

# SCHOOL-SCOUT.DE

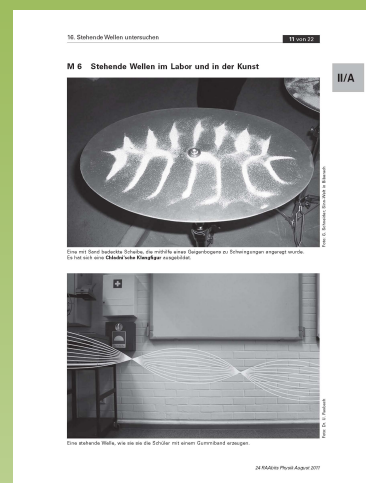
Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Experimente mit dem Gummiband*

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](http://School-Scout.de)



## Experimente mit dem Gummiband – stehende Wellen untersuchen

Dr. Ulrich Rasbach, Asbach

II/A

Für viele Schüler ist der Ausdruck *stehende Welle* ein Widerspruch in sich. Bei Wellen denken sie an Bewegung und Ausbreitung. Wirft man einen Stein ins Wasser, so kann man beobachten, wie sich die Wellen kreisförmig fortpflanzen.

Wieso können auch Wellen stehen?

Lassen Sie dies Ihre Schüler in Experimenten mit dem Gummiband erforschen. Ein Arbeitsblatt zur Wellengleichung rundet den Beitrag ab.

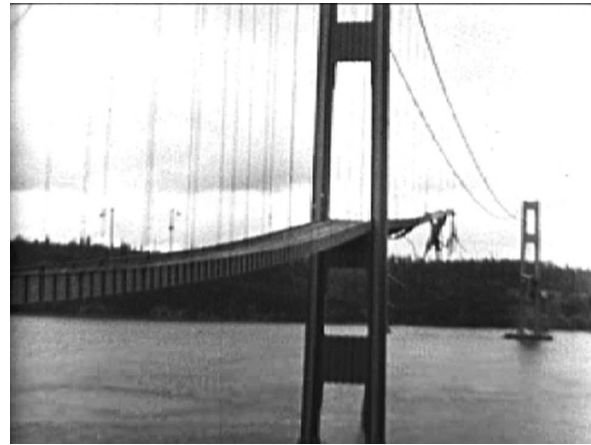


Foto: Regierung der Vereinigten Staaten

Die eingestürzte erste Tacoma-Narrows-Brücke

**Zeigen Sie einen Film zur  
Resonanzkatastrophe an der  
Tacoma Narrows Bridge<sup>1</sup>!**

Der Beitrag im Überblick	
<p><b>Klasse:</b> 10 (G8) / 11</p> <p><b>Dauer:</b> 4 Stunden</p> <p><b>Ihr Plus:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Schülerexperimente mit Materialien, die nicht viel kosten (Gummiband)</li> <li>✓ Handlungsorientierter Unterricht</li> </ul>	<p><b>Inhalt:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Harmonische Schwingung</li> <li>• Störung als Ursache einer Welle</li> <li>• Charakteristische Größen einer Welle: Wellenlänge, Phase, Ausbreitungsgeschwindigkeit</li> <li>• Stehende Wellen (Knoten und Bäuche)</li> <li>• Wellengleichung</li> </ul>

<sup>1</sup><http://www.archive.org/details/Pa2096Tacoma>

## Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

### Fachlicher Hintergrund

Schwingungen und Wellen gehören zu den wichtigsten Phänomenen in der Physik. Sie tauchen in verschiedenen Zusammenhängen auf:

- Mechanik (Pendel, Saiten, Luftsäulen, Maschinenteile),
- Elektrizitätslehre (Schwingkreis, Radio, Handy),
- Molekülphysik (Mikrowellenofen, Luftanalyse),
- Elementarteilchenphysik (Neutrinooszillationen)
- Atom- und Quantenphysik (Lorentz-Modell für die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, Wellenfunktion).

Daher ist es wichtig, ihren Charakter frühzeitig zu erfassen.

Zunächst vermitteln Sie anhand von Beispielen ein grundlegendes Verständnis der **harmomonischen Schwingung**. Dies ist eine Schwingung, die sich durch eine Sinus- oder Kosinusfunktion beschreiben lässt. Beispiele sind die Schwingung eines ebenen Fadenpendels mit hinreichend kleiner Amplitude oder die eines Federpendels. Hier ist die Rückstellkraft proportional zur Elongation.

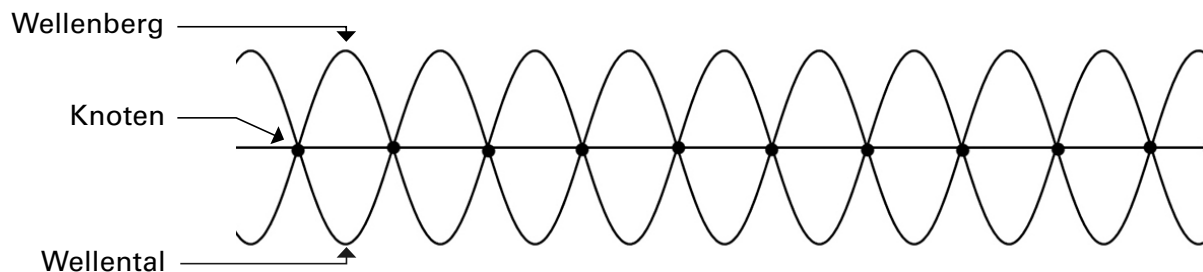
Wenngleich die schwingenden Systeme sehr unterschiedlich sein können, so gehorchen sie doch denselben Gesetzmäßigkeiten. Deshalb kann man Konzepte, die man einmal erlernt hat, mittels Analogiebetrachtungen leicht auf neue Sachverhalte übertragen.

Während es bei Schwingungen genügt, die zeitliche Periodizität bzw. die Frequenz des Schwingers und die Amplitude der Schwingung zu kennen, um den Vorgang beschreiben zu können, benötigt man zur Beschreibung einer **Welle** neben der zeitlichen auch die **räumliche Periodizität**. Dies zu verstehen, fällt vielen Schülern schwer. Zwar ist die Wellenfunktion eine Sinus- oder Kosinusfunktion, aber sie hängt von zwei Parametern (Variablen) ab.

Mechanische Wellen kann man mit sehr einfachen Mitteln direkt beobachten, wie z. B. an einem Gummiband oder einer langen Schraubenfeder. Bei elektromagnetischen Wellen benötigt man schon Hilfsgeräte, um sich ein Bild von der Welle machen zu können (z. B. Empfängerdiode und Oszilloskop bei Versuchen mit Mikrowellen). Lichtwellen kann man nicht direkt beobachten, dafür aber die Konsequenzen des Wellencharakters des Lichts (Beugungs- und Interferenzmuster). Bei materiellen Quantenobjekten schließlich ist selbst die Beobachtung des Wellencharakters nur noch mit aufwendigen Hilfsmitteln möglich.

### Stehende Wellen

Überlagern sich zwei gegenläufige Wellen, so kommt es manchmal zur Ausbildung sogenannter **stehender Wellen**. Im Folgenden sollen nur Querwellen betrachtet werden. Wichtige Voraussetzungen für das Entstehen einer stehenden Welle sind, dass die beiden Querwellen die gleiche Schwingungsebene und Wellenlänge sowie eine vergleichbare Amplitude haben und sich mit gleicher (aber gegenläufig gerichteter) Ausbreitungsgeschwindigkeit fortpflanzen. Wenn dann Wellenberge auf Wellenberge und entsprechend Wellentäler auf Wellentäler treffen, entstehen sogenannte Schwingungsbäuche, d. h. Bereiche maximaler Auslenkung. Zwischen zwei Bäuchen gibt es eine Stelle, wo die Auslenkung gleich null ist. Diese Stelle nennt man einen **Knoten**.



## Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Die folgenden Materialien vermitteln ein tief greifendes Verständnis dessen, was man in der Physik als *Welle* bezeichnet, sowie deren Besonderheiten. Der Fokus liegt auf der **Überlagerung von Wellen und der Ausbildung stehender Wellen**. Die visuellen und haptischen Erlebnisse während der Experimente helfen im Laufe des folgenden Physikunterrichtes dabei, auch andere Wellenphänomene leichter zu durchdringen.

Ergänzend und unterstützend bietet der Einsatz einer dynamischen Geometriesoftware (z. B. **GeoGebra**) die Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen der experimentellen Beobachtung und der mathematischen Betrachtung zu erkennen und diesen zu verstehen.

Das zentrale Element bei der Bearbeitung der Materialien **M 1–M 3** und **M 5** ist ein Gummiband, wie man es im Spielwarengeschäft oder in einem der zahlreichen „1-Euro-Läden“ preiswert erwerben kann. Unter dem Namen **Gummitwist** findet man nahezu runde, mit glattem Gewebe überzogene Gummibänder, die sich hervorragend für die Experimente eignen. Auch mit dünnem Hosengummi lassen sich die Experimente preiswert durchführen.

Alle Materialien können in Einzelarbeit bearbeitet werden. Dennoch ist Partnerarbeit empfehlenswert, da man dann die einzelnen Aktivitäten leichter bewerkstelligen kann und stets einen Diskussionspartner zur Seite hat. Insbesondere können so beide Schüler die Wellen besser beobachten. Die Materialien bieten eine abwechslungsreiche Mischung aus Theorie und Experiment sowie (fakultativem) Computereinsatz.

### Ablauf

Anhand des Materials **M 1** machen sich die Schüler mit dem Einsatz des Gummibandes vertraut. Sie entwickeln schnell ein Gespür, wie stramm das Gummi sein sollte, wie schnell und heftig die Anregung sein darf/muss und wie die einzelnen Parameter zusammenhängen. Insbesondere wird die **Reflexion eines einzelnen Wellenberges**, also einer Störung am **festen Ende** untersucht, die beim Verständnis der folgenden experimentellen und theoretischen Untersuchungen eine zentrale Rolle spielt.

Anhand von Material **M 2** führen Sie die **sinusförmige Schwingung** ein. Das Material **M 3** macht die Schüler mit Begriffen zur Charakterisierung einer Welle vertraut und lässt sie deren Bedeutung und Zusammenhänge experimentell erkunden.

Mit Material **M 4** erforschen die Schüler den Zusammenhang zwischen Schwingung und Welle und beschreiben ihn mithilfe eines Lückentextes. Dazu betrachten sie 20 gekoppelte Fadenpendel. Die Schüler arbeiten den Zusammenhang zwischen den Kenngrößen eines einzelnen Oszillators (Schwingers) und denen der Welle heraus, welcher in der Verknüpfung der Schwingungsdauer bzw. Frequenz des Einzeloszillators, der Wellenlänge und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle resultiert:  $c = \lambda \cdot f$ . Hierbei sind die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Experimenten mit dem Gummiband eine enorme Hilfe.

Die stehenden Wellen werden dann systematisch, aber immer noch auf experimentellem Wege, anhand des Materials **M 5** untersucht. Die Schüler stellen kleinere theoretische Überlegungen an. Eine Computeranimation (<http://www.walter-fendt.de/ph14d/stwellerefl.htm>) unterstützt und ergänzt die Bearbeitung von M 5.

Die Folienvorlage **M 6** zeigt das Foto einer stehenden Welle im Erlebniszentrum *Sinn-Welt* in Biberach und eine stehende Welle auf einem Gummiband, wie sie die Schüler in den Experimenten dieses Beitrages erzeugen.

Schließlich diskutieren die Schüler in **M 7** drei verschiedene Darstellungen der Wellengleichung einer nach rechts laufenden Welle und werten diese grafisch aus. Die eigentliche Herleitung bleibt zur **Binnendifferenzierung** den stärkeren Schülern vorbehalten. Sie, als Lehrkraft, können die Herleitung aber auch in kopierter Form an die Lerngruppe austeilten (siehe Lösungen M 7). Die Gleichung für die stehende Welle wird hierin schrittweise plausibel gemacht.

## II/A

## Hinweise für fachübergreifendes Arbeiten und Ausblick

## 1. Fach Geschichte: Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894)

Erwähnen Sie den deutschen Physiker Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894), nach dem die Einheit der Frequenz  $f$  benannt ist.

Hertz untersuchte elektromagnetische Wellen. Er bestätigte, dass es sich bei Licht um solche handelt, und gab den vier Maxwell'schen Grundgleichungen der Elektrodynamik ihre heutige Gestalt.

1887 wies er den Einfluss ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung nach und bereitete so die Klärung des äußeren lichtelektrischen Effekts durch Hallwachs vor. 1892 beobachtete er den Durchgang von Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten, was darauf hindeutet, dass die Materie zum großen Teil aus leerem Raum besteht.

Vgl. <http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/hh/biogr/hertz.htm>



Foto: <http://commons.wikimedia.org/wiki>

Heinrich Rudolf Hertz

## 2. Fach Musik: Resonanz und Obertöne

Sprechen Sie das Phänomen der Resonanz und Obertöne an. Der Klang einer Geige wird von einer Vielzahl sogenannter **Obertöne** bestimmt. Diese entstehen dadurch, dass die eingespannten Saiten zu mehr als einer resonanten Schwingung angeregt werden können. Zusätzlich zur Grundschwingung, bei der gerade ein Wellenbauch auf der gesamten Saitenlänge Platz findet, bilden sich auf der Saite auch stehende Wellen aus, deren Frequenzen jeweils ganzzahlige Vielfache dieser Grundschwingung sind.



Foto: Pixelio

Obertöne bestimmen den Klang einer Geige.



Foto: Pixelio

Wenn die Schalen in Schwingung versetzt werden, erzeugen sie eine starke Vibration und schöne Klänge.

3. Im Bereich **Atom- und Quantenphysik** verwendet man die Welle als ideales Modell. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen in bestimmten Bereichen des Atoms kann man mithilfe der jeweiligen Wellenfunktion und der Schrödinger-Gleichung berechnen: Das Betragsquadrat der Wellenfunktion gibt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen in diesen Bereichen an. Interferenzerscheinungen am Doppelspalt erklärt man im Wellenmodell, egal, ob es sich um Licht, Elektronen oder C-60-Moleküle handelt. Hier kommen die Materiewellen ins Spiel, die die De-Broglie-Wellenlänge  $\lambda = h/p$  haben. Neben dem Planck'schen Wirkungsquantum  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Js taucht in dem Ausdruck der Teilchenimpuls  $p$  auf. Teilchen- und Wellencharakter verschmelzen also in der Quantenphysik.

**Materialübersicht**

⌚ V = Vorbereitungszeit    SV = Schülerversuch    Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt  
 ⌚ D = Durchführungszeit    LV = Lehrerversuch    Fo = Folie

<b>M 1</b>	<b>Ab, SV</b>	<b>Reflexion einer Störung am festen Ende</b>	
	⌚ V: 5 min ⌚ D: 10 min	<input type="checkbox"/> dünnes Gummiband (2 m Länge) <input type="checkbox"/> Tisch <input type="checkbox"/> Papier und Bleistift <input type="checkbox"/> mehrere Tischklemmen zur Befestigung	
<b>M 2</b>	<b>Ab, SV</b>	<b>Sinusförmig – die harmonische Schwingung kennenlernen</b>	
	jeweils ⌚ V: 5 min ⌚ D: 5 min	<b>Schülerversuch 1:</b> <input type="checkbox"/> 1 schwarzer Stift (Edding 8400) <input type="checkbox"/> 1 Rolle Pergament- oder Backpapier	<b>Schülerversuch 2:</b> <input type="checkbox"/> 1 kleines Säckchen mit feinem Sand <input type="checkbox"/> 1 dünne Schnur <input type="checkbox"/> 1 Stativ
<b>M 3</b>	<b>Ab, SV</b>	<b>Berge, Täler und die Wellenlänge – eine Welle beschreiben</b>	
	⌚ V: 5 min ⌚ D: 10 min	<input type="checkbox"/> dünnes Gummiband (2 m Länge) <input type="checkbox"/> kleines Massestück (20 g)	
<b>M 4</b>	<b>Ab, SV</b>	<b>Eine Schwingung breitet sich aus. – Gekoppelte Fadenpendel</b>	
	⌚ V: 5 min ⌚ D: 20 min	<input type="checkbox"/> 20 Fadenpendel, die miteinander gekoppelt sind Stärke der Koppelung = konstant	
<b>M 5</b>	<b>Ab, SV</b>	<b>Knoten und Bäuche – stehende Wellen erregen</b>	
	⌚ V: 5 min ⌚ D: 10 min	<input type="checkbox"/> dünnes Gummiband (2 m Länge) <input type="checkbox"/> mehrere Tischklemmen zur Befestigung <input type="checkbox"/> Tisch	
<b>M 6</b>	<b>Fo</b>	<b>Stehende Wellen im Labor und in der Kunst</b>	
<b>M 7</b>	<b>Ab</b>	<b>Wellen mathematisch beschreiben – die Wellengleichung</b>	
	⌚ V: 1 min ⌚ D: 45 min	<input type="checkbox"/> Stift <input type="checkbox"/> Computer mit dem Programm <b>GeoGebra</b>	

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 13.

**Mediothek**

Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid 1/2 (2003), S. 67–73

**Internet-Adressen**

<http://www.walter-fendt.de/ph14d/stwellerefl.htm>

<http://www.schulphysik.de/physik/mech/swell/>

[http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/microwaves/standing\\_wave1.html](http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/microwaves/standing_wave1.html)

<http://www.geogebra.org/cms/de/download>

<http://www.geogebra.org/de/wiki/index.php/Unterrichtsmaterialien>

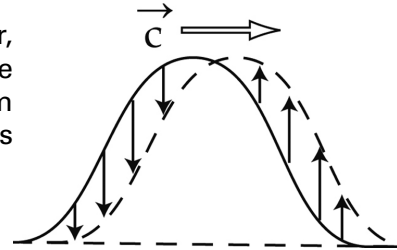
[http://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/wise\\_08\\_09/EP/vorlesung/vorlesung11.pdf](http://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/wise_08_09/EP/vorlesung/vorlesung11.pdf)

<http://www.solstice.de/physikprogramme/wellenmaschinen/>

II/A

## M 1 Reflexion einer Störung am festen Ende

Anschaulich gesprochen, haben Wellen Berge und Täler, die sich fortpflanzen. Ursache hierfür ist eine sogenannte *Störung*: Wir schicken einen einzelnen Wellenberg auf dem Gummiband los und beobachten seine Entwicklung. Das Ende des Gummibandes ist fest (gebunden bzw. geklemmt).



### Schülerversuch: Fortpflanzung einer mechanischen Störung auf einem Gummiband

⌚ Vorbereitung: 5 min    Durchführung: 10 min

#### Materialien

- dünnes Gummiband (2 m Länge)
- mehrere Tischklemmen zur Befestigung
- Tisch
- Papier und Bleistift

#### Versuchsaufbau und -durchführung

Legen Sie das Gummiband auf die Tischplatte. Befestigen Sie es an einer Seite des Tisches, entweder mit einer Tischklemme oder durch einen Knoten um das Tischbein.

Halten Sie das Gummiband leicht unter Spannung. Bewegen Sie nun Ihre Hand ruckartig nach rechts und kehren Sie sofort in die Ausgangsposition zurück.

#### Aufgaben

1. Wählen Sie die Spannung und Auslenkung des Gummibandes so, dass sich die Störung gut sichtbar ausbreiten kann. Beobachten Sie, was mit der Störung am anderen (festen) Ende des Gummibandes passiert.
2. Untersuchen Sie das Verhalten der Störung für verschiedene Spannungen des Gummibandes. Achten Sie hierbei insbesondere darauf, wie schnell sich die Störung (zum Ende hin) ausbreitet.
3. Überlegen Sie sich, wie die Störung reflektiert würde, wenn das Ende des Gummibandes nicht am Tischbein festgeknotet, sondern lose wäre (Hilfe: geeignete Literatur oder Internet).
4. Vervollständigen Sie den Lückentext.

#### Merke

Die Störung wird am anderen Ende des Gummibandes \_\_\_\_\_. Hierbei wird ein ankommender Wellenberg am festen Ende als \_\_\_\_\_ und am losen Ende als \_\_\_\_\_ zurückgeworfen. Je größer die Spannung des Gummibandes ist, desto \_\_\_\_\_ breitet sich die Störung aus.

#### Hypothese

Ankommende und \_\_\_\_\_ Welle \_\_\_\_\_ sich, was vermutlich zu neuen Phänomenen führt.

# SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Experimente mit dem Gummiband*

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](http://School-Scout.de)

