


## Keep within the limit! – Hooke's law

<p>Abstract</p>	<p>Manche Materialien wie z. B. Schraubenfedern lassen sich zusammendrücken, aber auch dehnen. Eine besonders spektakuläre Anwendung dieser Eigenschaft ist das Bungee-Springen, bei dem sich das Bungee-Seil, abhängig von der Masse der fallenden Person, bis zu einem gewissen Grad dehnt.</p> <p>In diesem Unterrichtsvorschlag erforschen die Schülerinnen und Schüler die Gesetzmäßigkeiten hinter diesen Phänomenen. Sie untersuchen den Zusammenhang zwischen Materialbeschaffenheit, Dehnungsverhalten und einwirkender Kraft.</p> <p>Dabei planen die Schülerinnen und Schüler selbständig einen einfachen Versuchsaufbau sowie dessen Durchführung, um diese Zusammenhänge zu klären. Die gewonnenen Messwerte werten sie graphisch aus und interpretieren sie.</p>	 <p>photo: Ellywa, <a href="https://goo.gl/fBzIwW">https://goo.gl/fBzIwW</a> unter CC BY-SA 3.0 [8.5.16]</p>
<p>Kompetenzerwartungen</p>	<p>Die Schülerinnen und Schüler ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>planen unter Anleitung geeignete Versuche, um einen Zusammenhang zwischen Kraft und Verformung dehnbarer Körper zu untersuchen, führen diese selbständig durch und identifizieren in einer graphischen Auswertung den Hooke'schen Bereich.</li> </ul>	
<p>zeitlicher Rahmen</p>	<p>zwei Unterrichtsstunden</p>	
<p>Ressourcen</p>	<p>Je Experimentiergruppe: Tischklemme, Stativstange, Haken, Hakengewichte oder Teller mit Schlitzgewichten (z. B. sieben zu je 50 g), Maßstab (idealerweise mit Schieber) und Tonnenfuß, Schraubenfedern unterschiedlicher Härte, Gummi, evtl. Klemmen zum Befestigen des Gummis.</p> <p>Bei Durchführung der Vertiefung zusätzl. Blattfeder oder Draht.</p>	
<p>Durchführung</p>	<p>Die Schülerinnen und Schüler untersuchen den Zusammenhang zwischen der Dehnung einer Spiralfeder, eines Gummis o. ä. und der zugehörigen Kraft experimentell. Mit Hilfe einer graphischen Auswertung bestimmen sie (ggf. in der zweiten Unterrichtsstunde) Bereiche, in denen die Verformung direkt proportional zur einwirkenden Kraft ist. Alternativ kann auch die Anzahl der Durchgänge reduziert werden, wenn keine weitere Unterrichtsstunde zur Verfügung steht.</p>	
<p>Materialien</p>	<p>AB 1 Hooke's law FO 1 Bungee jumping LH 1 Fachvokabular mit Hinweisen zur Aussprache LH 2 Lösung zu AB 1 Hooke's law</p>	
<p>Autorin</p>	<p>Alice Schmidkunz, Sigmund-Schuckert-Gymnasium Nürnberg</p>	

Fach <i>Physik</i>	Lehrplanbezug <i>NT 7.1.2</i>	LehrplanPLUS <i>Ph 8.1</i>	Thema <i>Kräfte</i>
-----------------------	----------------------------------	-------------------------------	------------------------

**Stundenverlauf: Keep within the limit!**

	Struktur	Erläuterung
<b>Stundenverlauf: Keep within the limit!</b>	Einstieg (FO 1)	<p><b>Bungee jumping: “What happens when a person jumps?”</b></p> <p>Im Unterrichtsgespräch sammelt die Lehrkraft mögliche Antworten (e. g. “The cord stretches.”, “The bungee jumper will fall freely while the rope is slack.”, “The cord stretches until its length reaches a maximum.” “The bungee cord recoils.”, “The bungee jumper flies upwards again.”, “The jumper keeps moving from one position to another and back again.”).</p>
	Problemstellung	<p><b>“Is the closest distance to the ground the same for all Bungee Jumpers?”</b></p> <p>Am Beispiel des Bungee-Sprungs haben die Schülerinnen und Schüler bereits erkannt, dass die Dehnung eines Bungee-Seils sowohl von dessen Beschaffenheit als auch von der ausgeübten Kraft abhängig ist. Nun untersuchen sie die Dehnungseigenschaften verschiedener anderer Materialien.</p> <p><b>“Find out how the extension of a material changes with tension.”</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler sammeln Ideen für einen Versuchsaufbau und dessen Durchführung, mit dem sich der Zusammenhang zwischen Kraft und Ausdehnung untersuchen lässt. In Kleingruppen oder Partnerarbeit (abhängig von der Klassengröße bzw. Ausstattung der Schule) überprüfen sie dies anschließend experimentell (ggf. unter Anleitung der Lehrkraft).</p>
	Erarbeitung/ Sicherung (AB 1, LH 2)	<p><b>Identifizierung der Hooke’schen Bereiche; Hooke’sches Gesetz</b></p> <p>Die Experimentiergruppen bauen die Versuchsanordnung (vgl. AB 1) auf und untersuchen verschiedene Materialien (z. B. Schraubenfedern unterschiedlicher Härte, Gummiband) hinsichtlich ihrer Dehnungseigenschaften. Auf dem Arbeitsblatt ergänzen die Schülerinnen und Schüler zuerst die maximal zulässige Masse. So lässt sich bei der Auswertung sicherstellen, dass sie die jeweilige Fließgrenze identifizieren, aber nicht überschreiten bzw. dass sie die Schraubenfeder nur elastisch verformen.</p> <p>Wenn ein Gummiband aber so weit gedehnt werden soll, bis es reißt, ist auf genügend Abstand zu achten und es sind ggf. Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, damit weder herunterfallende Massstücke auf die Füße fallen (z. B. Behälter darunter aufstellen) noch Gummistücke in die Augen schnellen (Augenschutz!).</p> <p>Die Schülerinnen und Schüler notieren die Messwerte und werten diese graphisch aus.</p> <p>Bei der Auswertung erkennen sie, dass es Bereiche gibt, in denen der gezeichnete Graph eine Ursprungsgerade ist (AB 1). Sie lernen, dass für diese Bereiche das Hooke’sche Gesetz gilt. Über die Quotientengleichheit oder die Steigung der Geraden bestimmen sie den Proportionalitätsfaktor bzw. die Federkonstante.</p>

Fach	Lehrplanbezug	LehrplanPLUS	Thema
Physik	NT 7.1.2	Ph 8.1	Kräfte

Seite 3 von 12, Stand: 29.03.2017

Puffer/Vertiefung	<p><b>Experimentelle Vertiefungsmöglichkeiten</b></p> <p>Verringert man wieder stückweise die Kraft durch Abnehmen der Gewichtsstücke, stellen die Schülerinnen und Schüler fest, dass bei Spiralfedern (innerhalb der Elastizitätsgrenze) stets dieselbe Kraft für dieselbe Auslenkung notwendig ist, während bei Gummibändern die Ausgangslage nach der Entlastung nicht wieder erreicht wird.</p> <p>Ist der Begriff Federkonstante bereits eingeführt, können schnelle Gruppen zusätzlich das Dehnungsverhalten zweier parallel oder in Reihe aufgehängter Spiralfedern messen und mit der Federkonstante einer einzelnen Spiralfeder vergleichen.</p> <p>Auch das Kraft-Dehnungs-Verhalten eines verdrehten Gummibandes bzw. zweier parallel oder in Reihe aufgehängter Gummibänder lässt sich untersuchen.</p> <p>Im Lehrereperiment lässt sich zeigen, dass das Hooke'sche Gesetz auch für Metalldrähte und Blattfedern gilt, wenn die Belastung nicht zu groß ist.</p>
-------------------	--

### AB 1 Hooke's law

- Assemble the experimental setup as shown in the photo.
- Make sure you measure the spring elongation precisely. (Use pointers as shown in the pictures. Keep your eyes level with the position of the pointer when you read the scale.)
- Start measuring with just the spring and no added weights. This position corresponds to an elongation of 0 cm. Record elongations while adding weights.
- Enter your data into the table and fill in the remaining rows via appropriate calculations.
- Add masses incrementally. (Caution: Don't overstretch the spring!  
Use a total mass of \_\_\_\_\_ or less.)



small pointer made from a paper clip  
(attached to the slotted mass hanger or the end of the spring)

Photos: A. Schmidkunz

Equation needed to complete your tables:

---



---

helical spring (1)	1	2	3	4	5	6	7
mass m [g]							
force F [N]							
elongation $\Delta x$ [m]							

- Repeat the experiment first with a different spring and then with a rubber band.
- Record your results in the next two tables.

	1	2	3	4	5	6	7
mass m [g]							
force F [N]							
elongation $\Delta x$ [m]							

	1	2	3	4	5	6	7
mass m [g]							
force F [N]							
elongation $\Delta x$ [m]							

- Create a force versus elongation graph based on your measurements (i.e. force values along the y-axis and elongation values along the x-axis).
- Label each axis (representing quantity and units used) and pick a scale so that your graph will make good use of the space provided for it.
- Draw a line of best fit through the data points. Are your graphs straight lines?

---



---



## FO 1 Bungee jumping



photos: Ellywa, [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Bungeejump\\_begin\\_Scheveningen\\_31\\_mei\\_2004.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Bungeejump_begin_Scheveningen_31_mei_2004.JPG) under CC BY-SA 3.0 [19.7.16]

Ellywa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bungeejump\\_met\\_gestrekt\\_koord\\_Scheveningen\\_31\\_mei\\_2004.JPG#/media/File:Bungeejump\\_met\\_gestrekt\\_koord\\_Scheveningen\\_31\\_mei\\_2004.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bungeejump_met_gestrekt_koord_Scheveningen_31_mei_2004.JPG#/media/File:Bungeejump_met_gestrekt_koord_Scheveningen_31_mei_2004.JPG) under CC BY-SA 3.0 [19.07.2016]

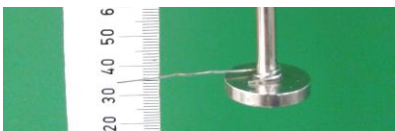
## LH 1 Fachvokabular mit Hinweisen zur Aussprache

Englisch	Aussprache (BrE)	Deutsch
bench clamp	bentʃ klæmp	Tischklemme
bungee cord/bungee rope	'bʌndʒi kɔ:d / 'bʌndʒi rəʊp	Bungee-Seil
extension	ɪk'stenʃn	Verlängerung, Streckung
helical spring	ˌhelɪkl 'sprɪŋ	Schraubenfeder
hook	hʊk	Haken
hooked mass	hʊkt mæs	Masse mit Haken
incrementally	ˌɪŋkrə'mentəli	stufenweise, schrittweise
intercept	'waɪ ɪntə'sept	y-Achsenabschnitt
line of best fit	ˌlaɪn əv best 'fɪt	Ausgleichsgerade
leaf spring	li:f sprɪŋ	Blattfeder
pointer	'pɔɪntə(r)	Zeiger
to recoil	rɪ'kɔɪl	zurückschnellen
rubber band	ˌrʌbə(r) 'bænd	Gummiband/Gummiring
slope	sləʊp	Steigung (einer Geraden)
slotted mass hanger	ˌslɒtɪd 'mæs hæŋə(r)	Teller für Schlitzgewichte
slotted mass	ˌslɒtɪd 'mæs	Schlitzgewicht
stand base	'stænd beɪs	Stativfuß
strain	streɪn	Beanspruchung, Dehnung
support rod	sə'pɔ:t rɒd	Stativstange
tape measure	'teɪp meʒə(r)	Maßband
tension	'tenʃn	Zugspannung, Zugkraft, Federkraft
weight with hook	weɪt wɪð hʊk	Hakengewicht



## LH 2 Lösung zu AB 1 Hooke's law

- Assemble the experimental setup as shown in the photo.
- Make sure you measure the spring elongation precisely. (Use pointers as shown in the pictures. Keep your eyes level with the position of the pointer when you read the scale.)
- Start measuring with just the spring and no added weights. This position corresponds to an elongation of 0 cm. Record elongations while adding weights.
- Enter your data into the table and fill in the remaining rows via appropriate calculations.
- Add masses incrementally. (Caution: Don't overstretch the spring!  
Use a total mass of (e. g.) 350g or less.)



small pointer made from a paper clip  
(attached to the slotted mass hanger or the  
end of the spring)

Photos: A. Schmidkunz



Equation needed to complete your tables:

$$F = m \cdot g \text{ (with } g = 9,81 \frac{m}{s^2} = 9,81 \frac{N}{kg} \text{)}$$

helical spring (1)	1	2	3	4	5	6	7
mass m [g]	50	100	150	200	250	300	350
force F [N]	0,49	0,981	1,471	1,96	2,45	2,94	3,43
elongation $\Delta x$ [m]	0,033	0,065	0,098	0,131	0,164	0,196	0,229
spring constant $k = \frac{F}{\Delta x}$ [N/m] <sup>1</sup>	15	15	15	15	15	15	15

- Repeat the experiment first with a different spring and then with a rubber band.
- Record your results in the next two tables.

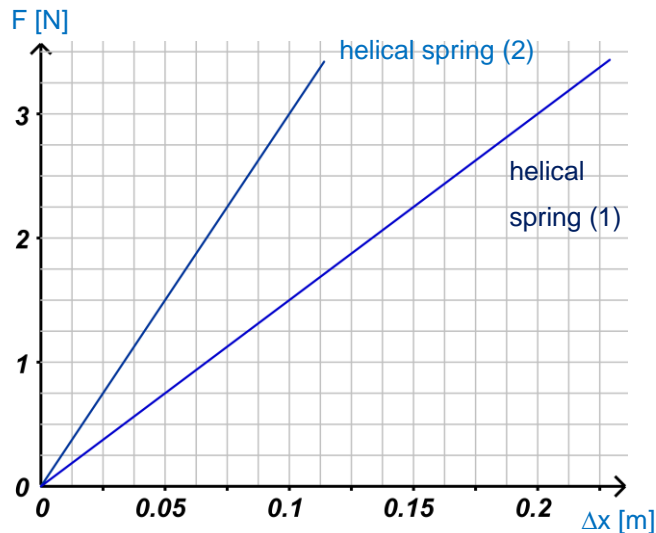
<sup>1</sup> "spring constant" has to be filled in afterwards as the students don't know this definition yet.

helical spring (2)	1	2	3	4	5	6	7
mass m [g]	50	100	150	200	250	300	350
force F [N]	0,49	0,981	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43
elongation $\Delta x$ [m]	0,016	0,033	0,049	0,065	0,082	0,098	0,114
spring constant $k = \frac{F}{\Delta x}$ [N/m]	31	30	30	30	30	30	30,1

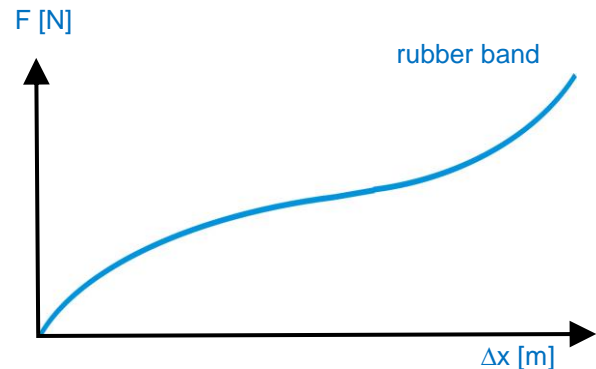
rubber band	1	2	3	4	5	6	7
mass m [g]							
force F [N]							
elongation $\Delta x$ [m]							
$k = \frac{F}{\Delta x}$ [N/m]							

- Create an elongation versus force graph based on your measurements (force values along the y-axis and elongation values along the x-axis).
- Label each axis (representing quantity and units used) and pick a scale so that your graph will make good use of the space provided for it.
- Draw a line of best fit through the data points. Are your graphs straight lines?

Possible solution for helical springs if the deformation is elastic:



Possible solution for a rubber band:



There are straight lines for both helical springs (if the elastic limit has not been exceeded).

The rubber band has no/only a small region of a straight line.

- Divide force by elongation and write the result in the last row of your table. Compare equal results with linear regions of the graph. What does this value tell you?

The result of  $F/\Delta x = k$  equals the slope  $m$  ( $= \text{rise/run}$ ) in an equation for a line ( $y = mx + t$ ).

Hooke's law:

The restoring force required to stretch an elastic object is directly proportional to the extension of the spring within certain limits.

$$F = k \cdot \Delta x$$

The stretching behaviour of an elastic band is changing throughout the process. It is unlikely to be linear: It is easier at first and then stiffer later on.

Up to a certain force, most stretchy objects will obey Hooke's law.

Compared with most materials, springs are unusual because the extension at which Hooke's law stops working is much higher for them.

Fach	Lehrplanbezug	LehrplanPLUS	Thema
Physik	NT 7.1.2	Ph 8.1	Kräfte

Additional tasks:

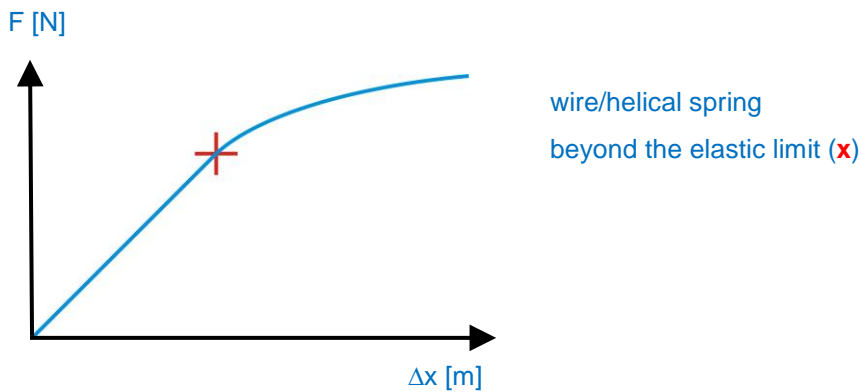
- Is there any evidence of stretch once you have taken the mass off?

helical spring: elastic deformation (deformation is reversible and non-permanent)

rubber band: plastic deformation (deformation is irreversible and permanent); the rubber band is longer after removing the mass

BUT: Permanent deformation will occur beyond the elastic limit. To a certain extent all objects show elastic behaviour. Once the applied force becomes too great (e. g. the internal architecture of the material is changed fundamentally and irrevocably), every material experiences permanent deformation.

This can be shown easily e. g. by determining the spring constant of a retractable ballpoint pen, overstressing the spring and determining the spring constant again.



- Combine two similar springs with the same spring constant. Arrange them in series (end to end) or parallel. Add the same mass used with only one spring. Write down the elongation, calculate the spring constant and compare.

in series:  $k_{\text{effective}} = k/2$

parallel:  $k_{\text{effective}} = 2 \cdot k$