



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Physik für Maschinenbau

Vorlesung 311.123 Wintersemester 2019/20

Univ.-Prof. Dipl. Phys. Dr.-Ing. Andreas Otto

Wien, 17.12.2019



Diese Seite nicht ausdrucken
Beispielrechnungen werden später veröffentlicht

Diese Seite nicht ausdrucken
Beispielrechnungen werden später veröffentlicht

Diese Seite nicht ausdrucken
Beispielrechnungen werden später veröffentlicht

Eine der ersten Fragen:

Konnte man den Urknall hören?

Leider nein –

abgesehen von Positionierungs-, Temperatur-, Strahlungs-, Beschleunigungsproblemen und davon, daß das Ohr noch nicht “erfunden” war, fehlte ein Medium, das Schall zu seiner Ausbreitung braucht.

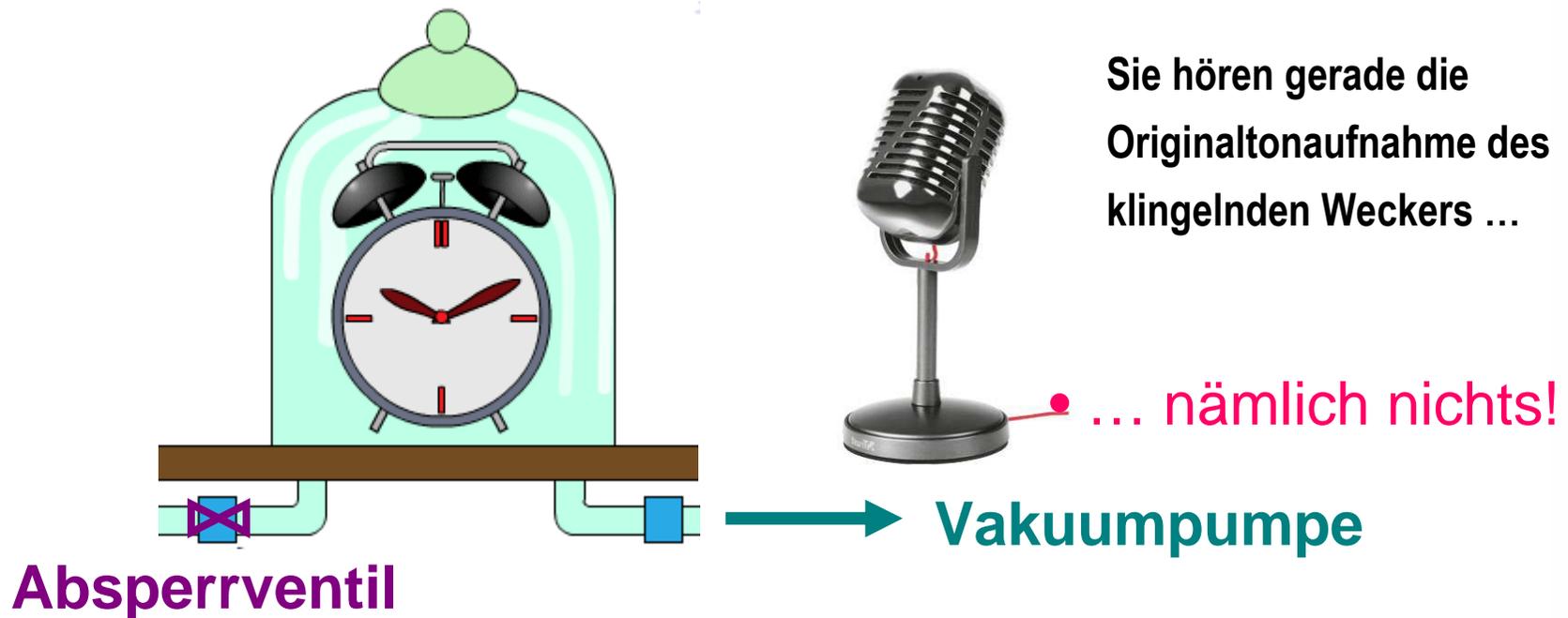


Wenn heute nach dem Echo des Urknalls im Weltraum “gelauscht” wird, begibt man sich dabei auf die Suche nach Mikrowellen, die den gesamten Weltraum seit seiner Entstehung erfüllen (Weltraumobservatorium „Planck“).

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen – keine akustischen Wellen!

Die Unabdingbarkeit eines Mediums war bereits Leonardo da Vinci aufgefallen.

Mit folgendem Versuch ist das auch leicht überprüfbar:

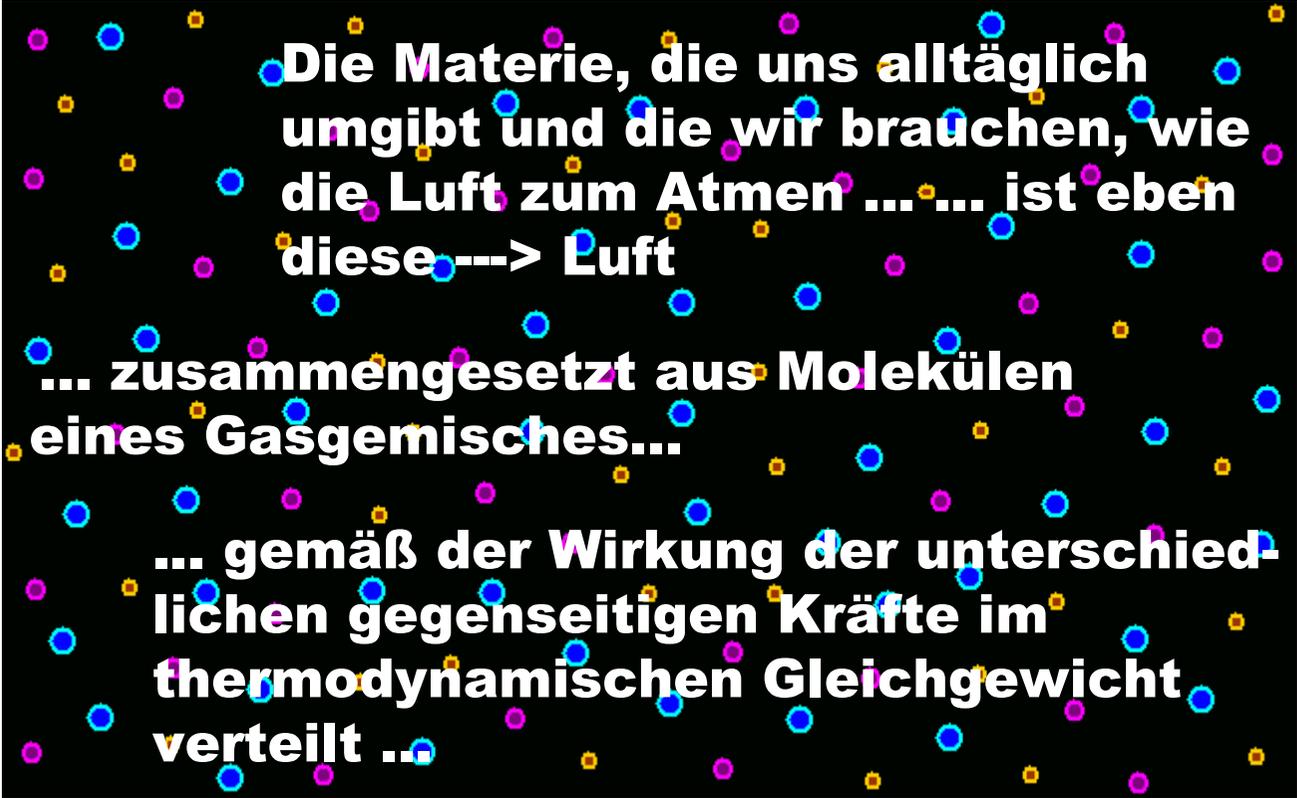


Akustik, wer hat noch nicht davon gehört, ist die Lehre vom Schall und seiner Ausbreitung.

**Der Begriff stammt aus dem Griechischen:
akuein ακουειν = hören**

Wir tun es, **das Hören, ohne darüber nachzudenken.**

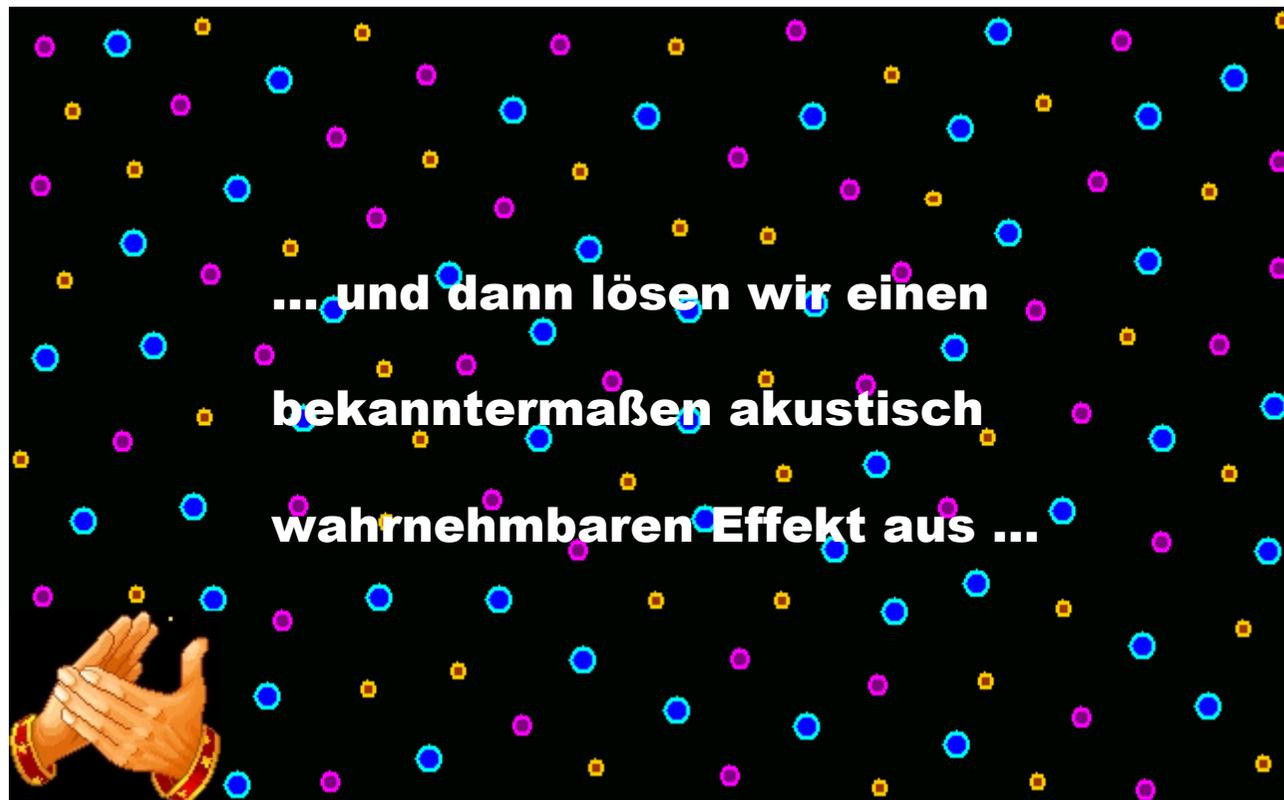
Um ein Verständnis für die Bedingungen und Effekte zu bekommen ist eine genauere Analyse notwendig.

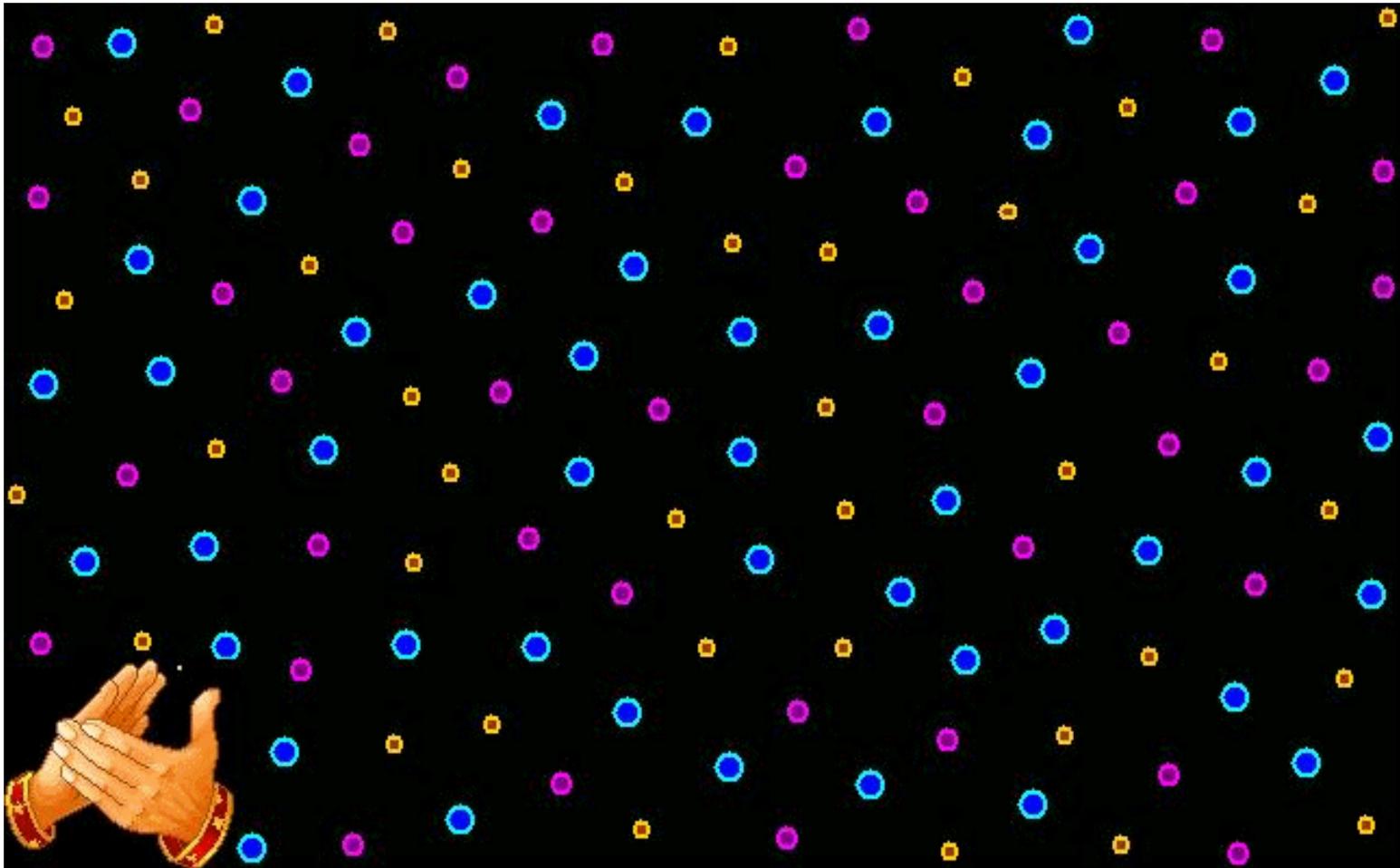


Die Materie, die uns alltäglich umgibt und die wir brauchen, wie die Luft zum Atmen ist eben diese ---> Luft

... zusammengesetzt aus Molekülen eines Gasgemisches...

... gemäß der Wirkung der unterschiedlichen gegenseitigen Kräfte im thermodynamischen Gleichgewicht verteilt ...



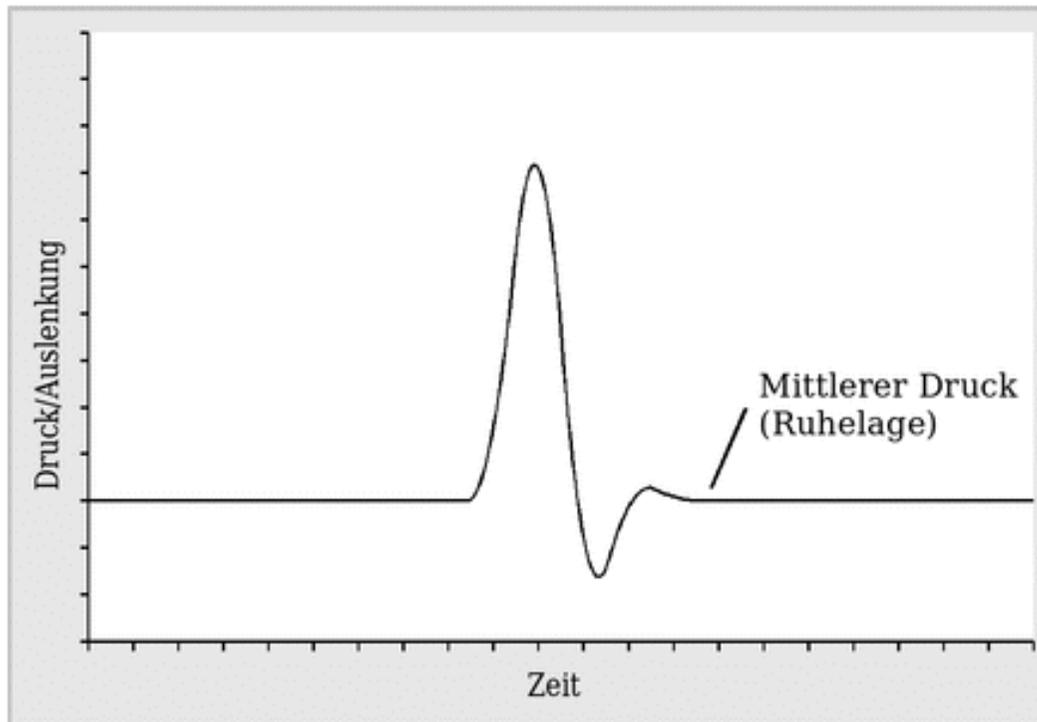






Wenn wir uns noch einmal die Analyse des Vorgangs in Erinnerung rufen und uns gleichzeitig erinnern, dass Schwingung als periodische Bewegung einer Größe um einen Ruhezustand definiert ist, erkennen wir, dass genau dies hier vorliegt. Jene besonderen Arten von Schwingungen, die sich räumlich fortpflanzen, werden Wellen genannt. Diese Eigenschaft liegt gleichfalls vor. Also haben wir es mit Wellen zu tun.

Die Schwingung kann als jene der Teilchen um ihre Ruhelage, oder als Folge daraus, als jene des Drucks um das Mittel interpretiert werden.



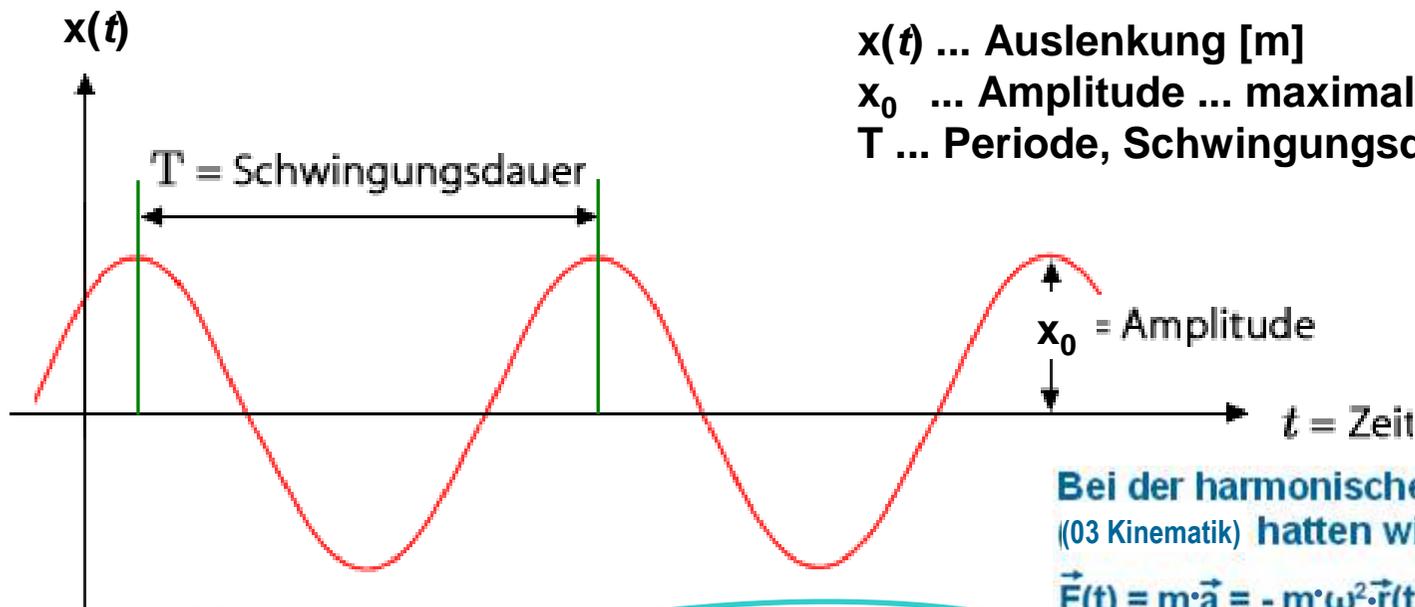
Durch Händeklatschen hervorgerufene Druckänderung

Quelle: [http://de.wikibooks.org/wiki/Datei: Pressure_change.png](http://de.wikibooks.org/wiki/Datei:Pressure_change.png)

Mit dem Ohr ist der Mensch in der Lage Schwingungen im Bereich zwischen etwa 16 Hz und in jungen Jahren maximal bis an die 20 kHz akustisch wahrzunehmen. Akustik aus physikalischer Sicht befasst sich aber mit weit darüber hinausgehenden Bereichen, die dann als Infra- bzw. Ultraschall bezeichnet werden und zum Teil von Tieren auch verarbeitet werden können.

Schwingungen

Schwingungen die durch lineare Rückstellkräfte zufolge der Auslenkung $x(t)$ gekennzeichnet sind, werden als harmonische bezeichnet.



$x(t)$... Auslenkung [m]
 x_0 ... Amplitude ... maximale Auslenkung [m]
 T ... Periode, Schwingungsdauer [s]

Bei der harmonischen Schwingung
 ((03 Kinematik) hatten wir hergeleitet:

$$\vec{F}(t) = m \cdot \vec{a} = - \underbrace{m \cdot \omega^2}_{D/m} \cdot \vec{r}(t) = - \underbrace{D}_{D/m} \cdot \vec{r}(t) \quad | :m, + D \cdot \vec{r}(t)$$

$$\vec{a} + (D/m) \cdot \vec{r}(t) = 0$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0$$

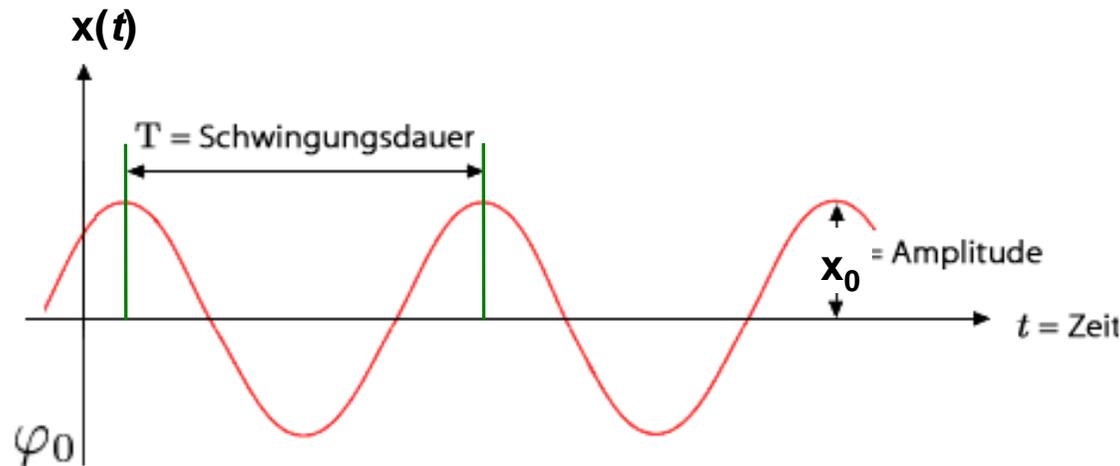
m ... Schwingende Masse [kg]

k ... Proportionalitätsfaktor der Rückstellkräfte

Schwingungen

Lösung der Differentialgleichung

Siehe auch Herleitung der Schwingung aus einer Rotationsbewegung in 03 Kinematik



$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0$$

$$x(t) = x_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

φ_0 ... Phasenverschiebung [rad]

$$f = \frac{1}{T} \text{ Frequenz [Hz]}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T} \text{ [rad.s}^{-1}\text{]}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Bei harmonischen Schwingungen besteht kein Zusammenhang zwischen Amplitude und Frequenz.

Schwingungen

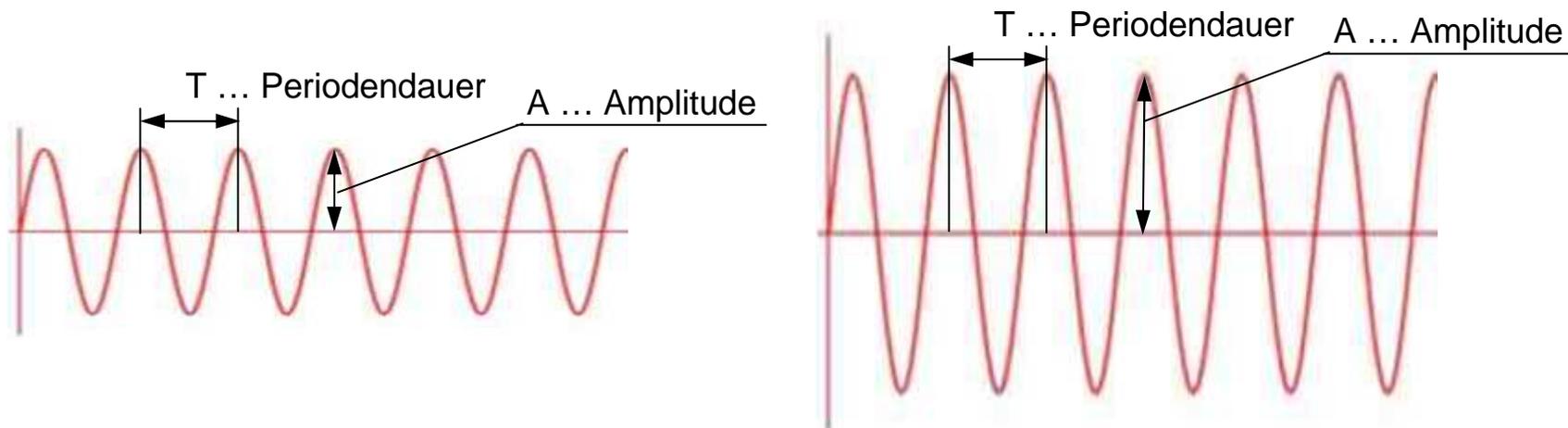
Hertz ist die abgeleitete SI Einheit für die Frequenz.
Sie gibt die Anzahl von Wiederholvorgängen pro Sekunde an.

Physikalische Größe	Frequenz
Größensymbol	f, ν
Dimensionssymbol	T^{-1}
Einheit	Hertz = s^{-1}
Einheitenzeichen	Hz

Die zweite auffällige Kenngröße des Höreindrucks ist die Lautstärke.

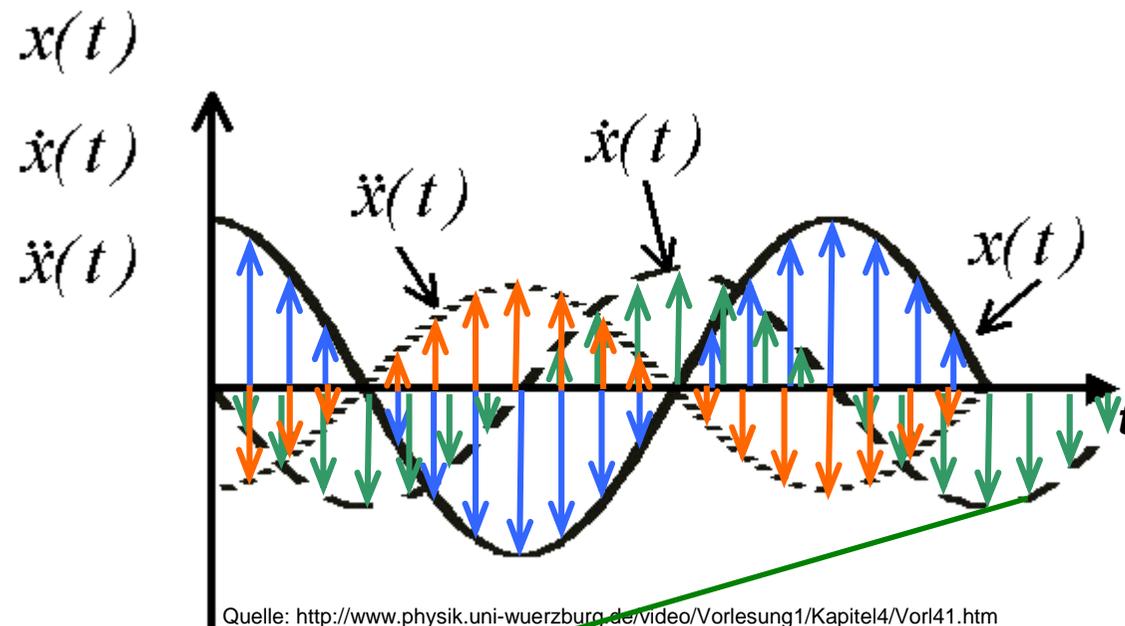
Wesentlich bestimmt wird der Eindruck durch die Energie, bzw. die Intensität der Schwingung am Ohr.

Die Bewegung der Teilchen des Mediums, in diesem Zusammenhang meist Luft, löst eine Druckschwankung aus, die mit steigender Schwingungsamplitude ebenfalls zunimmt.



Größere Amplitude kennzeichnet höhere Lautstärke ... und höheren Energieinhalt der Schwingung.

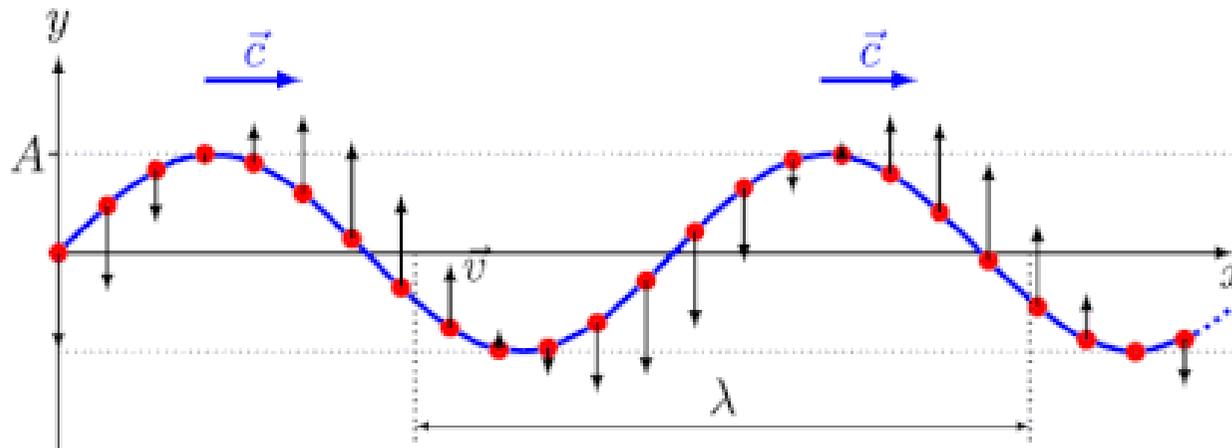
Zusammenhang zwischen Beschleunigung, Geschwindigkeit und Position



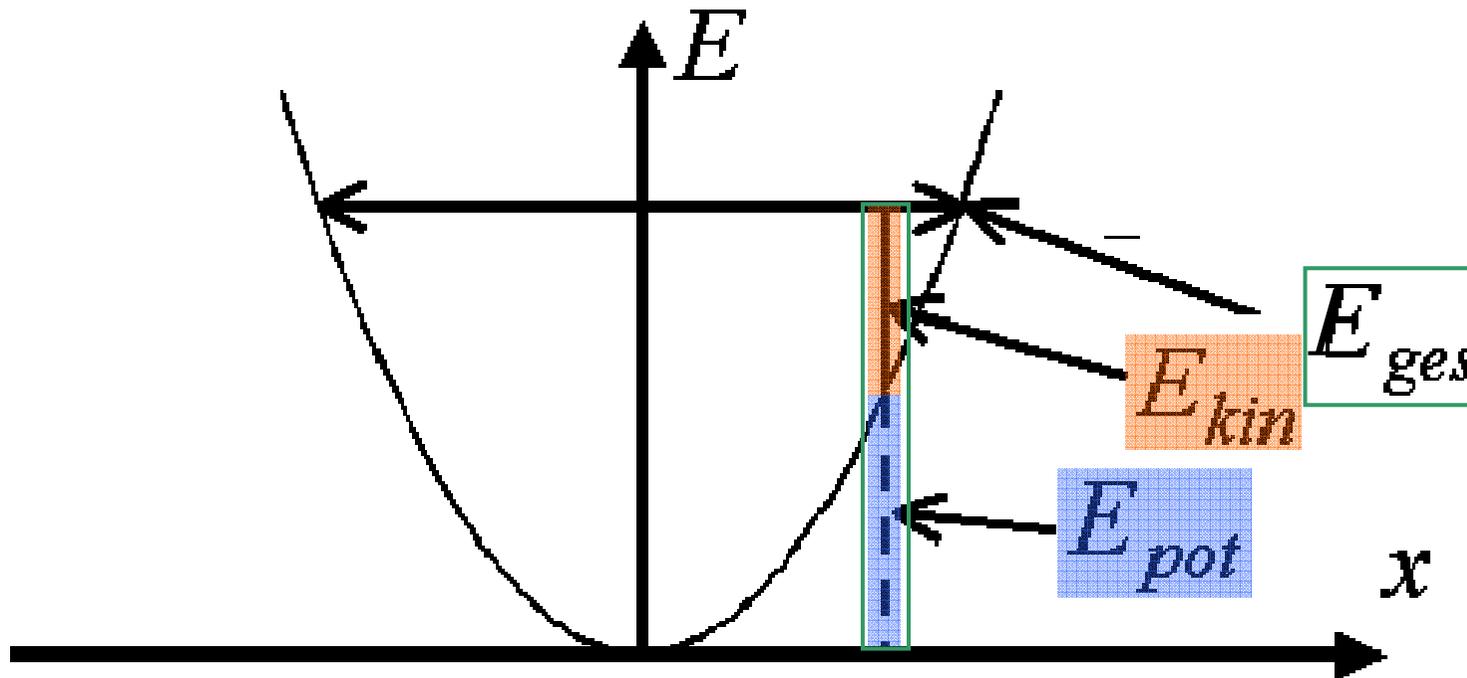
... bei Schall – „Schallschnelle“

= *Bewegungsgeschwindigkeit der Materieteilchen um ihr Schwingungszentrum* - zu unterscheiden von Schallgeschwindigkeit, mit der die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit bezeichnet wird!

Zusammenhang zwischen Schallschnelle, Geschwindigkeit und Position



Zusammenhang zwischen potentieller und kinetischer Energie



Vgl.: Schwingung des Fadenpendels

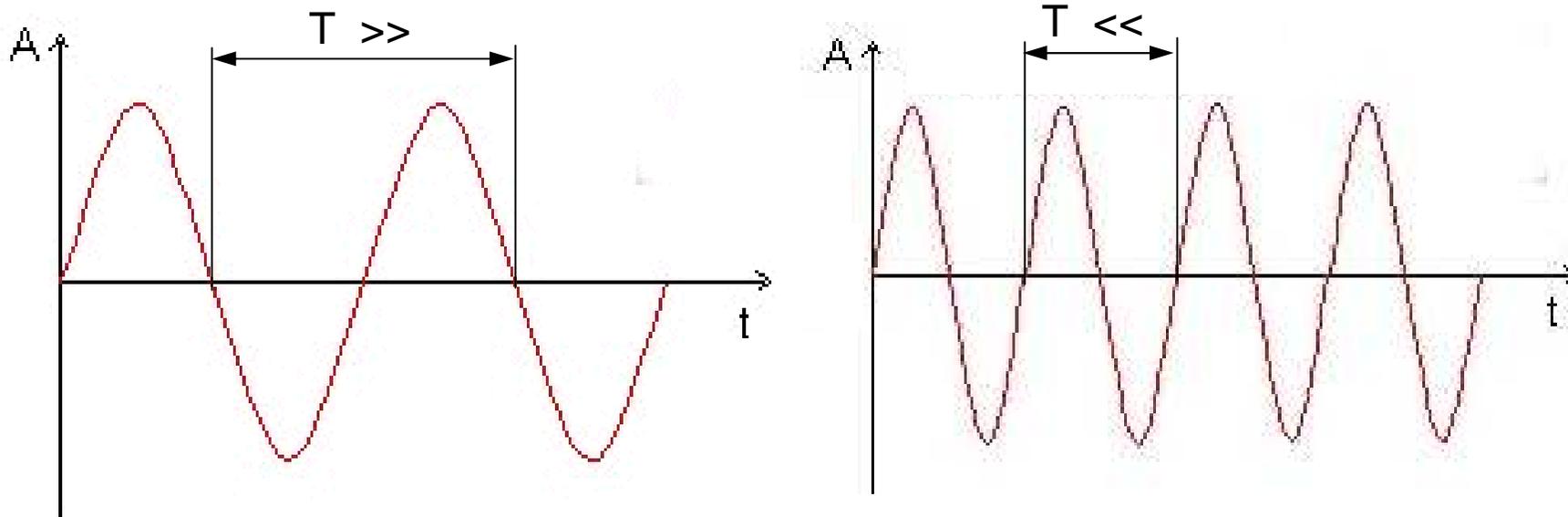
Quelle: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/video/Vorlesung1/Kapitel4/Vorl41.htm>

Bevor wir uns mit der Wellenausbreitung, die ja notwendig ist, damit eine ortsfeste Schwingung an anderer Stelle des Raumes wahrnehmbar ist, weiter beschäftigen, erneut zum Höreindruck, der in seinen Varianten noch weiterer Betrachtung bedarf.

Wenn wir den Hörer als ortsfest ansehen, ist der Weg der akustischen Welle von sekundärer Bedeutung und es genügt die Betrachtung der am Ohr auftretenden Schwingung.

Bisher haben wir nur ganz allgemein von einem Schalleindruck gesprochen, aber die Wahrnehmung ist ja viel differenzierter, wofür die Grundlagen noch zu untersuchen sind.

Eine wesentliche Unterscheidung, die unser Ohr sofort trifft ist die nach der Tonhöhe:



Welcher Ton klingt höher, links oder rechts, die langsamere, oder die schnellere Schwingung?

Quelle: <http://www.moz.ac.at/sem/lehre/lib/ks/lib/additive/akustik02a.htm.html>

Also bestimmt die Frequenz Tonhöhe! $f = T^{-1}$

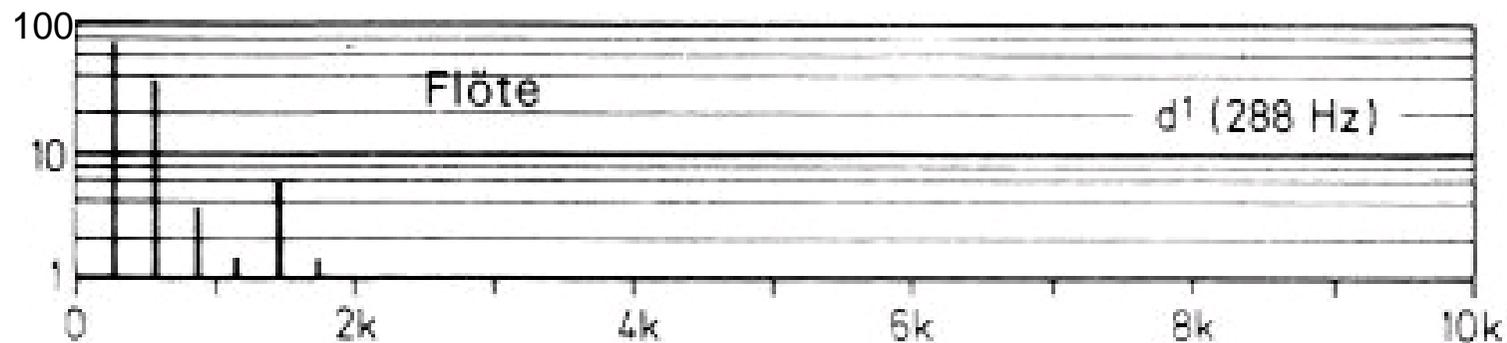


Wie ist der Verlauf der Tonhöhe der Stimmgabeln von links nach rechts?

Die Darstellung einer einzelnen harmonischen Sinusschwingung im Spektrum ist eine Linie bei der bestimmten Frequenz:



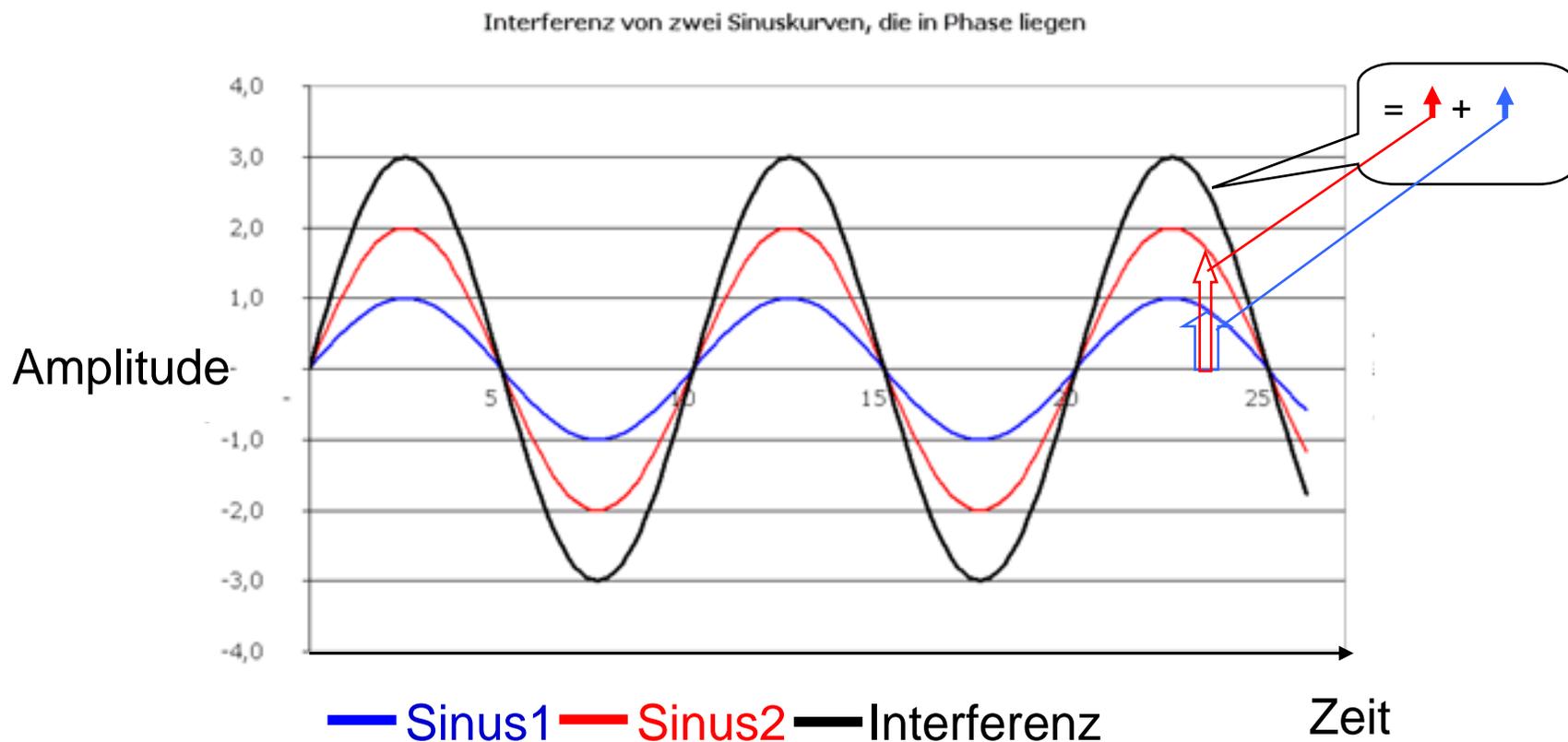
Treten mehrere Töne zugleich auf, so überlagern sich die Schwingungen und es entsteht ein Klang.



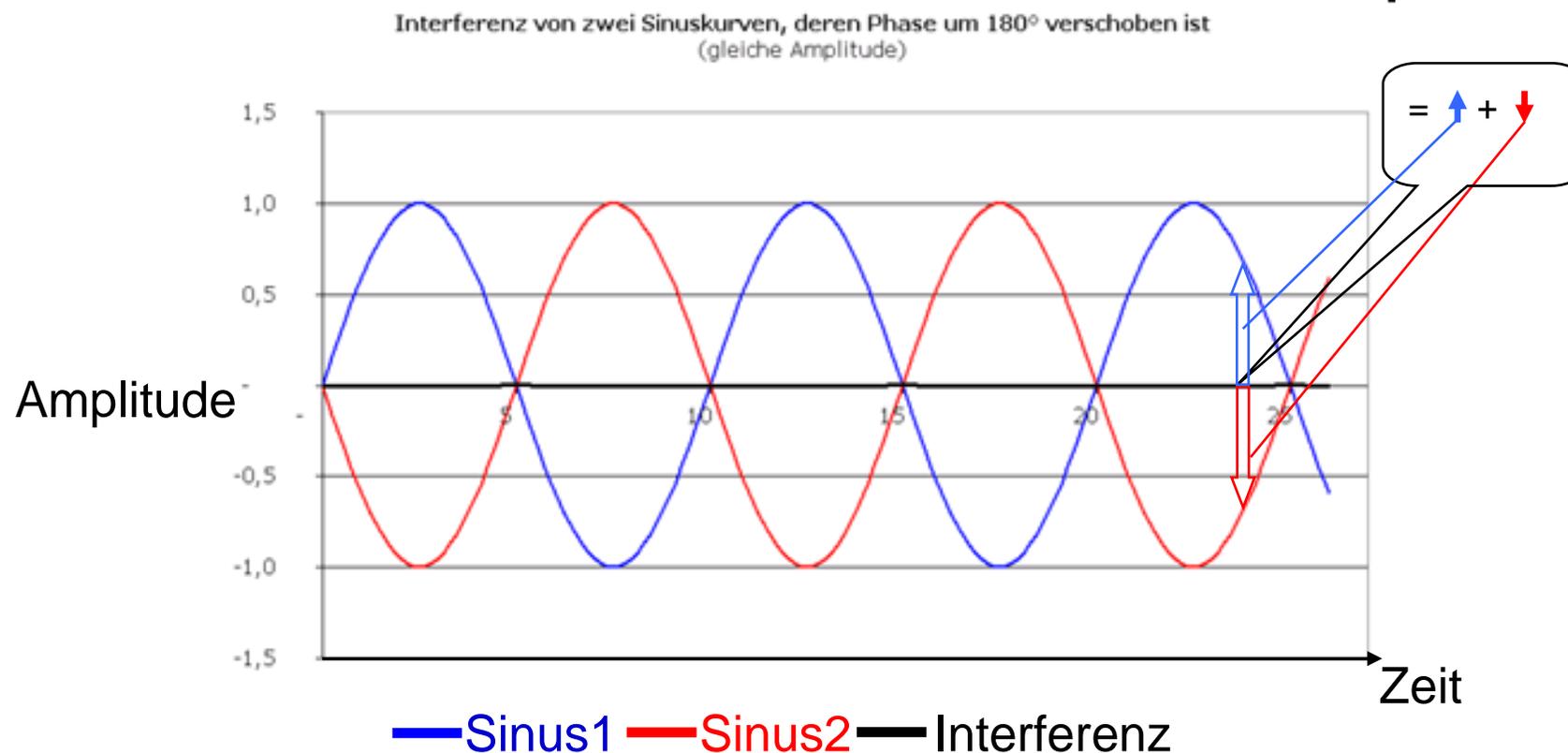
Darstellung der Töne (Grundschiwingung und harmonische Oberschwingungen)
im Spektrum

Quelle: <http://www.moz.ac.at/sem/lehre/lib/ks/lib/additive/akustik02a.htm.html>

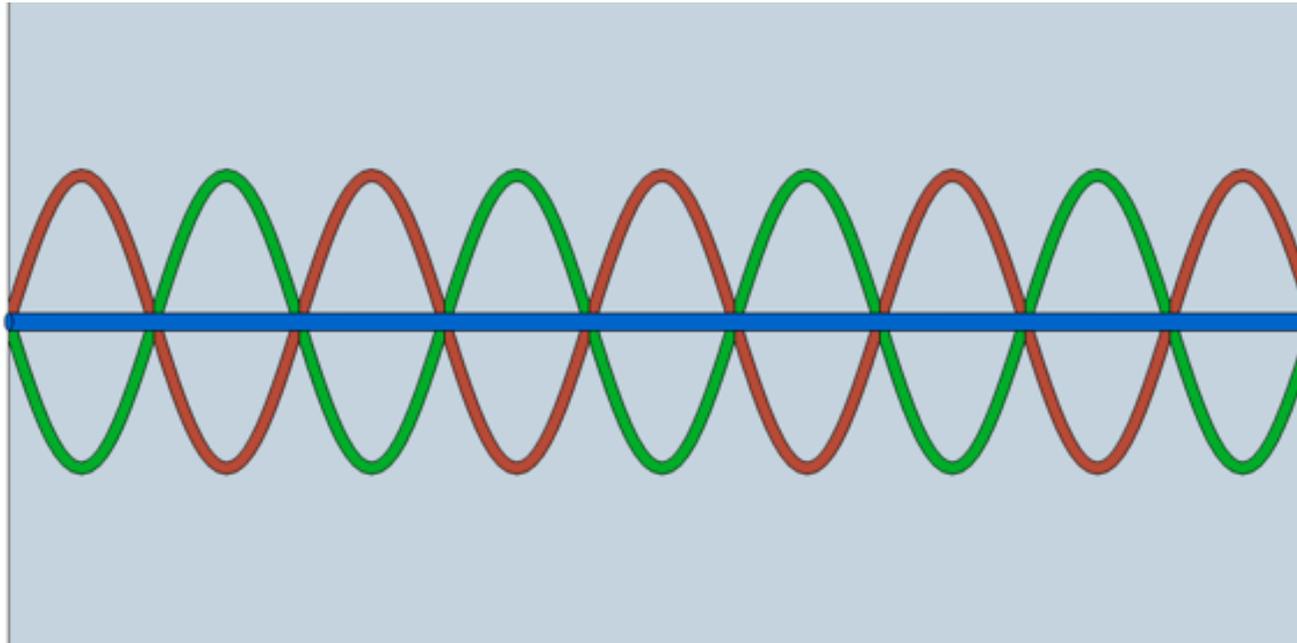
Schwingungsüberlagerungen, also Interferenzen können zu Resultaten führen, die die Schwingung verstärken (größere Amplitude bewirken ... konstruktive Interferenz),



..., oder die Ergebnisamplitude verkleinern bis auslöschen (destruktive Interferenz).

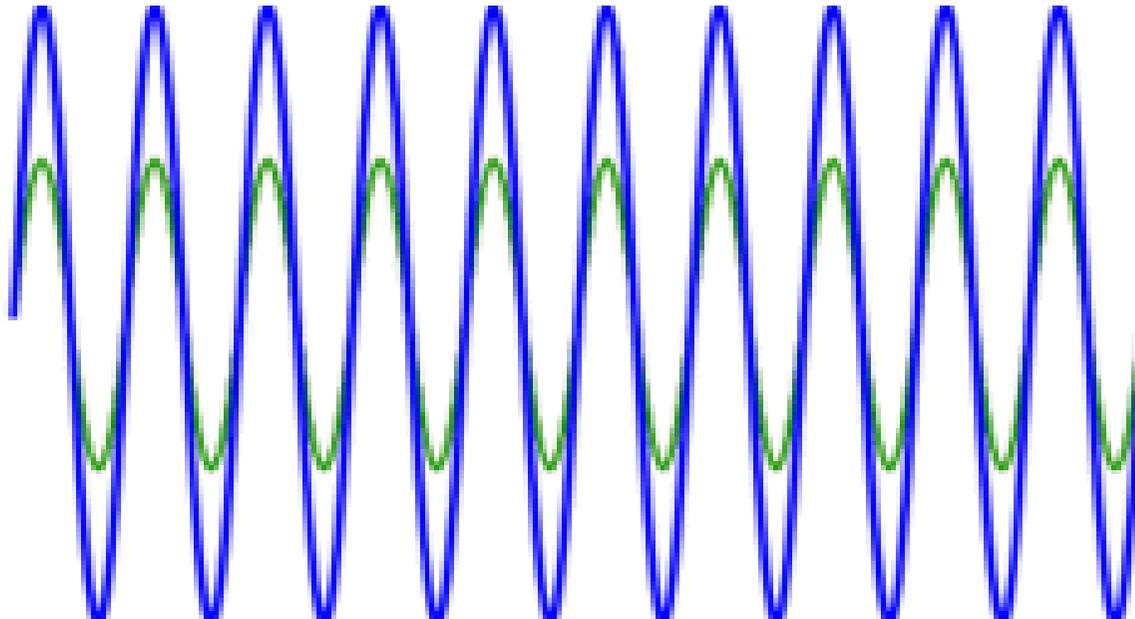


Interferenz (gegenläufiger Wellen)



Abwechselnd Verstärkung und Auslöschung

Zu einem speziellen Phänomen kommt es bei Interferenz zweier harmonischer Sinusschwingungen deren Frequenzen nahe aneinander liegen.



Hörbeispiel

$f_1 = 400 \text{ Hz}$

$f_2 = 401 \text{ Hz}$

Quelle: https://de.wikibooks.org/wiki/Physik_Oberstufe/_Schwingungen_und_Wellen/_Mechanische_Wellen

http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/psychoak/psych24.htm

zunächst f_1 , dann f_2 und schließlich beide gemeinsam

Zu einem speziellen Phänomen kommt es bei Interferenz zweier harmonischer Sinusschwingungen deren Frequenzen nahe aneinander liegen.

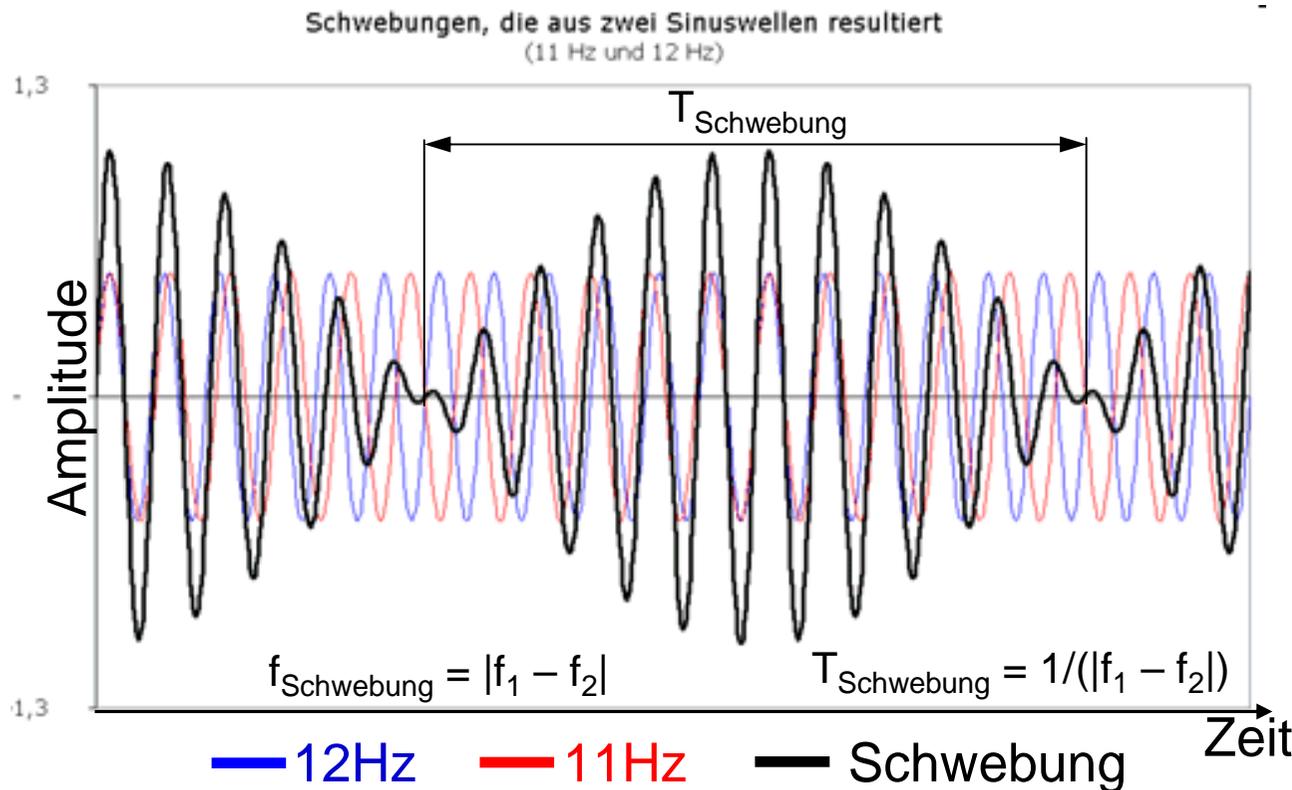
Dem menschlichen Ohr gelingt es nicht die zwei Frequenzen zu unterscheiden, sondern nur die Lautstärkenschwankungen wahrzunehmen.



Hörbeispiel

$f_1 = 400 \text{ Hz}$

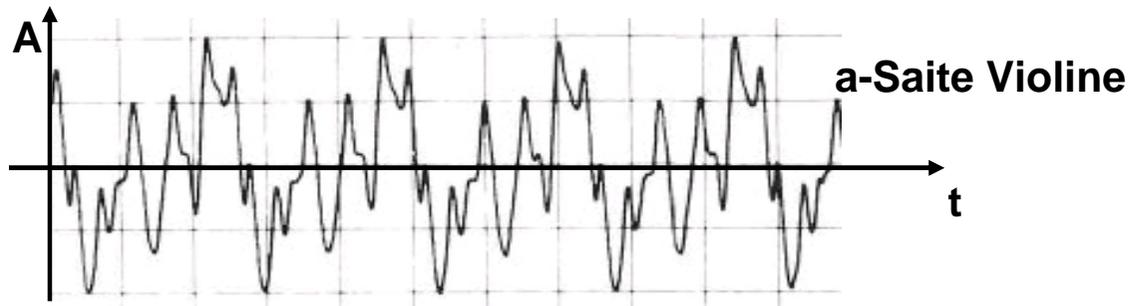
$f_2 = 401 \text{ Hz}$



Quelle: <http://www.fairaudio.de/hifi-lexikon-begriffe/interferenz.html>

http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/psychoak/psych24.htm

zunächst f_1 , dann f_2 und schließlich beide gemeinsam



Darstellung der Überlagerung im Amplituden-Zeitdiagramm

Schwingungen sind periodische Vorgänge, gehorchen also der Bedingung:

$$f(t_x) = f(t_x + T)$$

bzw. $f(t_x) = f(t_x + k \cdot T)$, wenn auch $t_x + k \cdot T$ zum Definitionsbereich gehören.

Das kleinste mögliche T ist die Periode.

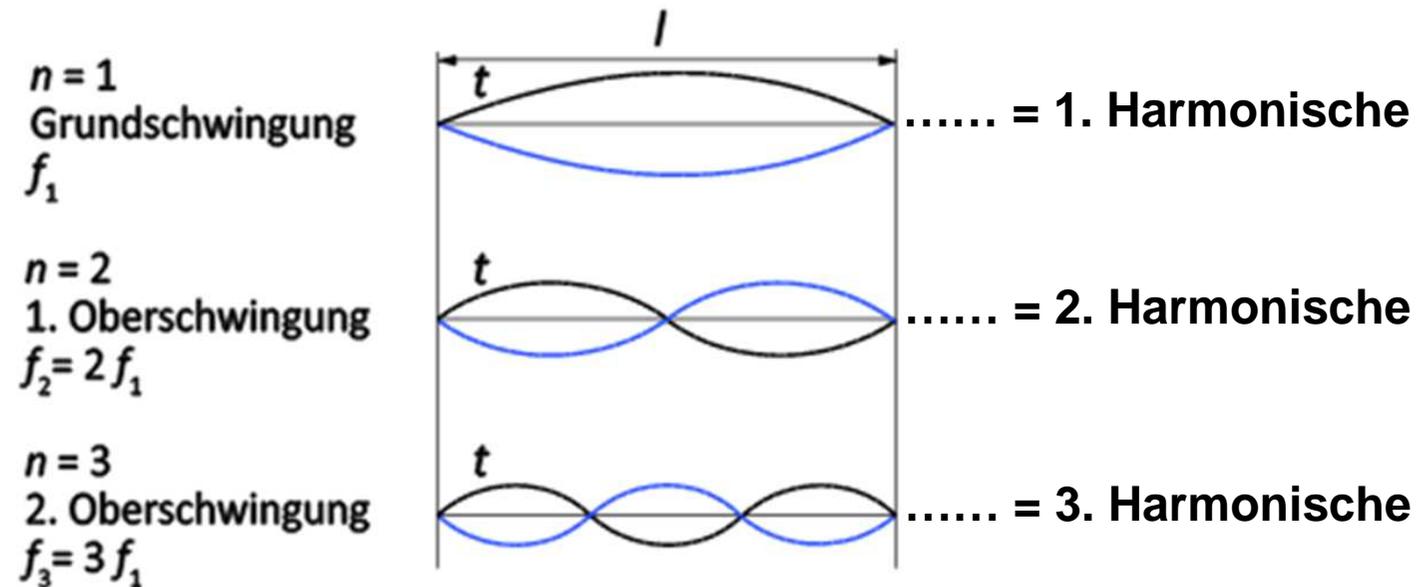
Der französische Mathematiker und Ingenieur Jean Baptiste Fourier (1768 bis 1830) konnte nachweisen, dass sich jeder Klang, sofern er nur periodisch ist, in eine Reihe von reinen Sinustönen zerlegen lässt.

Fourier'sche Reihenentwicklung - Sinusdarstellung

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \quad c_0 = a_0; \quad \varphi_k = \arctan \frac{a_k}{b_k};$$

$$f(t) = \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cdot \sin(k\omega_1 t + \varphi_k)$$

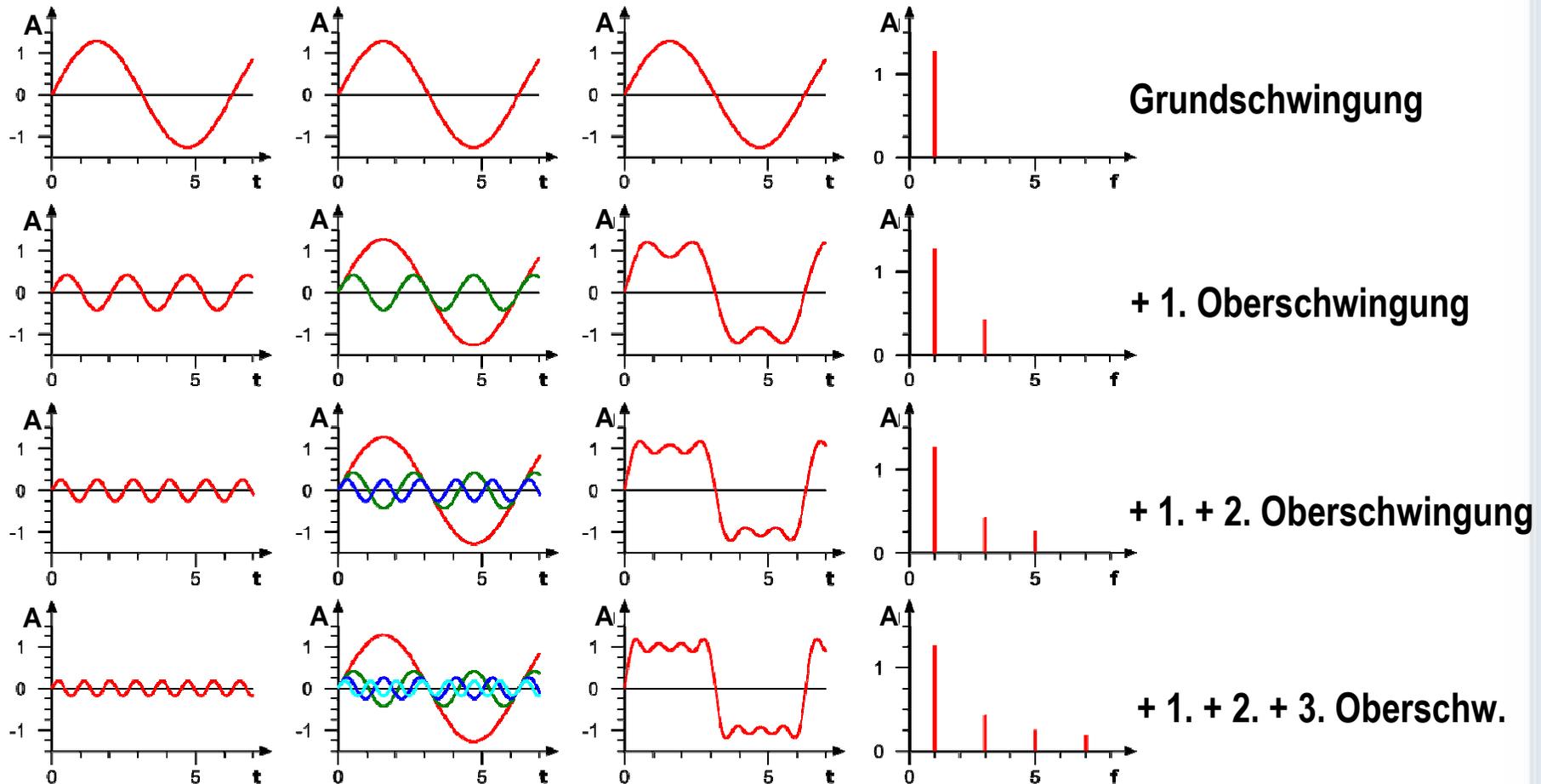
Schwingungen einer Saite (an beiden Seiten eingespannt – stehende Welle)



$(n - 1)_{te}$ Oberschiwingung = n_{te} Harmonische

$$f = n \cdot f_1, \lambda = \lambda_1 / n, \lambda_1 = 2 \cdot l, \dots \lambda_n = 2 \cdot l / n$$

Superposition von Sinusschwingungen



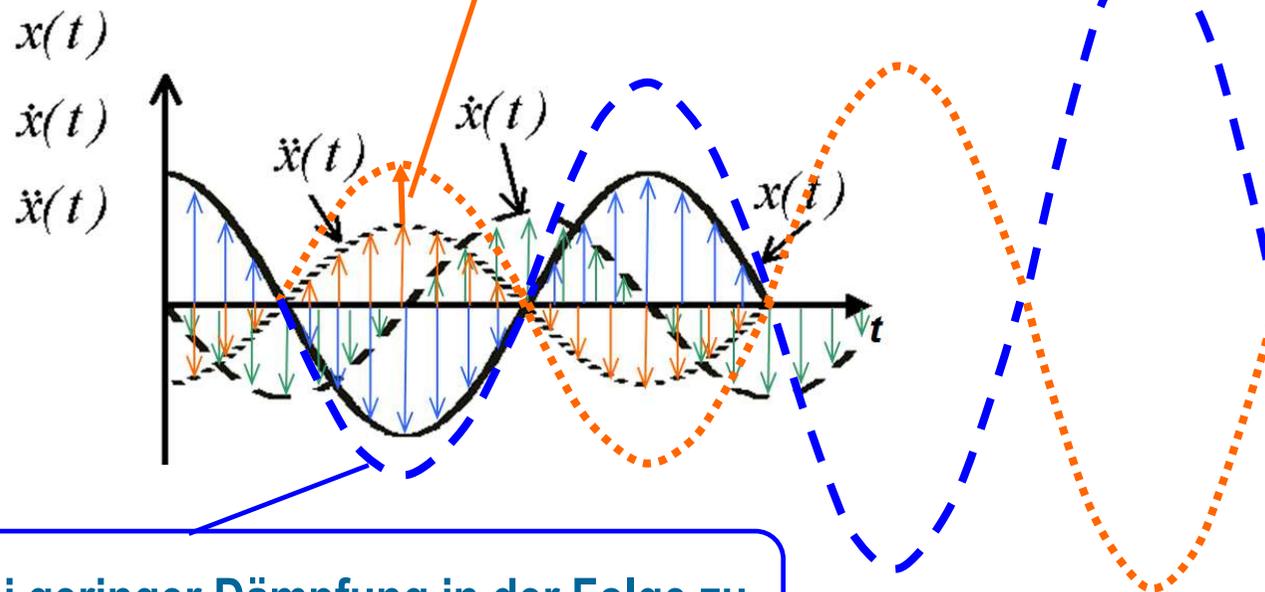
Neben der kurzfristigen periodischen Abfolge von konstruktiver und destruktiver Interferenz gibt es ein weiteres Schwingungsphänomen mit teilweise drastischen Auswirkungen.

Schwingfähige Systeme haben eine oder mehrere Eigenfrequenzen. Das sind solche Frequenzen mit denen sie nach einmaliger Anregung schwingen.

Es sind dies Frequenzen, bei denen, bedingt durch das Verhältnis der Massen und der beteiligten Rückstellkräfte, der Austausch von potentieller und kinetischer Energie besonders effizient erfolgt.

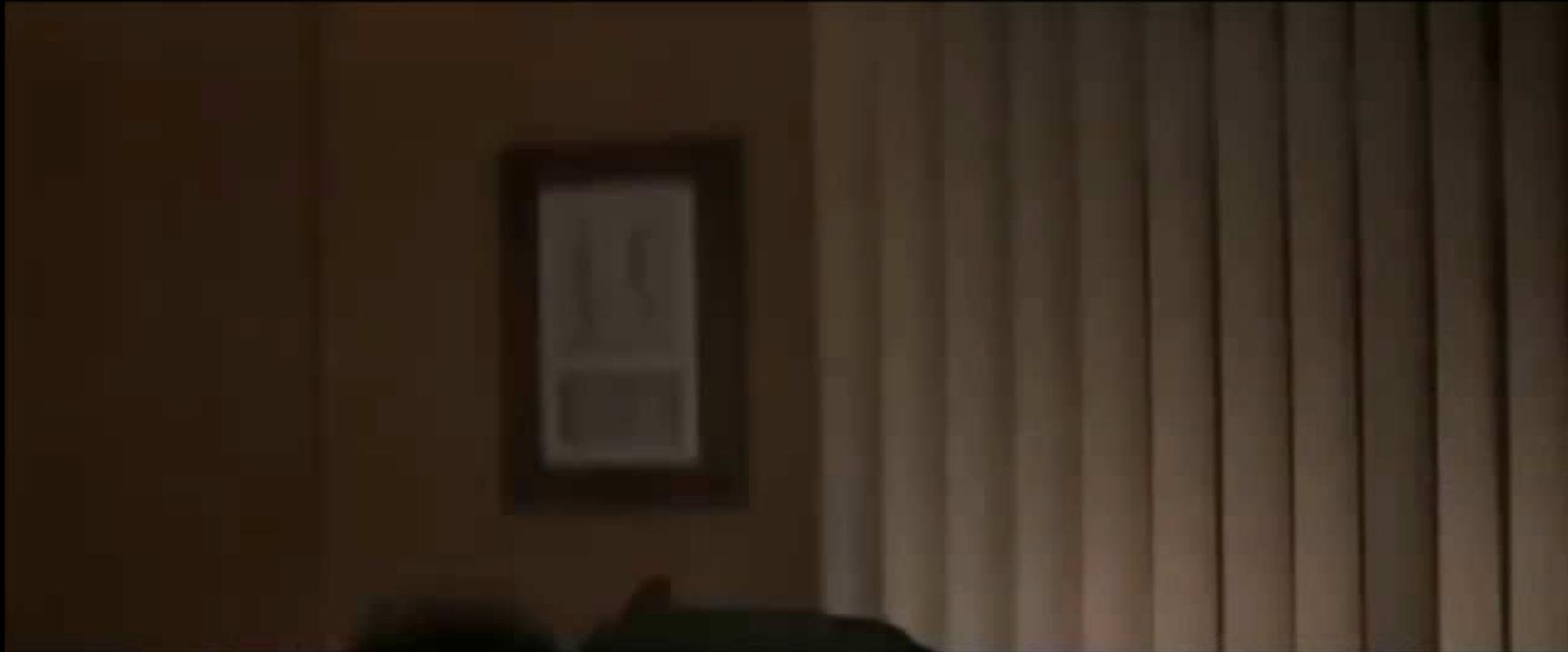
Wird ein System mit einer Eigenfrequenz angeregt bildet sich konstruktive Interferenz aus.

Da die Frequenz übereinstimmt, wird jeweils in Phasen der Beschleunigung, durch die anregende Schwingung erneut weitere Beschleunigung in gleicher Richtung eingebracht.



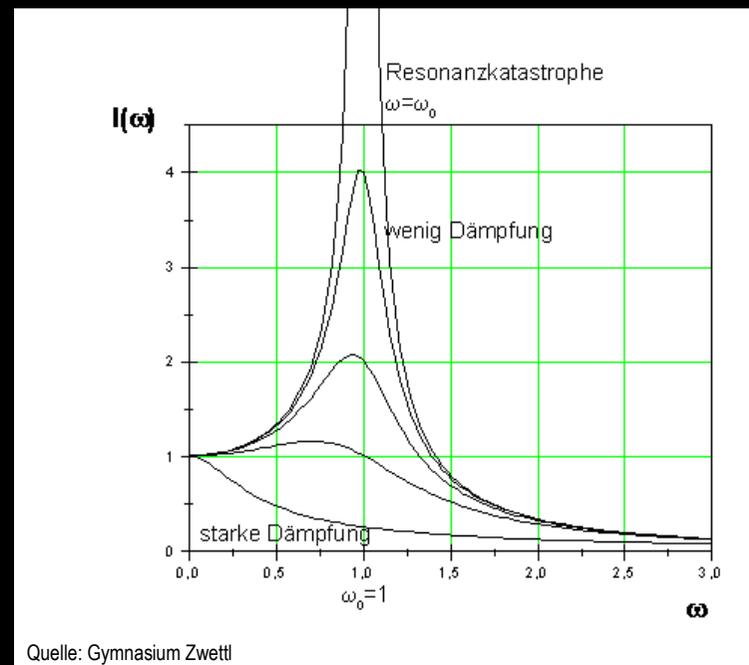
Das kann bei geringer Dämpfung in der Folge zu ansteigenden Schwingungsamplituden führen.

Interferenz



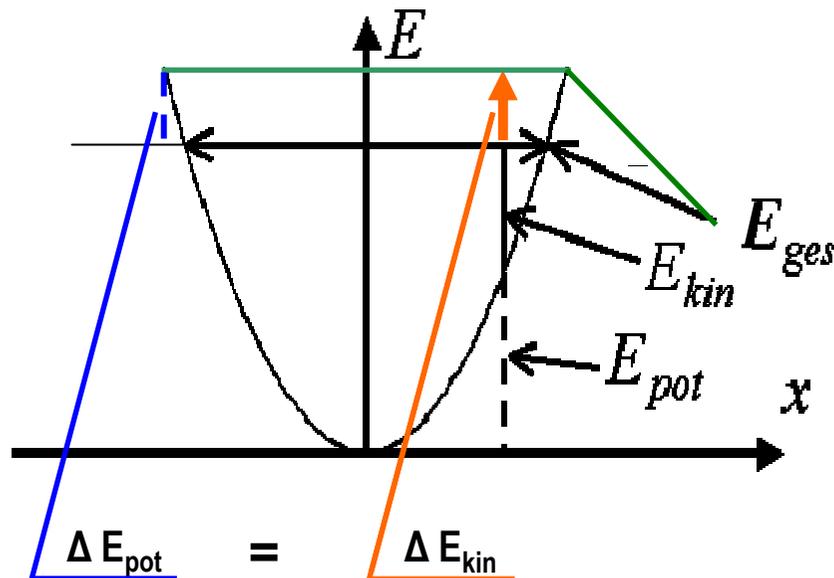
GADGET COUNT: 169

Resonanzkatastrophe



Interferenz

Ähnlich einleuchtend unterstreicht das die Betrachtung des Energiediagramms. Bei Einbringung zusätzlicher kinetischer Energie in Phase steigt die Gesamtenergie und damit auch die potentielle Energie, die sich wechselweise mit der kinetischen austauscht.

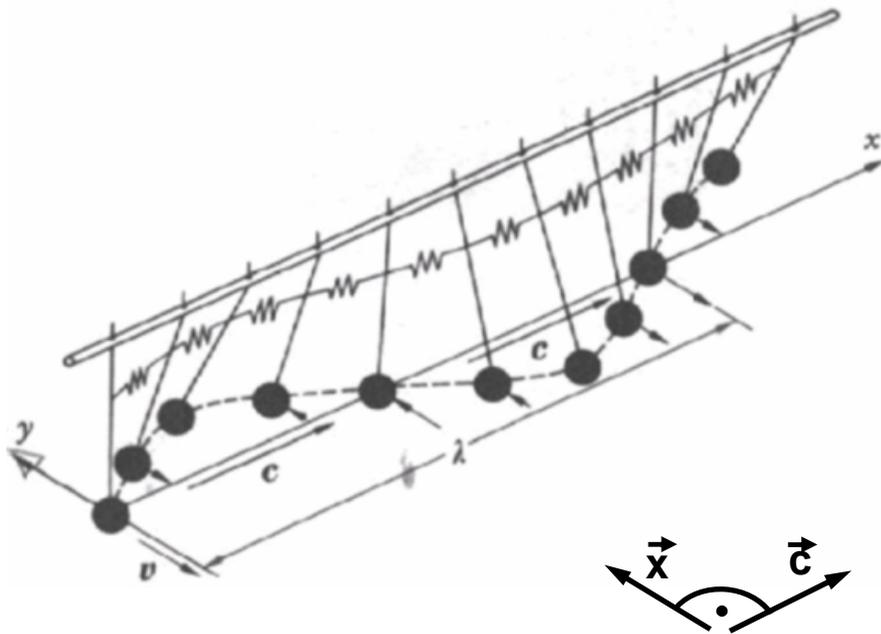


Das Auftreten dieser Umstände nennt man Resonanz. Sind im System nicht ausreichende Dämpfungen vorhanden, führt das zur Resonanzkatastrophe, die Bauteilversagen bedeutet.

Wellenausbreitung - transversal

Wellen unterscheiden sich von Schwingungen durch die zusätzliche räumliche Propagation.

Es lassen sich zwei verschiedene Arten unterscheiden:

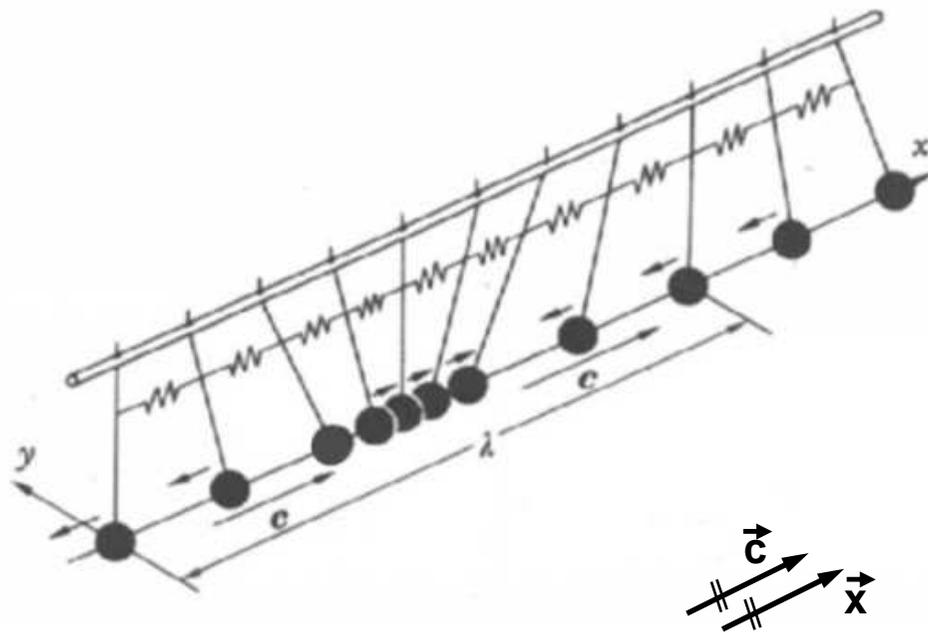


- Transversale Ausbreitung
- Schwingungsrichtung orthogonal zur Ausbreitungsrichtung
- Schubkräfte nötig, um der Auslenkung entgegenzuwirken
- Festkörper, oder Wasserwellen an der Oberfläche

Wellenausbreitung - longitudinal

Wellen unterscheiden sich von Schwingungen durch die zusätzliche räumliche Propagation.

Es lassen sich zwei verschiedene Arten unterscheiden:



- Longitudinale Ausbreitung
- Schwingungsrichtung in Ausbreitungsrichtung
- Elastische Rückstellkraft notwendig
- Schallwellen in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen

Quelle: magnet.atp.tuwien.ac.at/ts/fhpw/schwingungen4.pdf

Wellenausbreitung

Der grundsätzliche Schritt in der mathematischen Erfassung besteht darin, dass die Auslenkung nun nicht mehr nur von der Zeit abhängig ist $y(t)$, sondern auch noch vom Ort $y(t,x)$.

Wellengleichung: $y(t,x) = y_0 \cdot \sin(2\pi \cdot (t/T - x/\lambda))$

$$\lambda = c \cdot T$$

λ = Wellenlänge

Damit wird eine neue Größe wichtig – die Ausbreitungsgeschwindigkeit bzw. Phasengeschwindigkeit des Schalls c .

Wellenausbreitung

Einige Beispiele zur Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Medien:

Material	c [ms ⁻¹]	Material	c [ms ⁻¹]	Material	c [ms ⁻¹]
Blei	2160	Gold	3240	Meerwasser	1530
Eisen	5950	Holz	3300 - 5300	Sauerstoff	320
Kork gepresst	540	Kupfer	5010	Wasser	1500

Quelle: <http://de.wikibooks.org/wiki/Datei>

Wellenausbreitung

Eine entscheidende Frage für die Wellenausbreitung in Medien betrifft das Verhalten an Inhomogenitäten.

Diese umfassen Schichtungen unterschiedlicher Temperatur, oder Drucks, Phasengrenzen und Materialgrenzen.

Wellenausbreitung

Zur Anschauung betrachten wir eine Wellenauslenkung an einer Schnur. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit wird durch die elastischen Rückstellkräfte (Zug) der Schnur und die spezifische (auf die Längeneinheit bezogene) Massenträgheit selbiger bestimmt.



Wellenausbreitung - Reflexion

Trifft nun die Welle auf eine ideal harte Grenze, kommt es zu vollständiger Reflexion.



Da das Ende fixiert ist und keine Bewegung ausführen kann, wird nach dem dritten newtonschen Gesetz eine gleich große Kraft nach unten auf die Schnur ausgeübt und erzeugt eine gegenläufige Welle mit einer Phasenverschiebung von 180° .

Wellenausbreitung - Reflexion

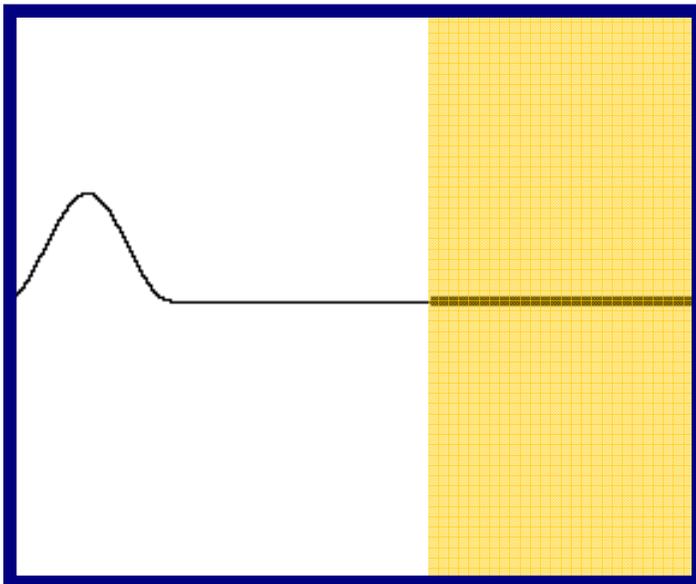
Anders, wenn das Ende frei ist, also ein Auftreffen auf einer ideal “weichen” Grenze vorliegt.



Hier kann das Schnurende die Schwingung unbehindert mitmachen und es wird von der Grenze keine vertikale Kraft übertragen. So hat die rücklaufende Welle keine Phasenverschiebung.

Wellenausbreitung – Reflexion/Transmission

Wenn wir uns von den idealisierten Vorstellungen in die Realität vorwagen, erkennen wir, daß immer eine Mischung der Eigenschaften der Grenze vorliegt.

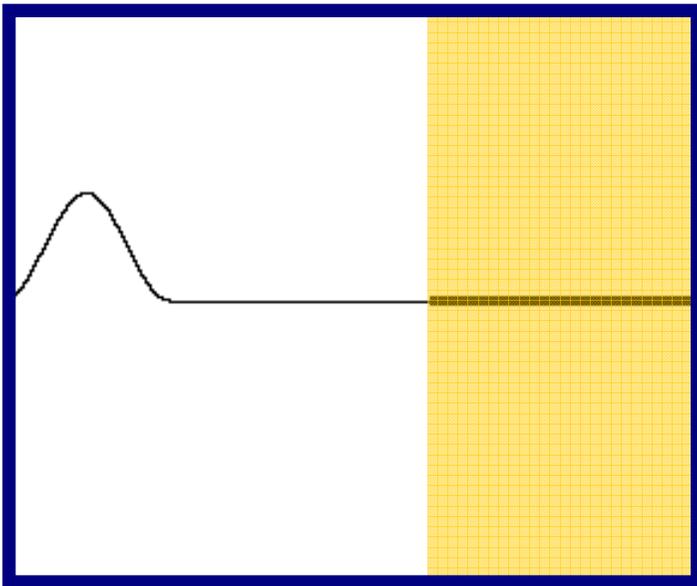


Somit kommt es immer zu einem Weiterlaufen eines Wellenanteils (Transmission) und zum Rücklauf des anderen Anteils (Reflexion).

Das Verhalten wird von den Materialeigenschaften, insbesondere den Ausbreitungsgeschwindigkeiten bestimmt.

Wellenausbreitung – Reflexion/Transmission

Der Übergang der Welle an der Grenzfläche von einem Medium in das andere muss stetig erfolgen.

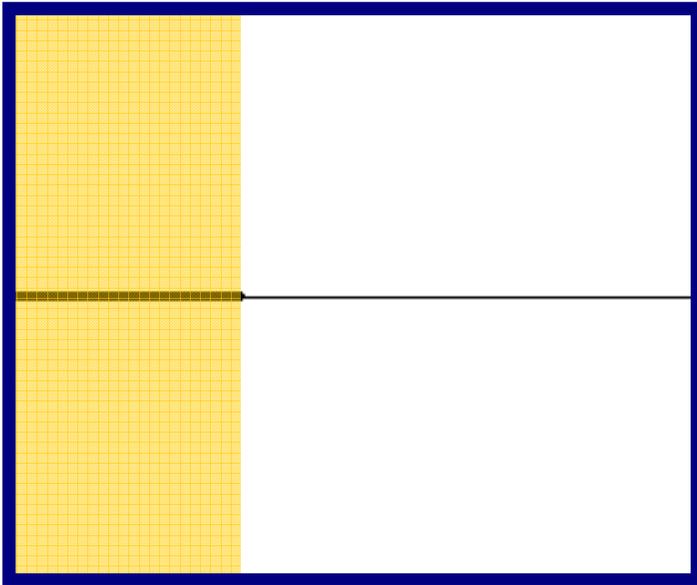


Die geringere Ausbreitungsgeschwindigkeit bietet der Welle einen höheren Widerstand, der als Impuls auf die herannahende Welle hindernd auf die Bewegung wirkt, derart einen Teil der Charakteristik eines fix eingespannten Seilendes nachbildet und so einen Phasensprung des reflektierten Anteils auslöst.

Beim Übergang zu geringerer Ausbreitungsgeschwindigkeit tritt Phasenverschiebung der reflektierten Welle zutage.

Wellenausbreitung – Reflexion/Transmission

Die Frequenz bleibt unbeeinflusst, aber die Ausbreitungsgeschwindigkeit des transmittierten Anteils ändert sich.



Die höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit bietet der Welle einen geringeren Widerstand. So wird der Bewegung der herannahenden Welle kein hindernder Impuls entgegengesetzt. Das Verhalten entspricht dem des freien Endes.

Im Realfall kommt zu den Phänomenen Reflexion und Transmission noch die Absorption hinzu.

Beim Übergang zu höherer Ausbreitungsgeschwindigkeit tritt keine Phasenverschiebung der reflektierten Welle auf.

Wellenausbreitung – Doppler-Effekt

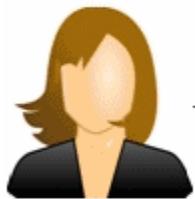


Der Dopplereffekt tritt auf, wenn eine Relativbewegung zwischen Schallquelle und Beobachter vorliegt. Er beschreibt die Ursache für die Wahrnehmung eines Frequenzunterschieds zwischen der ursächlichen Schwingung und der eintreffenden Wellenfrequenz.

Verringert sich der Abstand, erscheint die Frequenz höher - und umgekehrt.

Christian Andreas Doppler (* 29. November 1803 in Salzburg; † 17. März 1853 in Venedig) war ein österreichischer Mathematiker und Physiker.

Wellenausbreitung – Doppler-Effekt

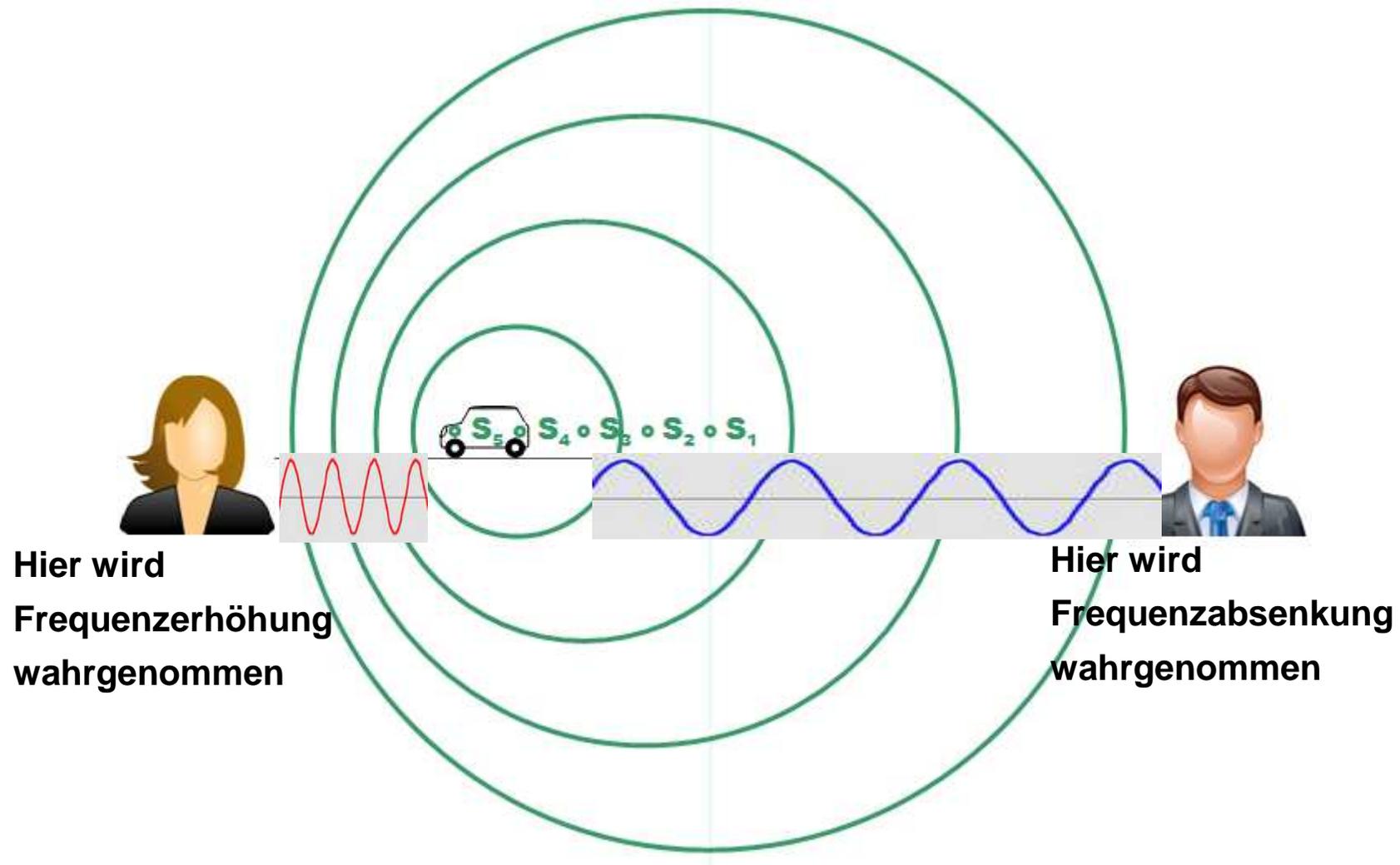


Wellenausbreitung – Doppler-Effekt

Der Effekt lässt sich genauso an Wellen im Wasser erkennen.



Wellenausbreitung – Doppler-Effekt



Hier wird
Frequenzerhöhung
wahrgenommen

Hier wird
Frequenzabsenkung
wahrgenommen

Wellenausbreitung – Doppler-Effekt

Von der Schallquelle wird eine bestimmte Frequenz f_S mit zugehöriger Wellenlänge λ_S abgestrahlt. Bei konstanter Distanz braucht die Welle eine gewisse Zeit den Beobachter zu erreichen, die Druckmaxima haben den gleichen Abstand - der der Wellenlänge entspricht. Also ist λ_B gleich λ_S (wobei der Index S für die Schallquelle und B für den Beobachter stehen) und entsprechend $f_S = f_B$.

Bewegt sich nun die Schallquelle auf den Beobachter zu, so hat das Druckmaximum, das nach einer vergangenen Periode der Schwingung abgestrahlt wird, einen kürzeren Weg zum Beobachter zurückzulegen. Und zwar um genau die Distanz, die die bewegte Schallquelle zwischenzeitlich zurückgelegt hat. Damit trifft sie früher dort ein, als der Quellfrequenz entspräche.

Wellenausbreitung – Doppler-Effekt

Betrachtung der zeitlichen Folge der Druckmaxima

$$d_1 = n \cdot T_S \cdot c \quad (n \text{ Wellenlängen des Senders})$$

$$d_2 = \underbrace{(n-1) \cdot T_S \cdot c}_{d_{2c} \text{ Schall}} + \underbrace{v \cdot T_S}_{d_{2v} \text{ Auto}}$$

Weganteil

$$\Delta d_{1,d_2} = d_1 - d_2 = T_S \cdot c - T_S \cdot v$$

$$T_B \cdot c = T_S \cdot (c - v)$$

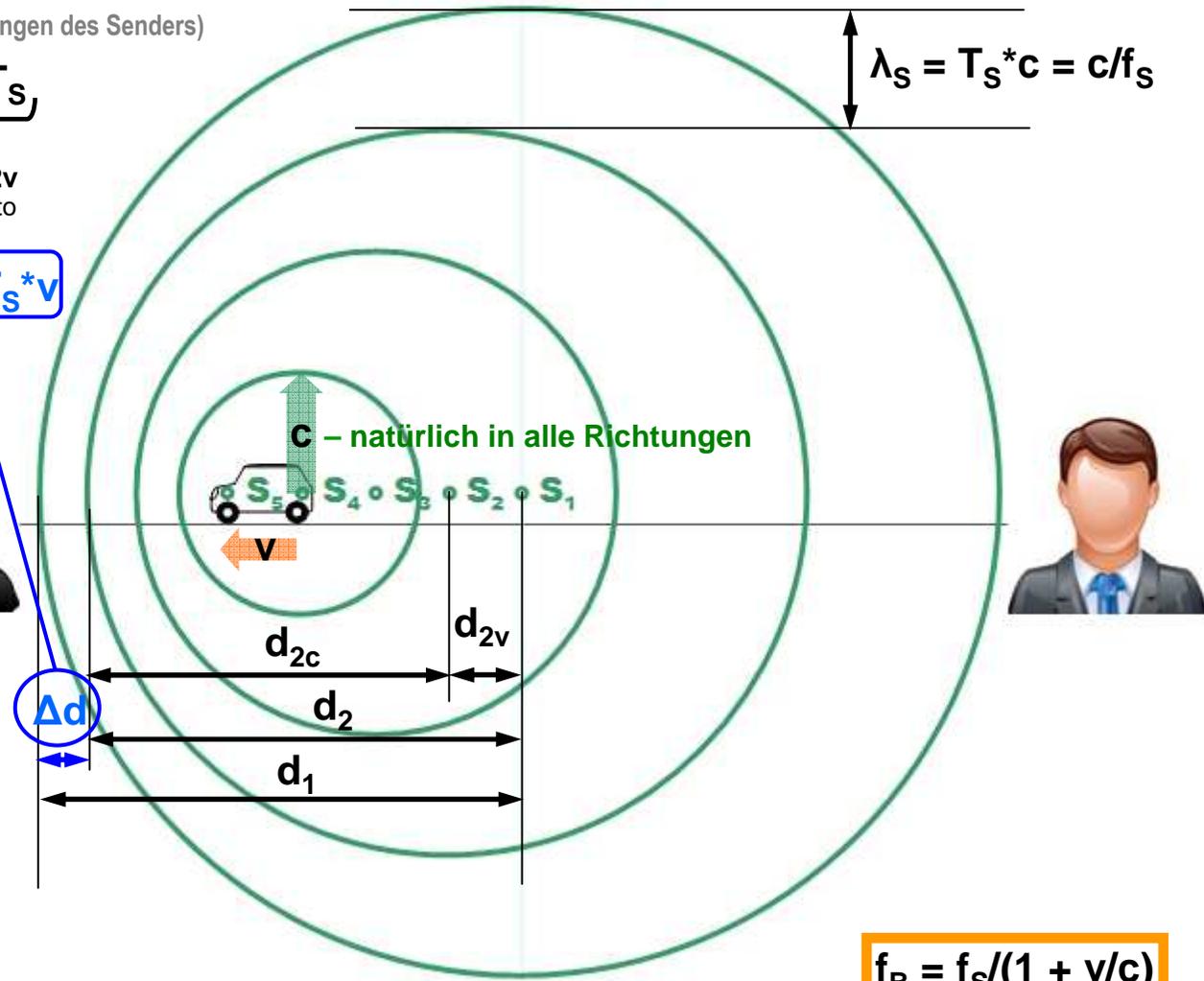
Wellenlängeneindruck
bei der Beobachterin

$$T_B = T_S \cdot (c - v) / c$$

$$T_B = T_S \cdot (1 - v/c)$$

$$f = 1/T$$

$$f_B = f_S / (1 - v/c)$$



$$f_B = f_S / (1 + v/c)$$

T ... Periodendauer

Wellenausbreitung – Doppler-Effekt

Die bewegte Beobachterin legt in der Zeit T_B bis zum Eintreffen des folgenden Druckmaximums den Weg d zurück.

$$\lambda_S = \lambda_B + d$$



$$T_S \cdot c = T_B \cdot c + T_B \cdot v$$

Wellenlängeindruck bei der Beobachterin



v

$$T_B = T_S \cdot c / (c + v)$$

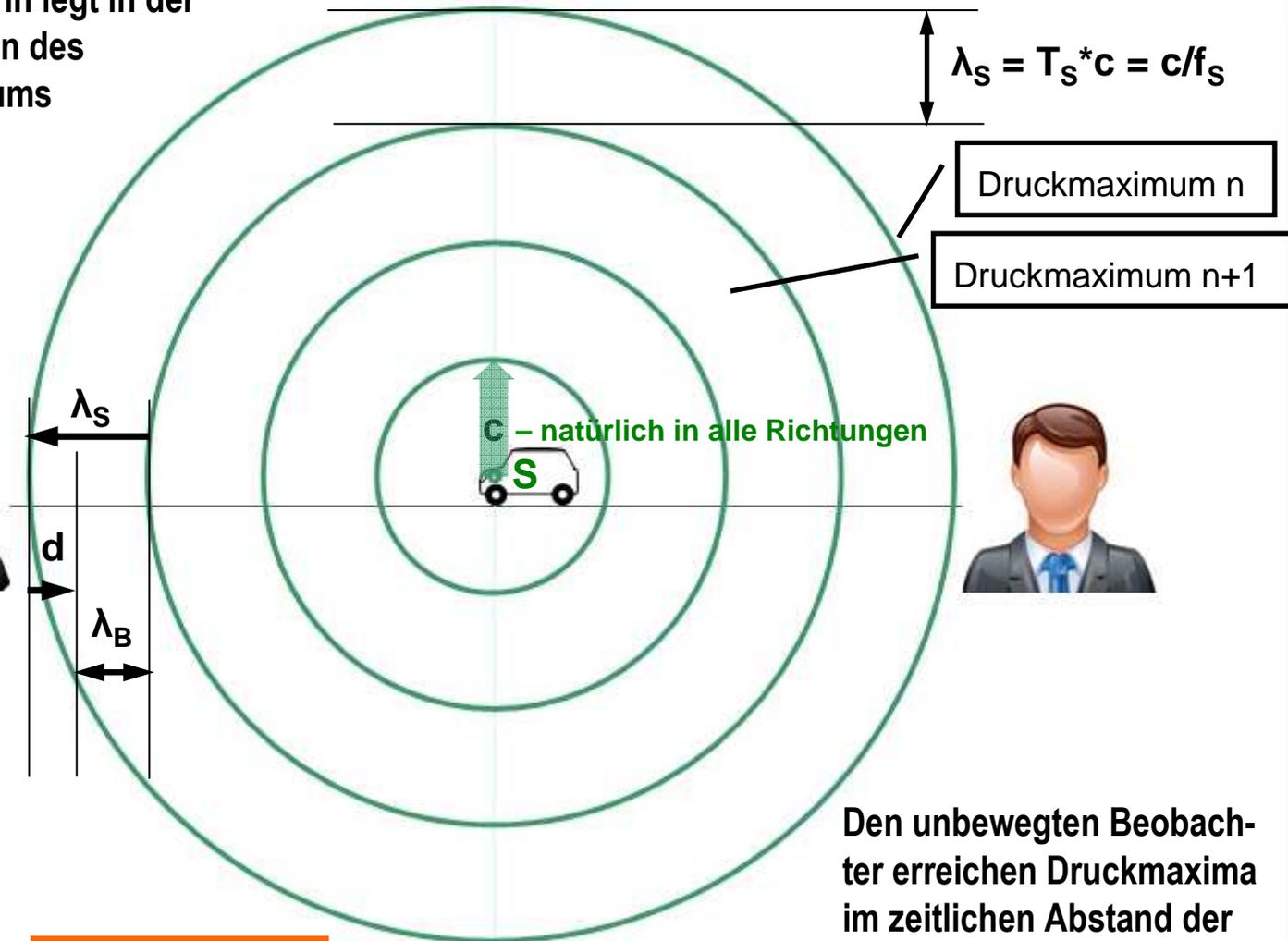
$$T_B = T_S / (1 + v/c)$$

$$f = 1/T$$

$$f_B = f_S \cdot (1 + v/c) \text{ bzw. } f_B = f_S \cdot (1 - v/c)$$

Annäherung

Entfernung



Den unbewegten Beobachter erreichen Druckmaxima im zeitlichen Abstand der Periodendauer T mit der Frequenz des Senders f_S .

Wellenausbreitung – Doppler-Effekt

So gilt, wie hergeleitet für:

bewegte Schallquelle:

$$f_B = f_S / (1 - v/c)$$

für den Fall der Annäherung

und

$$f_B = f_S / (1 + v/c)$$

für den Fall der Distanzvergrößerung

bewegten Beobachter:

$$f_B = f_S^* (1 + v/c)$$

für den Fall der Annäherung

und

$$f_B = f_S^* (1 - v/c)$$

für den Fall der Distanzvergrößerung

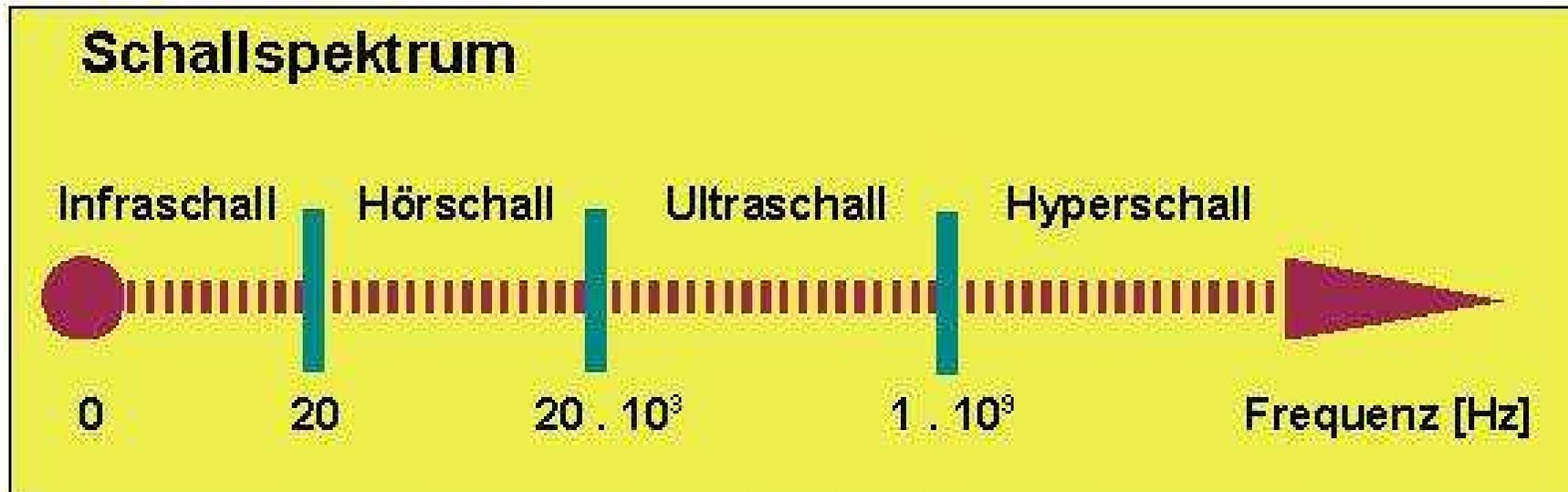
Eine etwaige Bewegung des Mediums, in dem sich der Schall ausbreitet ist natürlich gesondert zu berücksichtigen.

Wellenausbreitung – Doppler-Effekt

Damit lässt sich aus gemessener Frequenzverschiebung und bekannter Schallgeschwindigkeit im betreffenden Medium die Bewegungsgeschwindigkeit ermitteln.

Anwendung in der Doppler-Sonographie z. B. in der Medizin zur Darstellung der Blutflußgeschwindigkeiten in Gefäßen.

Schallspektrum und wichtige Einsatzgebiete:

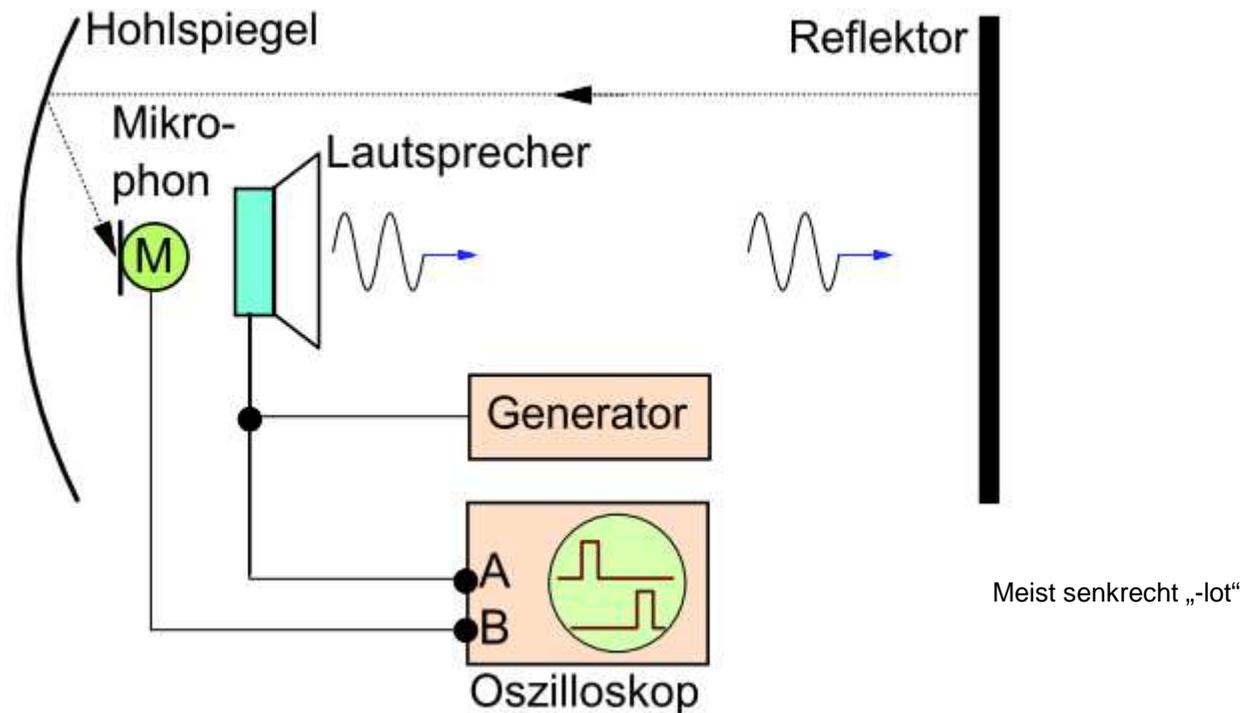


Infraschall: Weltweite Überwachung von Atomversuchen

Hörschall: Kommunikation, Musik, Wahrnehmungsbereich für unterschiedliche Lebewesen sehr verschieden

Ultraschall findet in der Technik und Medizin diverse Anwendungen (*Vorteil ... aus dem Hörbereich herausverlegt*):

Echolot ...



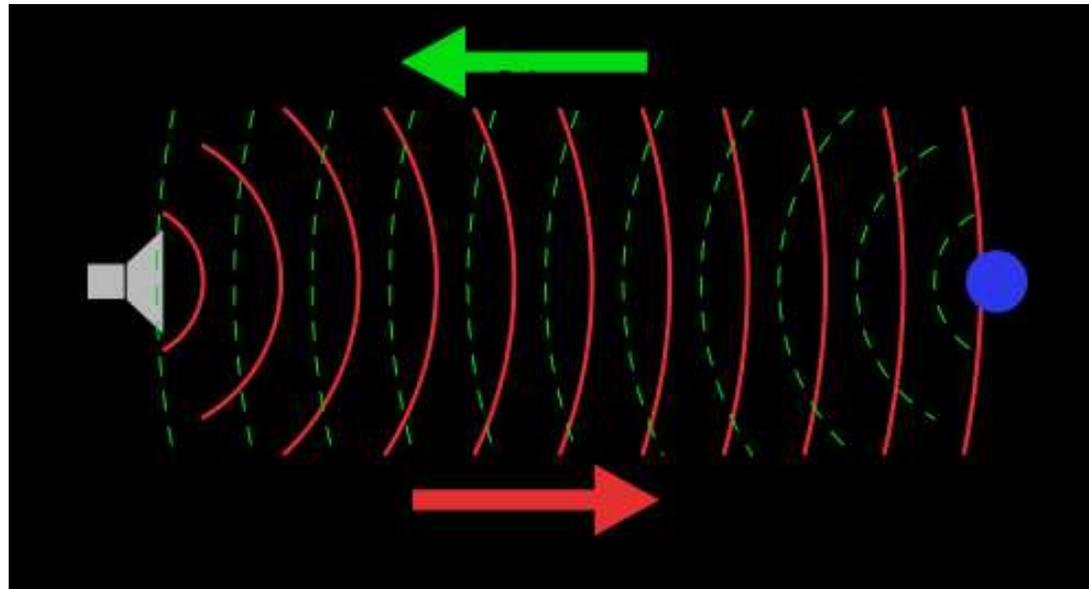
Prinzip des Echolotverfahrens

Ein Lautsprecher strahlt kurze Sinuspakete der Grundfrequenz 4 kHz ab, die in einem Kanal des Oszilloskops dargestellt werden. Das an einem Hindernis reflektierte Signal wird über einen Hohlspiegel in Richtung eines Detektormikrofons gebündelt, dessen Ausgang auf einem zweiten Kanal des Oszilloskops zur Darstellung gelangt. Aus der Zeitdifferenz der Signale lässt sich die zurückgelegte Streckenlänge berechnen.

Quelle: R. GROSS UND A. MARX

Sonar ...

Verfahren zur Ortung von Gegenständen im Raum und unter Wasser mit Hilfe ausgesandter Schallimpulse.



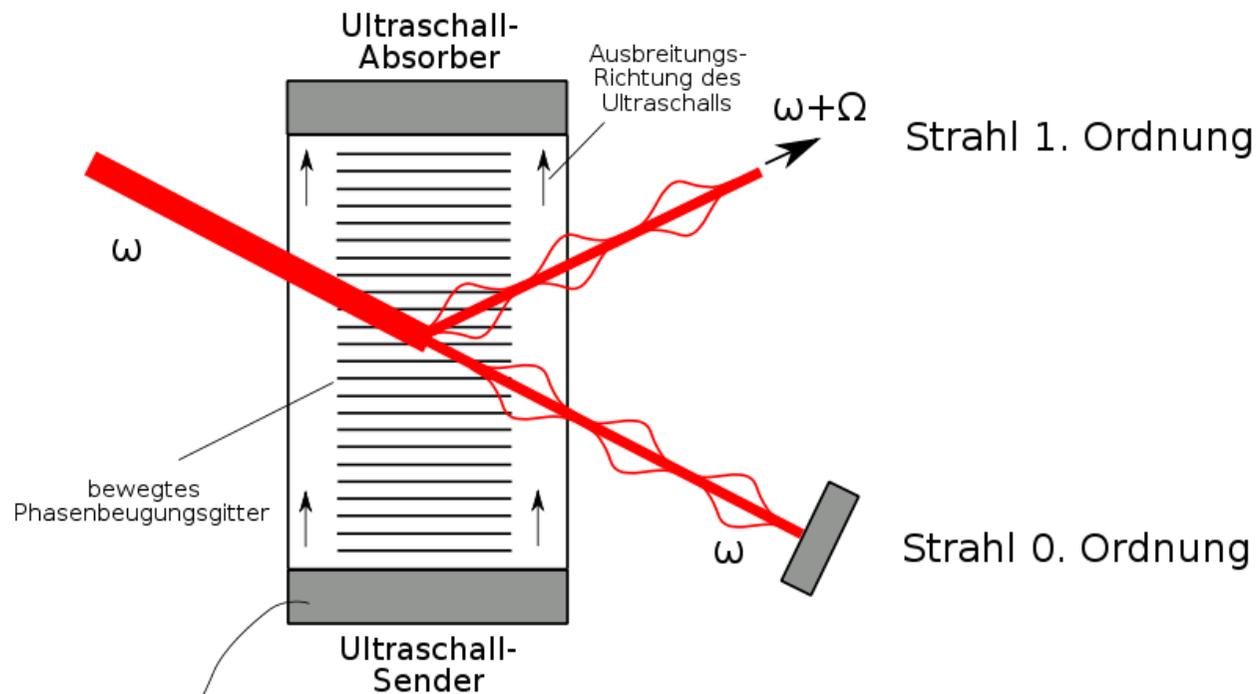
Meist waagrecht

Sound Navigation And Ranging nutzen die Tatsache, daß sich Schall unter Wasser insbesondere bei hohen Frequenzen sehr viel verlustärmer ausbreitet als in der Luft.

Man unterscheidet aktives Sonar, wenn Schallwellen ausgesendet und die Reflexionen ausgewertet und passives wenn die Wellen einer Schallquelle direkt verarbeitet werden

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonar>

Akustooptische Modulatoren in Lasern



Hochfrequenz-Generator
 Festfrequenz (Ω)
 Amplitudenmoduliert (AM)

**... Beeinflussung des Lichts in
 Frequenz, Ausbreitungsrichtung
 und/oder Intensität.**

Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Akustooptischer_Modulator

Akustik



Ende heutige VO

Übungsaufgabe Nr. 13 (Kinematik) Lösung



Lösung:

$$P = W/t = F \cdot \underline{s/t} = \dots = F \cdot v = \dots = \frac{1}{2} c_w \cdot \underline{\rho} \cdot A \cdot v^2 \cdot v$$

(mit $s/t = v$)

(mit $F_L = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2$)



$$v^3 = 2 \cdot P / (c_w \cdot \rho \cdot A)$$

$$v = \sqrt[3]{2 \cdot P / (c_w \cdot \rho \cdot A)}$$

$$v = \sqrt[3]{2 \cdot 200 \text{ W} / (0,75 \cdot 1,184 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m}^2)}$$

$$v = \sqrt[3]{400 \text{ kgm}^2/\text{s}^3 / 0,444 \text{ kg/m}} = 9,658 \text{ m/s}$$

$$v = 34,77 \text{ km/h}$$

Übungsaufgabe Nr. 14 (Kinematik) Lösung

Lösung:

$m = 80 \text{ kg}$, $A = 0,5 \text{ m}^2$ ($c_w \sim 0,75$), ($h = 300 \text{ m}$), Steigung von 10%, $\rho_{\text{Luft}} = 1,184 \text{ kg/m}^3$, $P = 200 \text{ Watt}$

Mit $P = W/t$ ergibt sich für die Zeit $t = W/P$
 Die Kraft, gegen die man Arbeit zu leisten hat, setzt sich aus einem Anteil der Schwerkraft gegen die Fahrtrichtung und dem Luftwiderstand zusammen und wirkt über die gesamte Streckenlänge.



$$W = (F_G + F_L) \cdot s$$

$$t = W/P = (F_G + F_L) \cdot s / P = (0,1 \cdot mg + \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2) \cdot s / P$$

$$t = (0,1 \cdot mg + \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot s^2 / t^2) \cdot s / P$$

$$2 \cdot t^3 = (2 \cdot 0,1 \cdot m \cdot g \cdot t^2 + c_w \cdot \rho \cdot A \cdot s^2) \cdot s / P \quad \text{für } s = 10 \cdot h$$

$$2 \cdot t^3 = (20 \cdot h \cdot 0,1 \cdot m \cdot g \cdot t^2) / P + (c_w \cdot \rho \cdot A \cdot 1000 \cdot h^3) / P \quad | :2$$

$$t^3 = t^2 \cdot m \cdot g \cdot h / P + c_w \cdot \rho \cdot A \cdot 500 \cdot h^3 / P$$

$$t^3 s^3 - t^2 (80 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 300 \text{ m} / 200 \text{ W}) -$$

$$0,75 \cdot 1,184 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,5 \text{ m}^2 \cdot 500 \cdot 2700000 \text{ m}^3 / 200 \text{ W} = 0$$

$$t^3 s^3 - t^2 s^2 \cdot 1177,2 \text{ s} - 29970000 \text{ s}^3 = 0$$

$$t = 1198 \text{ s} = 19 \text{ min } 58 \text{ s}$$

Steigung 10% ... $\tan \alpha = 0,1$

$$F_G = m \cdot g \cdot \sin(\arctan 0,1) = m \cdot g \cdot 0,1 / \sqrt{1 + 0,1^2} \sim 0,1 m \cdot g$$

$h \sim 0,1 s \dots s \sim 10 h$
Für kleine Winkel $\sin \sim \tan$

Quelle: <http://www.amdt-bruenner.de/mathe/scripts/polynome.htm>

Übungsaufgabe Nr. 15 (Kinematik) Lösung

Lösung:

$$\begin{array}{ll} \text{Energieerhaltung} & E_{\text{potStart}} = m \cdot g \cdot h & E_{\text{kinStart}} = 0 \\ & E_{\text{potEnd}} = 0 & E_{\text{kinEnd}} = m \cdot v_E^2 / 2 \end{array}$$

$$E_{\text{Start}} = E_{\text{End}} + U$$

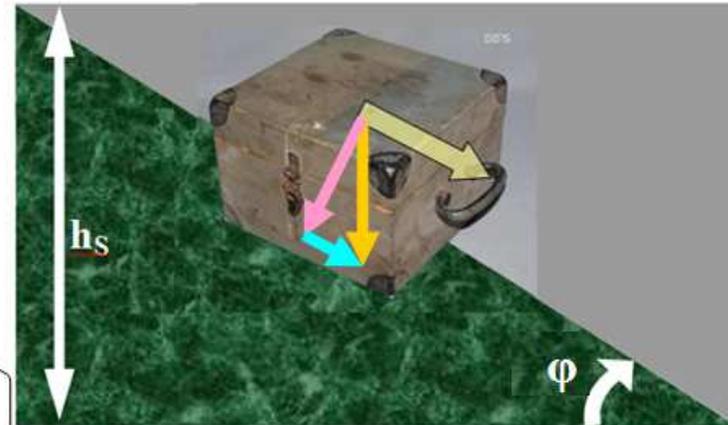
Reibarbeit

$$U = E_{\text{Start}} - E_{\text{End}} = m \cdot g \cdot \cos\varphi \cdot \mu_{\text{HG}} \cdot h_s / \sin\varphi$$

Kraft orthogonal auf Unterlage

Weglänge

Reibkraft



$$10 \cdot 5 - 2^2 / 2 = 10 \cdot \cos\varphi \cdot 0,3 \cdot 5 / \sin\varphi$$

$$48 = 15 \cdot \cos\varphi / \sin\varphi$$

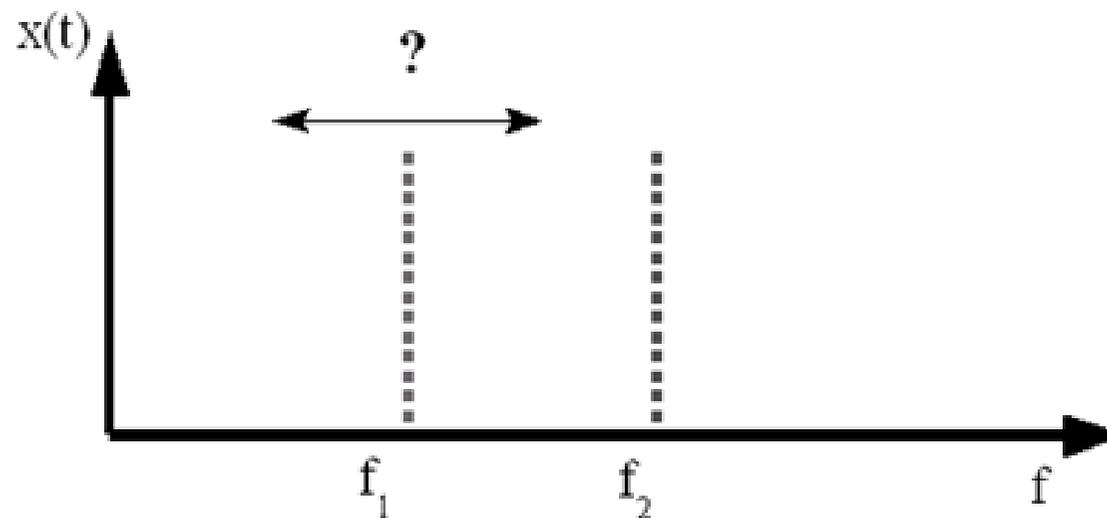
$$\cot\varphi = 3,2$$

$$\varphi = \arctan(1/3,2) = 0,303 \text{ rad} = 17,354^\circ$$

Übungsaufgabe Nr. 16 (Akustik)

Übungsbeispiel:

- Skizzieren Sie den Fall einer Schwebung aus Sinusschwingungen in Amplituden – Zeit-Diagrammen (zunächst einzeln und dann das Interferenzbild) und benennen und beschreiben Sie die Charakteristika, die eine Schwebung ausmachen.
- In nachfolgendem Amplituden – Frequenz-Diagramm sind zwei Frequenzen eingetragen. In welche Richtung würden Sie f_1 verschieben, um eine geringere Schwebungsfrequenz zu erhalten?



Übungsaufgabe Nr. 17 (Akustik)

Übungsbeispiel: Messung der Blutflussgeschwindigkeit

Bei einer Messung der Blutflussgeschwindigkeit in einem Blutgefäß mittels Doppler Sonographie messen Sie am Empfänger eine Frequenz von $f_E = 14,998$ MHz.

Die Sendefrequenz $f_S = 15$ MHz und die Schallgeschwindigkeit in Blut $c_{\text{Blut}} = 1,6$ km/s.

Es ist ein mittlerer Neigungswinkel von 25° zwischen Messrichtung (Sender/Empfänger gemittelt) und der Blutflussrichtung zu berücksichtigen.

1. Erfolgte die Messung in Richtung abströmenden, oder zuströmenden Blutflusses?
2. Welche Blutflussgeschwindigkeit wurde festgestellt?