



Experimente mit dem Gummiband – stehende Wellen untersuchen

Dr. Ulrich Rusbach / 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

www.netzwerk-lernen.de

Zeigen Sie einen Film zur
Resonanzkatastrophe an der
Tacoma Narrows Bridge!

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

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



netzwerk
lernen

II/A



Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise
 Fachlicher Hintergrund
netzwerk lernen

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.

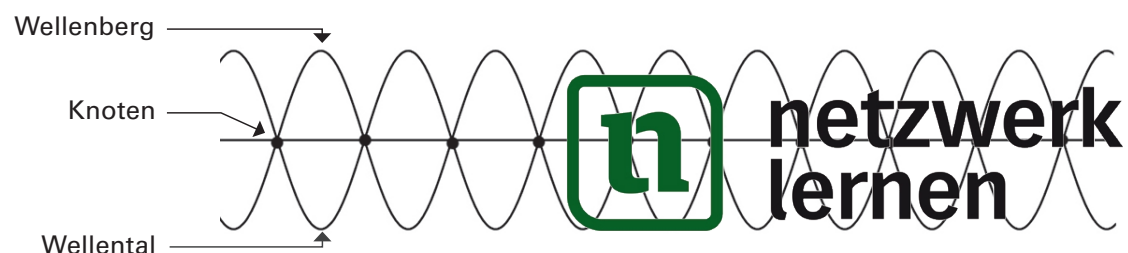
Wenngleich die schwingenden Systeme sehr unterschiedlich sein können, so gehorchen sie doch denselben Gesetzmäßigkeiten. Deshalb kann man Konzepte, die man einmal erlernt hat, mittels Analogiebetrachtungen leicht auf neue Sachverhalte übertragen.

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**.





Materialienübersicht

netzwerk lernen

 V = Vorbereitungszeit
 D = Durchführungszeit
 S = Schülerversuch
 L = Lehrerversuch

 Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
 Fo = Folie

II/A

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

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.geogebra.org/cms/de/download>

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

http://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesung/wave_03_09/EP/vorlesung/vorlesung11.pdf

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



netzwerk lernen

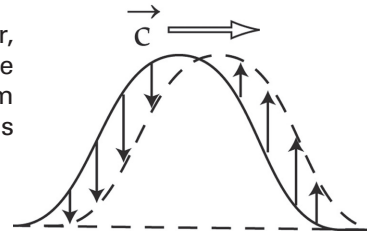
II/A



netzwerk lernen

III Reflexion einer Störung am festen Ende

anschaulich gezeichnet, 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 unter 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 _____ Wellen, was vermutlich zu neuen Phänomenen führt.



netzwerk lernen



Ein e Schwingung breitet sich aus. – Gekoppelte Fadenpendel

lernen

II/A

In den bisherigen Experimenten (M 1–M 3) haben Sie erlebt, dass eine größere Anregungsfrequenz f zu einer kürzeren Wellenlänge λ führt und die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der Welle zunimmt, wenn Sie die Spannung des Gummibandes erhöhen.

Schülerversuch: Gekoppelte Fadenpendel

🕒 Vorbereitung: 20 min Durchführung: 5 min

Materialien

- 20 Fadenpendel, die miteinander gekoppelt sind; Stärke der Koppelung = konstant

Versuchsdurchführung

Lenken Sie das Fadenpendel am linken oder rechten Rand der Kette senkrecht zur Richtung, in der die Fadenpendel gekoppelt sind, aus der Ruhelage aus und lassen Sie es los. Beobachten Sie, wie sich die Schwingung des ersten Pendels auf die anderen Pendel überträgt.

Aufgabe

- a) Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Ausbreitungsgeschwindigkeit c , der Wellenlänge λ und der Frequenz f ?
- b) Füllen Sie den Lückentext aus.

www.netzwerk-lernen.de

Lückentext

Je stärker die Kopplung zweier benachbarter Pendel, desto _____ kann sich die Schwingung des ersten Pendels auf die anderen übertragen. Die Geschwindigkeit, mit der sich die Schwingung des ersten Pendels auf die anderen überträgt, ist gleich der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle. Sie hängt also von der _____ ab. Im Experiment konnte man die Kopplung _____, indem man die _____ des Gummibandes _____ hat.

Da die Frequenz f der _____ der Schwingungsdauer T des ersten Pendels ist, weiß man, dass sich das Pendel nach der Zeit T wieder in _____ befindet. Die anderen Pendel beginnen zwar zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit ihrer Schwingung, brauchen aber ebenfalls die Zeit T , um _____ auszuführen. Der räumliche Abstand zweier Pendel, die den gleichen Schwingungszustand haben, ist gleich der _____. Ein gegebener Schwingungszustand des ersten Pendels (z. B. Nulldurchgang nach vorne) wird vom ersten Pendel nach der Zeit T wieder erreicht. Während dieser Zeit breitet sich dieser Schwingungszustand aufgrund der Koppelung räumlich aus und erreicht ein _____ anderes Pendel im Abstand λ vom ersten Pendel. Dies gilt für jeden _____. Das bedeutet, dass sich die Welle in der Zeit _____ gerade um _____ weit bewegt. Schon kann man die Ausbreitungsgeschwindigkeit c auch schreiben: _____ bzw. _____.

II/A



Netzwerk lernen

16. Stehende Wellen untersuchen

Mit Knoten und Bäuche stehende Wellen erzeugen

Befestigen Sie bei den folgenden Experimenten ein Ende des Gummibandes am Tisch. Legen Sie das Gummiband auf die Tischplatte oder halten Sie es etwas gespannt waagrecht in der Luft.

Schülerversuch 1: Eine stehende Welle mit nur einem Bauch erzeugen

🕒 Vorbereitung: 5 min ⌚ Durchführung: 10 min

Materialien

Gummiband (2 m Länge) mehrere Tischklemmen zur Befestigung Tisch

Versuchsdurchführung

Halten Sie das Gummiband leicht gespannt. Bewegen Sie Ihre Hand möglichst gleichmäßig und symmetrisch zur Ausgangsposition hin und her. Ändern Sie die Schnelligkeit Ihrer Handbewegung (die Anregung bzw. Erregerfrequenz) so lange, bis Sie genau einen Wellenberg erhalten, der den Bereich zwischen Hand und Befestigung voll ausfüllt.

Versuchsbeobachtung

Das Gummiband schwingt nach links und rechts bzw. nach oben und unten _____ um die Gleichgewichtslage. Dort, wo das Gummiband am Tisch befestigt ist, _____ während des gesamten Vorgangs in _____. In der Mitte zwischen Hand und Tisch ist die Auslenkung am größten. Hier liegt ein _____.

Versuchserklärung

Notieren Sie eine Erklärung für Ihre Beobachtung im Heft.

Schülerversuch 2: Stehende Wellen gibt es nur unter bestimmten Bedingungen!

Um zu erforschen, wie die Ausbildung stehender Wellen von verschiedenen Größen abhängt, verändern Sie im Folgenden immer nur eine Größe, während die anderen unverändert bleiben. Führen Sie folgende Serie von Experimenten durch. Notieren Sie für mindestens vier verschiedene Werte der veränderten Größe jeweils die Anzahl der Bäuche.

Nr.	Länge des Gummibandes	Spannung des Gummibandes	Erregerfrequenz
A	fest	fest	verändern
B	fest	verändern	fest
C	verändern	fest	fest

Begründen Sie, dass der Abstand zwischen zwei Knoten immer gleich der halben Wellenlänge ist. Welche Beziehung muss folglich für die Länge l des Gummibandes und die Wellenlänge λ gelten, damit sich eine stehende Welle ausbilden kann?

Tipp

Die Internetseite <http://www.walter-fendt.de/ph14d/stw> liefert Ihnen wertvolle Hilfe.



Netzwerk lernen



netzwerk lernen

Erklärungen und Lösungen

Die grauen Kästchen kennzeichnen Tipps zum Einsatz.

II/A

■ Im Fach Mathematik wird der Einfluss von Parametern auf die Gestalt eines Funktionsgraphen in vielen Kontexten untersucht. Die Diskussion von Funktionenscharen bleibt für die Schüler aber in der Regel eine Abfolge von (statischen), eintönigen Berechnungen. Dynamische Mathematiksoftware (z. B. **GeoGebra**) bietet hier Abhilfe: die Möglichkeit, einen lebendigen Zusammenhang zwischen den Graphen einer Funktionenschar zu erfahren. Diese Dynamik erleben die Schüler in diesem Beitrag selbst, direkt und zunächst ohne Mathematik und Computer mithilfe eines Gummibandes.

M 1 Reflexion einer Störung am festen Ende

■ Achten Sie beim Kauf des Gummibandes darauf, dass es nicht zu dick ist und eine relativ glatte Oberfläche hat, damit die Schüler möglichst wenig Reibungsverluste erzeugen. Wählen Sie, wenn möglich, eine Länge von 2 m.

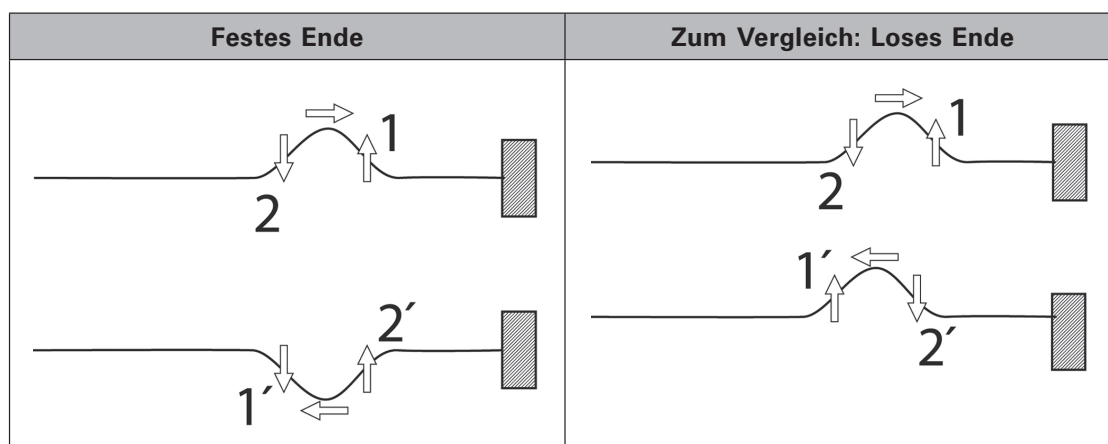
Bei diesem relativ einfachen Experiment gewinnen die Schüler schon viele Erkenntnisse, die für das Verständnis von stehenden Wellen wichtig sind. Es genügt, das Gummiband an einer Seite des Tisches unterhalb der Tischplatte an geeigneter Stelle, notfalls am Tischbein, festzuknoten. Im Gegensatz zu den Experimenten von M 5, wo dies nur empfohlen wird, sollte das Gummiband unbedingt auf dem Tisch liegen, da sonst die Reflexion deutlich schwerer zu beobachten ist.

www.netzwerk-lernen.de

Lösungen

Schülerversuch: Fortpflanzung einer mechanischen Störung auf einem Gummiband

Die Störung wird am Ende des Seils folgendermaßen reflektiert:



Versuchsbeobachtung

Am festen Ende wird ein Wellenberg als Wellental und ein Wellental als Wellenberg reflektiert. Es entsteht also eine plötzliche Verschiebung der Wellenform um $\lambda/2$. Man sagt auch: Es entsteht ein Phasensprung von π .

Aufgaben

1. siehe linke Abbildung oben bzw. Versuchsbeobachtung.

netzwerk lernen