verteilt sich das Granulat umliegend und zwar genau in die Zwischenräume zwischen den Bergen. Dadurch bilden sich neue Berge in den alten Zwischenräumen, weil dort das gesamte Material zusammengetroffen ist. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch (siehe Abbildung).

### Alltagsbezug / Anwendungen / Kontexte

**Strukturbildung in der Natur** – Vergleichbare Strukturbildung von granularer Materie, welche sich in Bewegung befindet, sind z. B. bei den Sandrippeln am Meeresboden, den Dünen in der Wüste selbst sowie Rippeln auf deren Oberfläche oder auch bei Wasserabflüssen zu finden.

**Astronomische Clusterbildung** – Dieses Experiment liefert eine mögliche Modell, wie sich astronomische Objekte bilden konnten und können. Wenn viele Teilchen aufeinander treffen, verklumpen sie aufgrund von Reibungsverlusten bzw. thermischen Verlusten bei den Stößen (*Dissipation*). Dies ermöglicht, dass sich größere Objekte wie z. B. Asteroiden bilden. Die Gravitation allein reicht nicht aus, um die Bildung von kleineren Objekten zu erklären, da die Gravitationswirkung zu klein ist im Vergleich zu den Bewegungsenergien (kinetische Energien) der Objekte.

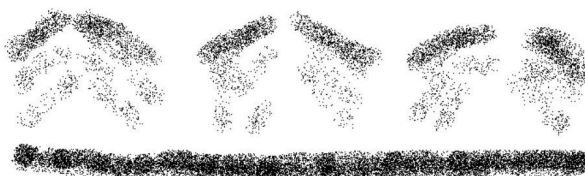
**Film- und Strukturbildung** wird in der Nanophysik zur Strukturierung von Oberflächen eingesetzt. Damit Oberflächen bestimmte Eigenschaften besitzen, die nur durch sehr feine Strukturen erreicht werden können, werden Strukturbildungsphänomene genutzt. Die Oberflächenbeschichtung wird so angeregt, dass sie Strukturbildungsphänomene zeigt, die dann mittels unterschiedlicher Fixierungsverfahren auf der Oberfläche fixiert werden.

### Rahmenlehrplanbezug

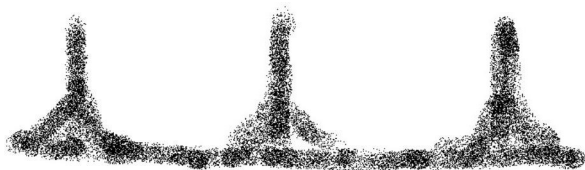
**Schwingungen, Wellen und Klangfiguren** – Das Experiment kann genutzt werden, um Schwingungen darstellbar zu machen und eine Alternative zu den chladnischen Klangfiguren zu liefern.



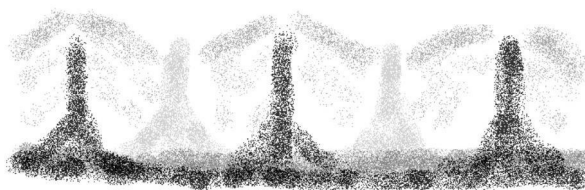
*Berge türmen sich auf.*



*Granulat verteilt sich in die Zwischenräume.*



*Neue Berge in den alten Zwischenräume türmen sich auf.*



*Alle Teilbilder zur Verdeutlichung, wie die netzartige Struktur entsteht, übereinander gelegt.*

## Experiment 11: Strukturbildung auf schwingender Platte

**Schall & Versuche zur Akustik** – Unabhängig vom beschriebenen Experiment kann der Lautsprecher auch eingesetzt werden, um den Übergang von einer rein sichtbaren Sinusschwingung (wenige Hz, Verstärkerleistung fällt stark ab unter einer Frequenz von 2 Hz) zu einer hör- und sichtbaren Sinusschwingung zu zeigen, indem langsam die Frequenz gesteigert wird, bis ein hörbarer Ton entsteht.

**Ästhetik und Kunst in der Physik** – Dieser Einstieg in die Welt der Strukturbildung kann genutzt werden um sich weiter mit ästhetisch ansprechenden Phänomenen zu beschäftigen. Beispiele dazu finden sich bei Stephen Morris: <https://www.flickr.com/photos/nonlin/>

### Lagerungshinweise / Instandhaltung

**Steckverbindungen am Verstärker nicht lösen** – Die Steckkabel am Verstärker CT-C.2 sollten nicht regelmäßig gelöst werden, weil die Steckverbindungen nicht darauf ausgelegt sind und so ein Defekt entstehen könnte.

**Steckschuhe am Lautsprecher nicht lösen** – Die Steckverbindungen am Lautsprecher sind ebenfalls nicht auf regelmäßiges An- und Abstecken ausgelegt und sollten verbunden bleiben, um einem Defekt (Bruch an der Steckverbindung) vorzubeugen.

**Wenn das Haftpad nicht mehr haftet**, kann es wieder instandgesetzt werden, indem es mit Wasser abgewaschen wird. Es kann auch Seife genutzt werden, aber am Ende muss das Haftpad gründlich abgespült werden. Danach muss das Haftpad trocknen, um wieder gut zu haften.

**Wegräumen** – Der Lautsprecher lässt sich gut zusammen mit dem verkabelten Verstärker in einer der grünen Kisten verstauen. Die Haftpads sollten nicht in der Sonne gelagert werden, da sie nur begrenzt UV-beständig sind und bei zu großer Hitze ihre Eigenschaften verändern können.

### Weiteres Material auf: [www.niliphex.de](http://www.niliphex.de)

Video *Phasenübergang bei durch Vibration angeregten Granulaten* – *Sixty Symbols* (2011): *Granular Dynamics* (engl., Dauer 9:51)

[https://www.youtube.com/watch?v=HKvc5yDhy\\_4](https://www.youtube.com/watch?v=HKvc5yDhy_4)

(letzter Zugriff: 31.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/bkC6Yx>



Video *Strukturbildung bei Vibration mit einem Hammer* – *Grains de Bâtisseurs* (2013): *chap 3 / exp n°5 "l'effet volcan"* (frz., Dauer 2:00)

<https://www.youtube.com/watch?v=Xh2xHFc-AUI>

(letzter Zugriff: 31.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/A4Lmg3>



Text *Erklärung zur Strukturbildung fern einem Gleichgewicht* – *Schlichting, H. J. (2000): Von der Dissipation zur Dissipativen Struktur. In: Praxis der Naturwissenschaften / Physik, 49 (2), S. 12–16. (dt., 6 Seiten)*

[https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich\\_physik/didaktik\\_physik/publikationen/dissipation\\_struktur.pdf](https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/dissipation_struktur.pdf)

(letzter Zugriff: 31.05.2016); ShortLink: <https://v.gd/P7QGVM>



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](http://www.niliphex.de)

Komplette, editierbare Dokumentation und weitere Materialien