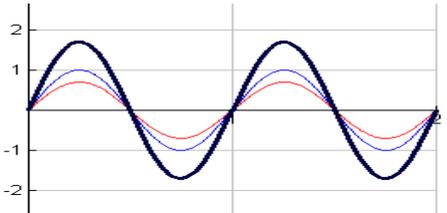
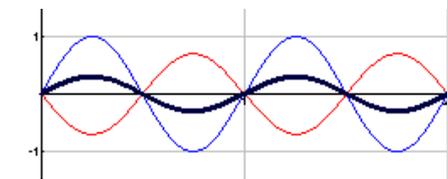
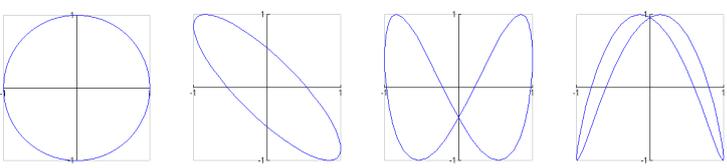
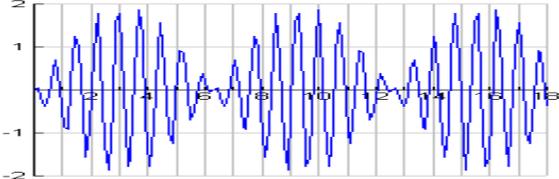
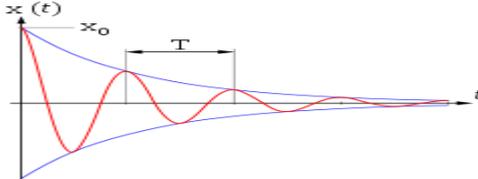


**THEMA: MECHANISCHE SCHWINGUNGEN UND WELLEN**

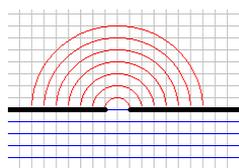
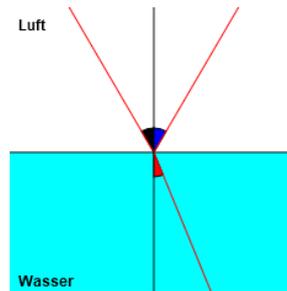
**1) Mechanische Schwingungen**

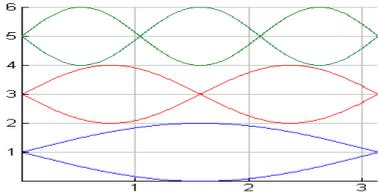
<b>Schwingung</b>	periodischer Bewegung an einem festen Ort
<b>Welle</b>	Ausbreitung der Schwingung im ganzen Raum
<p><b>Das Federpendel</b></p> <p>Harmonische Schwingungen</p> <p>Schwingungsdauer</p>	<p>Federpendel und Fadenpendel erzeugen harmonische Schwingungen, die sich aus der Kreisbewegung ableiten (Blick von der Seite)</p> <p>Es ergibt sich in einem Zeit-Weg-Diagramm eine Sinusschwingung <math>y = r \cdot \sin(\omega \cdot t) = r \cdot \sin(2\pi f \cdot t)</math></p> <p>Die rücktreibende Kraft ist proportional der Auslenkung: <math>F = -k \cdot y \rightarrow m \cdot a = -k \cdot y</math>  daraus folgt, dass die <b>Auslenkung</b> <math>y(t) = r \cdot \cos(\omega t)</math> ist,  die <b>Geschwindigkeit</b> ist deren Ableitung: <math>v = y' = -\omega r \cdot \sin(\omega t)</math> und deren <b>Beschleunigung</b> ist die zweite Ableitung: <math>a = y'' = -\omega^2 r \cdot \cos(\omega t)</math></p> <p>Weiters kann man die <b>Schwingungsdauer</b> (in sec) bestimmen:  <math>T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}</math>, <math>k</math> =Federkonstante, <math>m</math> = Masse</p>
<b>Fadenpendel</b>	Schwingungsdauer $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ gilt für das Fadenpendel der Länge $L$
<b>Überlagerung von Schwingungen</b>	<p><b>Satz von Fourier:</b> Jede periodische Schwingung lässt sich eindeutig als Summe von harmonischen Schwingungen darstellen (für den CD-Player wichtig!)  Wenn sich Schwingungen in gleicher Richtung überlagern:</p>
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>positive Interferenz:</b> gleiche Schwingungsfrequenz und gleicher Anfang (=Phasenlage):  die <b>blaue</b> und die <b>rote</b> Schwingung addieren sich zur <b>schwarzen</b> Schwingung</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>negative Interferenz:</b> gleiche Schwingungsfrequenz und Anfang (=Phasenlage) um halbe Wellenlänge verschoben:  die <b>blaue</b> und die <b>rote</b> Schwingung „subtrahieren“ sich zur <b>schwarzen</b> Schwingung, bei gleicher Ausgangsamplitude löschen sie sich aus!</p> </div> </div>
<p>Schwingung 2-dimensional:</p> <p>Lissajous Figuren</p>	<p>Sind die Schwingungsebenen senkrecht zueinander, so entstehen die <b>Lissajous-Figuren</b>. Bei gleicher Frequenz entstehen Kreise und Ellipsen, bei doppelter Frequenz der einen Schwingung die Bilder daneben, usw.</p> 

Schwebung	<p>Eine <b>Schwebung</b> entsteht aus zwei Schwingungen mit geringem Frequenzunterschied (z.B. 9 und 10 Hz) . Das klingt bei zwei benachbarten Tönen wie ein An- und Abschwellen der Lautstärke in der Differenzfrequenz (beim <b>Klavierstimmen</b>) - hier mit 1 Hertz</p> 
gedämpfte Schwingung	<p>Eine gedämpfte Schwingung entsteht durch Energieverlust der Schwingung, die Amplitude wird immer kleiner:</p>  <p>(Grafik: wikipedia)</p>
<p><b>Rückkopplung</b></p> <p>Resonanz</p>	<p>Um die Dämpfung einer Schwingung auszugleichen muss man dem Pendel jedes Mal beim Anschwingen Energie zuführen. Dazu braucht es Information über den Schwingungszustand, die zu der Energiezufuhr führt. Das nennt man <b>Rückkopplung</b>. Kommt vor beim Schaukeln, bei der Pendeluhr, usw.</p> <p>Regt man ein Federpendel mit einem Motor zu Schwingungen an, so tritt bei einer bestimmten Frequenz „<b>Resonanz</b>“ ein – die Schwingung wird besonders stark (hohe Amplitude). Das ist dann der Fall, wenn die Anregungsfrequenz mit der Eigenschwingungsfrequenz übereinstimmt. Die Bewegung des Schwingers läuft dann genau eine Viertelperiode hinter der Erregerfrequenz her.</p> <p><b>Magnet-Resonanz-Tomografie</b> wird zur medizinischen Diagnostik angewendet. Dabei treten die Resonanzen auf ein Magnetfeld in den Kernspins auf.</p> <p>Jedes <b>Bauwerk</b> muss vor Baubeginn (mit Computer) auf Resonanzfrequenzen untersucht werden und eventuell mit Schwingungsdämpfern versehen werden.</p>

2) Mechanische Wellen

<p><b>Transversale Wellen</b></p>	<p><b>Wellen</b> entstehen durch Schwingungen, die durch Kopplung an andere schwingungsfähige Systeme weitergegeben wird (Luft: Stöße, Wasser: Anziehungskraft der Teilchen)</p> <p><b>Transversalwellen</b> schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Wellen (Wasser, Licht, elektromagnetische Wellen, Erdbeben)</p>
<p><b>Longitudinale Wellen</b></p>	<p><b>Longitudinalwellen</b> schwingen in Ausbreitungsrichtung der Wellen (Schall, Erdbeben)</p>
<p><b>Elongation</b></p> <p><b>Amplitude</b></p> <p><b>Schwingungsdauer</b></p> <p><b>Frequenz</b></p> <p>Wellenlänge</p>	<p>Begriffe:</p> <p>Die <b>Elongation</b> <math>y(t)</math> = Auslenkung (des Pendels,..) aus der Ruhelage, Abstand von der Ruhelage</p> <p>Die <b>Amplitude</b> <math>y_{max}</math> ist die maximale Auslenkung</p> <p>Die <b>Schwingungsdauer</b> <math>T</math> ist die Zeit, die der Körper für eine volle Hin- und Herbewegung braucht</p> <p>Die <b>Frequenz</b> <math>f</math> ist die Anzahl der vollen Schwingungen pro Sekunde [Hertz]</p> <p>Die <b>Wellenlänge</b> (<math>\lambda</math>) ist die räumliche Länge einer einzelnen Schwingung (z.B. <math>\frac{3}{4}</math> m für den Kammerton A)</p>

<p>Fortpflanzungs- geschwindigkeit</p> <p>Wellengesetz</p>	<p><b>Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit c</b> der Welle ist in jedem Medium anders. In Luft ist die <u>Schallgeschwindigkeit</u> 3340 m/s, in Wasser ca. 1400 m/s in festen Körpern ca. 5000 m/s. <u>Lichtgeschwindigkeit</u>: 300 000 km/s im Vakuum, ca. 200 000 km/s im Wasser oder Glas.</p> <p>Es gilt das <b>Wellengesetz</b>: <math>\lambda \cdot f = c</math>                  Wellenlänge mal Frequenz = Ausbreitungsgeschwindigkeit  <b>Energie</b> der harmonischen Welle: <math>E = m/2 \cdot y_0^2 \cdot \omega^2</math>                  → Die Energie ist proportional der halben Masse, dem Quadrat der Amplitude und dem Quadrat der Frequenz (für Licht gilt: <math>E = h \cdot f</math>)</p>
<p><b>Beugung, Reflexion und Brechung von Wellen</b></p> <p><u>Erklärung</u> durch das <u>Huygens'sche Prinzip</u></p> <p>Brechungsgesetz</p>	<p><b>Beugung</b> tritt bei einer Störung des Wellenverlaufes (durch einen Spalt oder Hindernis) auf – es entstehen „elementare“ Kugelwellen.</p>  <p>Wenn an einem Ort eine <b>Schwingung</b> stattfindet, so teilt sich diese Schwingung durch Kopplung anderen schwingfähigen Systemen als <b>Welle</b> mit (Ein Wasserteilchen ist durch elektromagnetische Anziehung mit anderen Wasserteilchen verbunden, ein Luftmolekül teil sich der Umgebung durch Stöße mit, ein Metallatom schwingt und stößt sein Nachbaratom an,...)</p> <p><b>Huygens'sches Prinzip</b>: Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt einer sogenannten <i>Elementarwelle</i> angesehen werden, die Überlagerung (Interferenz) aller dieser Kugelwellen ergibt die neue Wellenfront  <a href="http://www.walter-fendt.de/ph14d/huygens.htm">http://www.walter-fendt.de/ph14d/huygens.htm</a>                  Durch Aufprall einer Welle auf eine Platte (Spiegel) wird die Welle <b>reflektiert</b> (Einfallswinkel = Ausfallswinkel).</p> <p>Die Wellen werden bei durchsichtigen Körpern nicht nur reflektiert, sondern auch durchgelassen, aber <b>gebrochen</b>, das heißt verlangsamt oder beschleunigt, dadurch erscheint ein Knick im Strahl, eine Richtungsänderung einer Parallelwelle, gut zu sehen unter:  <a href="http://www.walter-fendt.de/html5/phde/refraction_de.htm">http://www.walter-fendt.de/html5/phde/refraction_de.htm</a></p> <p>Das <b>Brechungsgesetz</b> lässt sich durch geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit im dichteren Medium (<math>c_2</math>) erklären: (Grafik: Walter Fendt)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Brechungsgesetz: <math>\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n = \frac{c_1}{c_2}</math></p> </div> <p><math>\alpha</math>...Einfallswinkel, <math>\beta</math>...Ausfallswinkel, <math>n</math>...Brechzahl, <math>c_1, c_2</math>...Ausbreitungsgeschwindigkeiten in den 2 Medien</p> 
<p><b>Überlagerung von Wellen</b></p> <p>stehende Welle</p> <p>Anwendung</p>	<p>Gesetz der ungestörten Überlagerung: Zwei Wellen laufen übereinander hinweg, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen. Die Höhe der Welle (Elongation) erhält man durch Addition der Teilwellen.</p> <p>Überlagerung zweier Wellen führt entweder zu räumlichen Mustern von <b>Auslöschungs und Verstärkungszonen</b>:  <a href="http://www.walter-fendt.de/ph6de/interference_de.htm">http://www.walter-fendt.de/ph6de/interference_de.htm</a>                  oder bei Wellen in einer Saite einer Gitarre zu <b>stehenden Wellen</b>:  <a href="http://www.walter-fendt.de/ph6de/standingwavereflection_de.htm">http://www.walter-fendt.de/ph6de/standingwavereflection_de.htm</a>                  Syntesizer erzeugen Überlagerungen von Sinuswellen verschiedener Frequenz und erzeugen so die <b>Musik aus dem CD / MP3-Player</b></p>

<b>Schallwellen</b>	<p>Schall breitet sich mit <b>Schallgeschwindigkeit</b> (340 m/s in Luft bei 20°C, bei höherer Temperatur – größer) in Form einer <b>longitudinalen Welle</b> mit Luftverdichtungen und –verdünnungen aus.</p> <p><b>Messung der Schallgeschwindigkeit</b> durch eine <b>stehende Welle</b>: eine Welle und ihre reflektierte Welle ergeben eine stehende Welle, das ist bei den Saiten- und Blasinstrumenten in der Form der Grundschwingung oder der ersten Oberschwingung ...</p> 
<b>Klang und Klangfarbe</b>	<p>Begriffe:</p> <p>Tonhöhe = Frequenz (440 Hertz = Kammerton A) Wir hören maximal 20–20 000 Hertz</p> <p>Klangfarbe = Mischung aus Grundton und Obertöne</p> <p>Lautstärke = Amplitude</p>
<b>Lautstärke</b>	<p><b>Schallintensität</b> <math>I</math> = Schallenergie [in Watt pro <math>m^2</math>], die pro Sekunde in senkrechter Richtung durch einen Quadratmeter tritt</p> <p><b>Schallpegel</b> <math>L = 10 \cdot \lg(I / 10^{-12})</math> ist die logarithmische Darstellung, Einheit Dezibel (<b>dB</b>)</p> <p><b>subjektive Lautstärke</b> = <b>PHON</b> ... stimmt mit dB bei 1000 Hertz überein, nimmt bei 5000 Hz den größten Wert an, wenn Schallintensität gleich ist</p> <p>Kleinste hörbare Lautstärke = 0 dB (<math>10^{-12}</math> Watt/<math>m^2</math>) Sprechen in 1m Abstand = 60 dB Schmerzgrenze = 130 dB (Trommelfellbeschädigungen bei Düsenjets)</p>
<b>Dopplereffekt</b>	<p><b>Dopplereffekt</b>: Schall, der sich nähert erfährt eine Tonerhöhung, bei Entfernung eine Tonerniedrigung.</p> <p>Bewegt sich die Schallquelle mit Geschwindigkeit <math>v_Q</math> auf den Beobachter zu, so ergibt sich eine Erhöhung der Frequenz: <math>f_B = f_Q \cdot \frac{1}{1 - \frac{v_Q}{c}}</math></p> <p>Wenn sich das Flugzeug mit Schallgeschwindigkeit bewegt (MACH = 1), so sammeln sich an der Spitze des Flugzeugs alle Schallwellen und verstärken sich zur einem irren Getöse, das in den Pioniertagen des Fliegens als <b>Schallmauer</b> gefürchtet war. Bei höherer Geschwindigkeit ergibt sich ein Schallkegel.</p> <p>Bewegt sich der Beobachter auf die Schallquelle mit der Geschwindigkeit <math>v_B</math> zu, so ergibt sich die folgende Erhöhung der Frequenz: <math>f_B = f_Q \cdot (1 + \frac{v_B}{c})</math></p>

### LINKS zu den Wellen:

JAVA-Applets zum Anschauen:

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

Skriptum:

<http://www-aix.gsi.de/~wolle/TELEKOLLEG/SCHWINGUNG/schwingung.html>