

## 13. Mechanische Wellen

13.1 Darstellung harmonischer Wellen

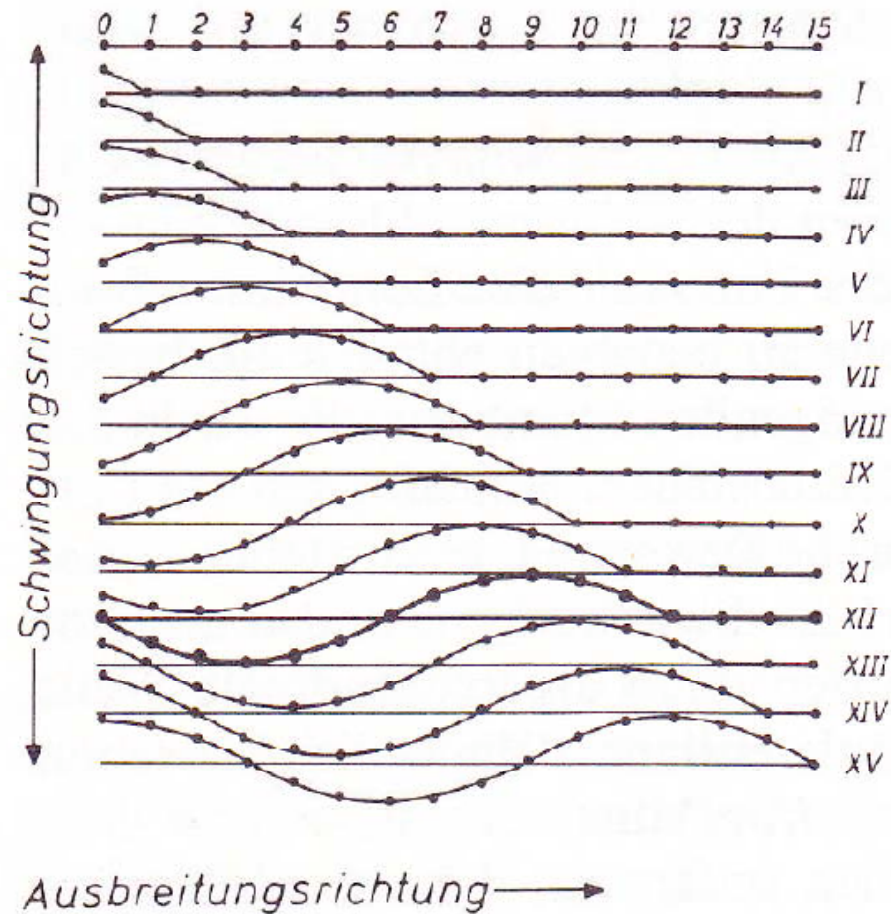
13.2 Überlagerung von Wellen, Interferenz und Beugung

13.3 Stehende Wellen

13.4 Schallwellen

13.5 Wellen bei bewegten Quellen

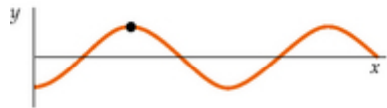
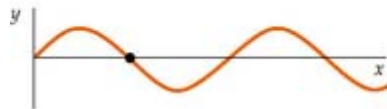
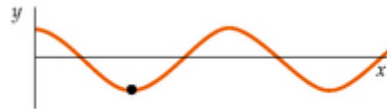




Schematische Darstellung der Entstehung einer Transversalwelle.  
 Die in den Reihen I, II, ....XV durch die momentanen Auslenkungen  
 der Punkte 1,2,3,..... gezogenen Kurven beziehen sich auf Zeiten,  
 die jeweils um eine  $1/12$  Periode aufeinander folgen.  
 (aus Stuart, Klages, „Kurzes Lehrbuch der Physik“, Springer Verlag)



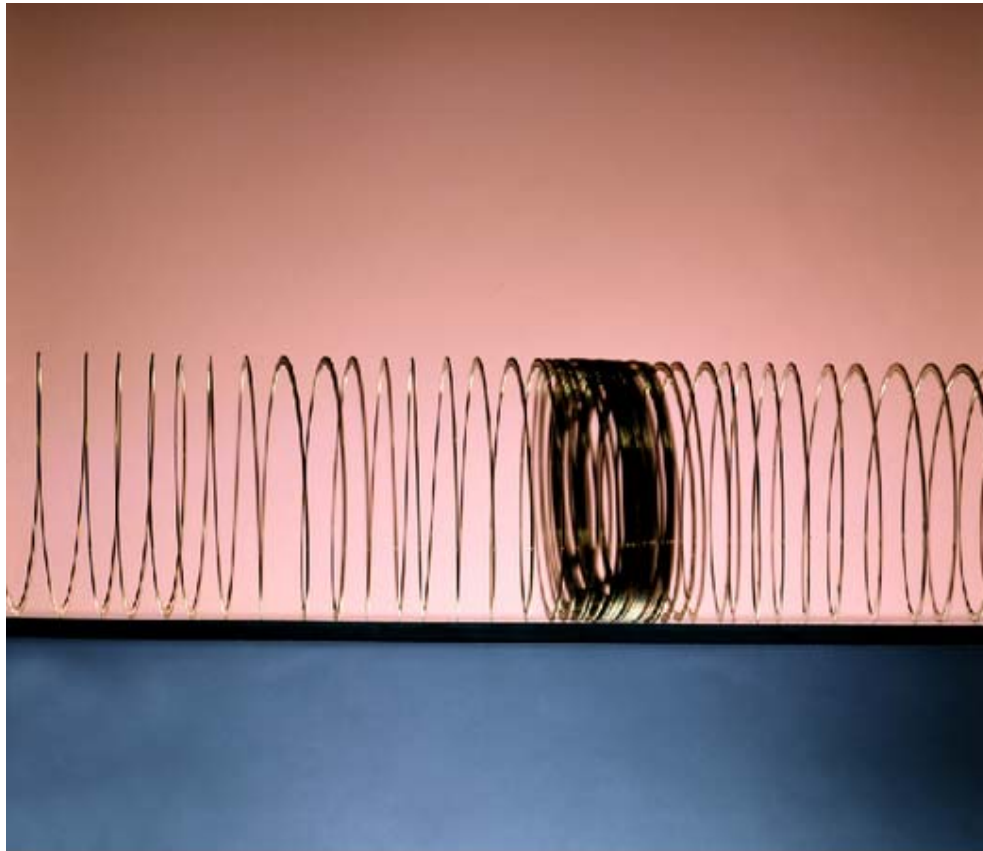
(a)



(b)

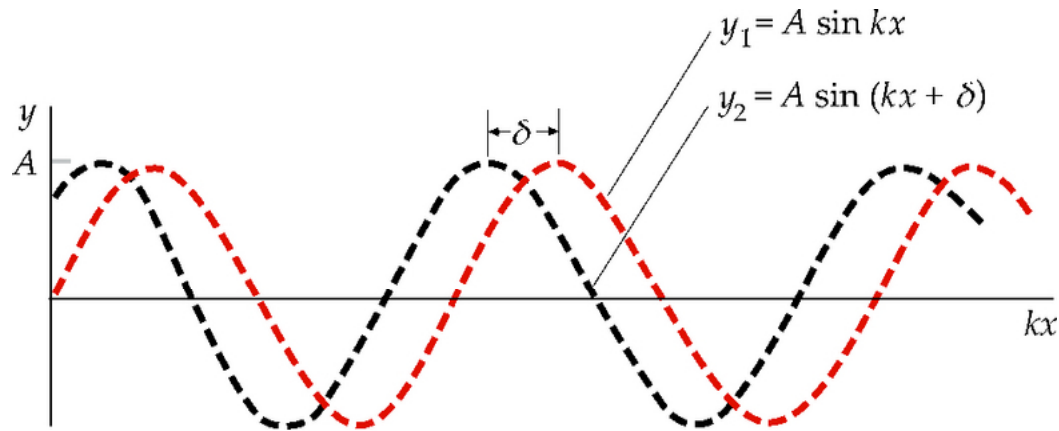
Aus: Tipler/Mosca: *Physik*, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

- a) Transversaler Wellenpuls (Wellenberg) auf einer Feder. Die Störung ist senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle.
- b) Drei aufeinanderfolgende Skizzen einer transversalen Welle auf einer Saite, die sich nach rechts ausbreitet. Ein Element der Saite (schwarzer Punkt) bewegt sich auf und nieder, während sich die Wellenberge und -täler nach rechts ausbreiten. (*Richard Menga/Fundamental Photographs.*)



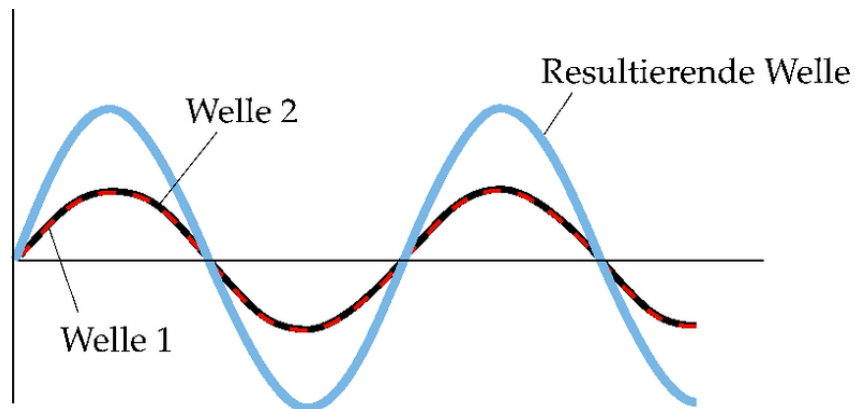
Aus: Tipler/Mosca: *Physik*, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Longitudinaler Wellenpuls auf einer Feder. Die Störung (Verdichtung, Verdünnung) bewegt sich entlang der Feder. (*Richard Menga/Fundamental Photographs.*)



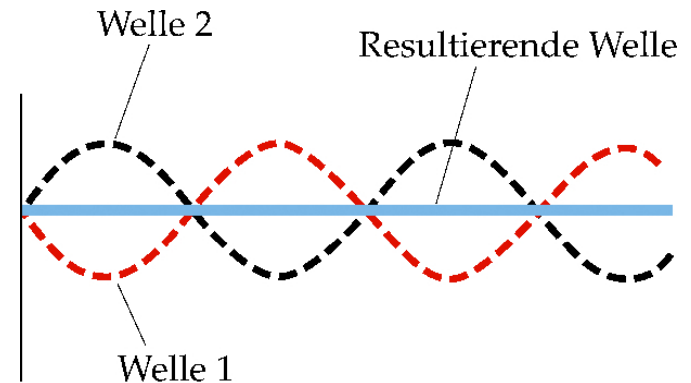
Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Momentaufnahme (für einen festen Zeitpunkt  $t$ ) der Auslenkung zweier Wellen, die sich nur in der Phase um eine Konstante  $\delta$  unterscheiden. Als Ausbreitungsrichtung wurde die  $x$ -Richtung gewählt. (aus Ref. [2])



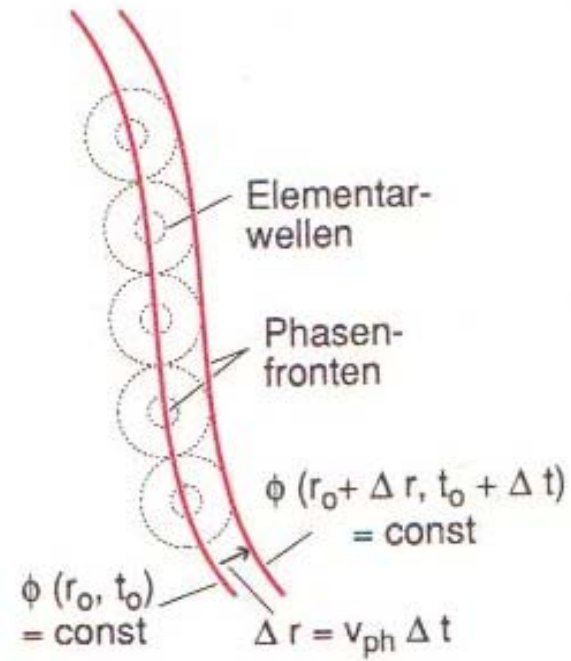
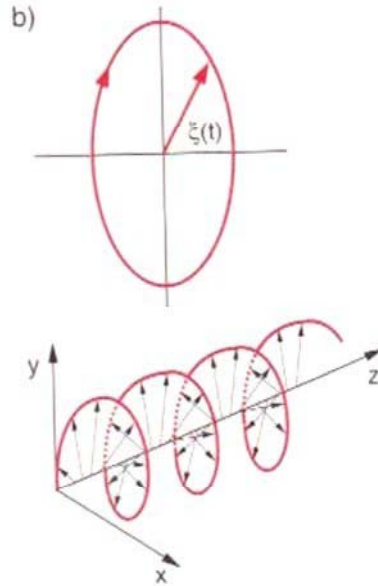
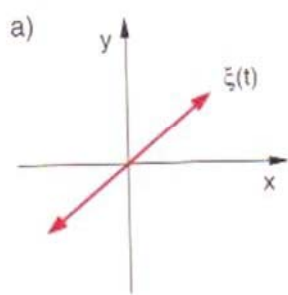
Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Konstruktive Interferenz (gleiche Phasenlage, Gangunterschied Null) (aus Ref. [2])



Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Destruktive Interferenz (Phasendifferenz von  $\pi$ , Gangunterschied  $\lambda/2$ ) (aus Ref. [2])



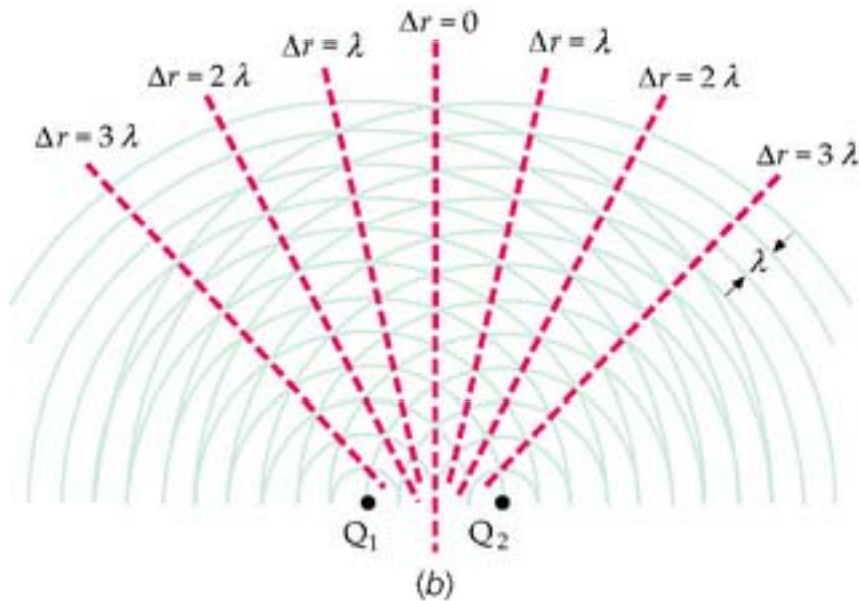
- (a) Linear polarisierte Welle;
- (b) Elliptisch polarisierte Welle;
- (aus Ref. [1])

Zum Huygensschen Prinzip (aus Ref. [1])



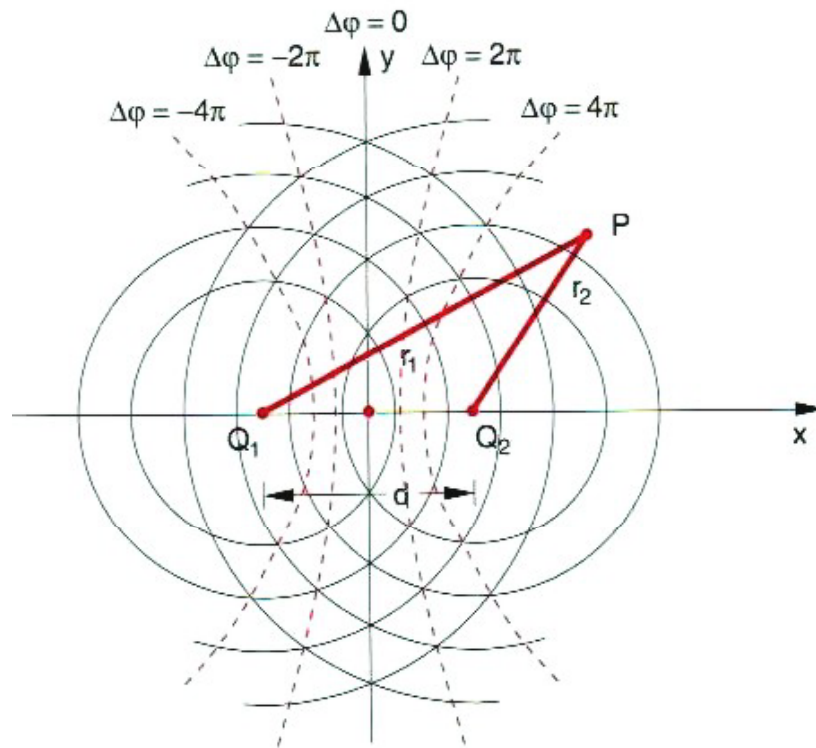
(a)

a) Wasserwellen, die durch zwei dicht beieinander liegende, gleichphasige Punktquellen erzeugt werden. Durch Überlagerung entsteht ein Interferenzmuster.  
*Berenice Abbott, 8J 1328/Photo Researchers.*  
 (aus Ref. [2])

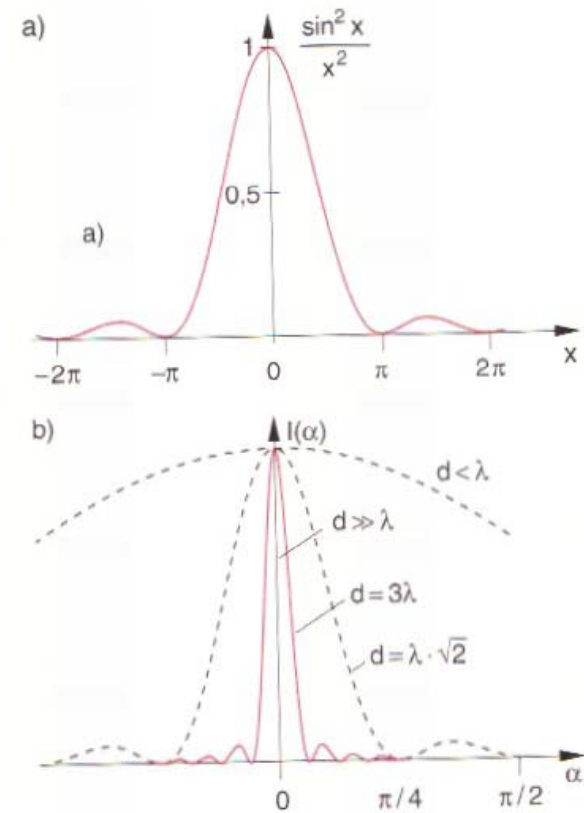


(b)

b) Bei dieser geometrischen Konstruktion des Interferenzmusters aus a) geben die grauen Kreislinien die Lage der Wellenkämme (Maxima) an. Die Schnittpunkte der Kreise sind durch gestrichelte Linien verbunden. An diesen Stellen beträgt der Gangunterschied der Wellen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge, dort überlagern sich die Wellen konstruktiv.  
 (aus Ref. [2])

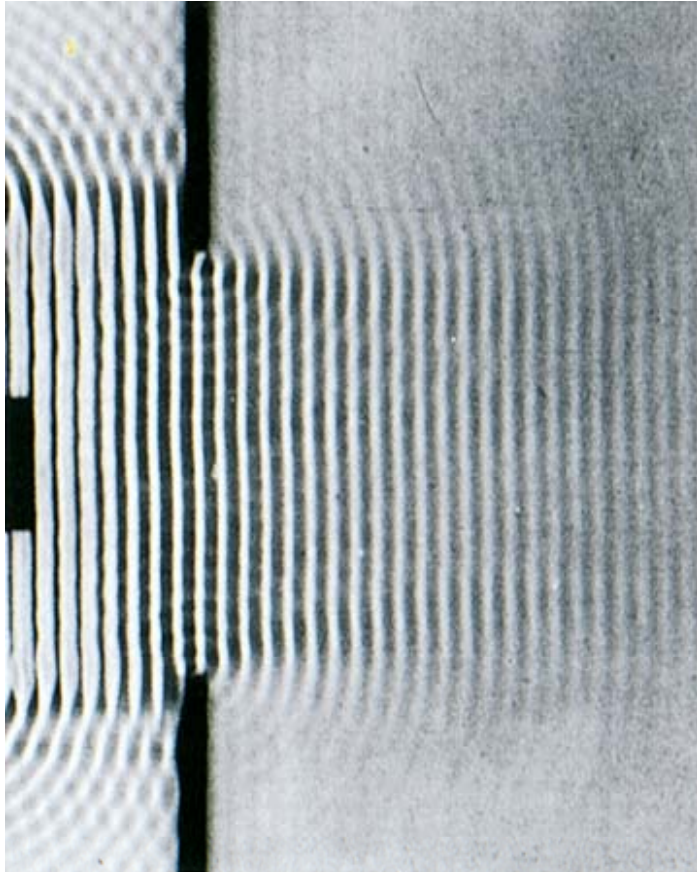


Überlagerung zweier von phasenstarr gekoppelten Quellen  $Q_1$  und  $Q_2$  ausgehender Kugelwellen (aus Ref. [1])



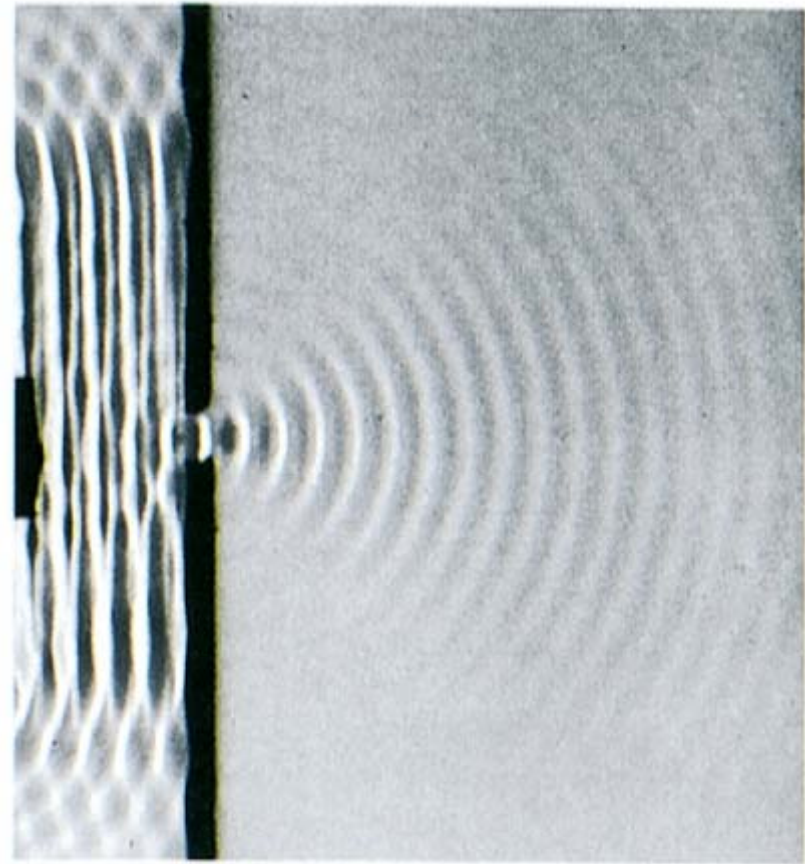
- (a) Die Funktion  $\sin^2 x / x^2$ ;
- (b) Intensitätsverteilung hinter einem Spalt der Breite  $d$  für verschiedene Werte von  $\lambda/d$  als Funktion des Winkels  $\alpha$  (aus Ref. [1]).





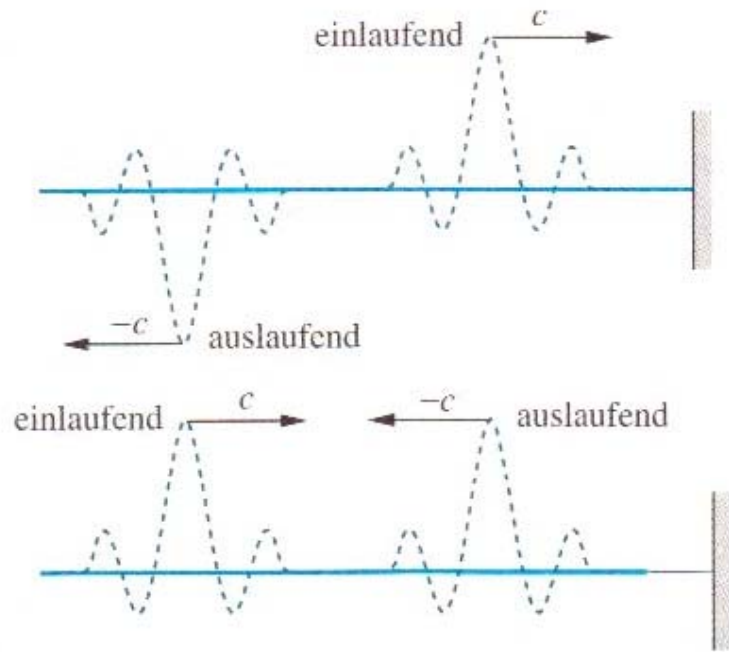
Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Ebene Wellen in einer Wasserwanne treffen auf ein Hindernis mit einer breiten Öffnung, die groß im Vergleich zur Wellenlänge ist. Die Welle läuft in Vorwärtsrichtung weiter, nur ein kleiner Teil breitet sich in den Bereich rechts und links von den Kanten der Öffnung aus.  
(*Fundamental Photographs.*)

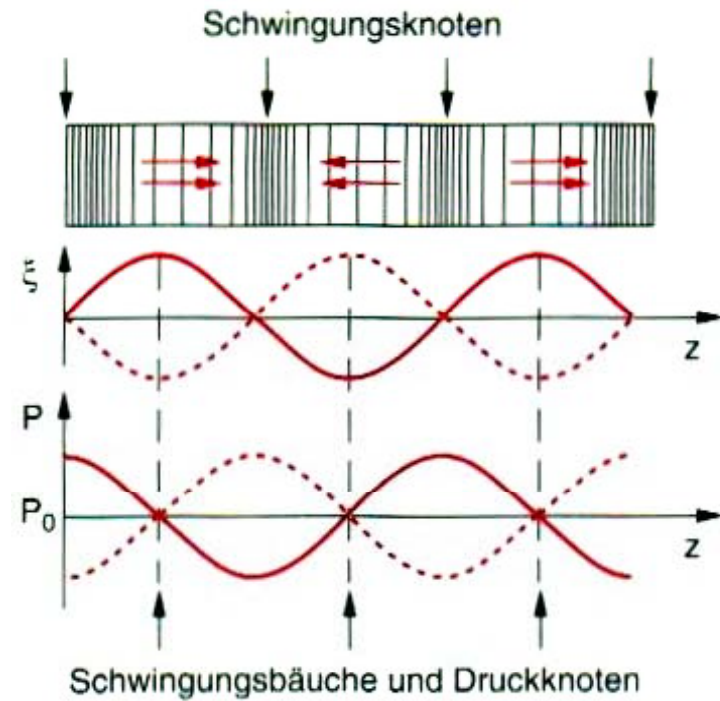


Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

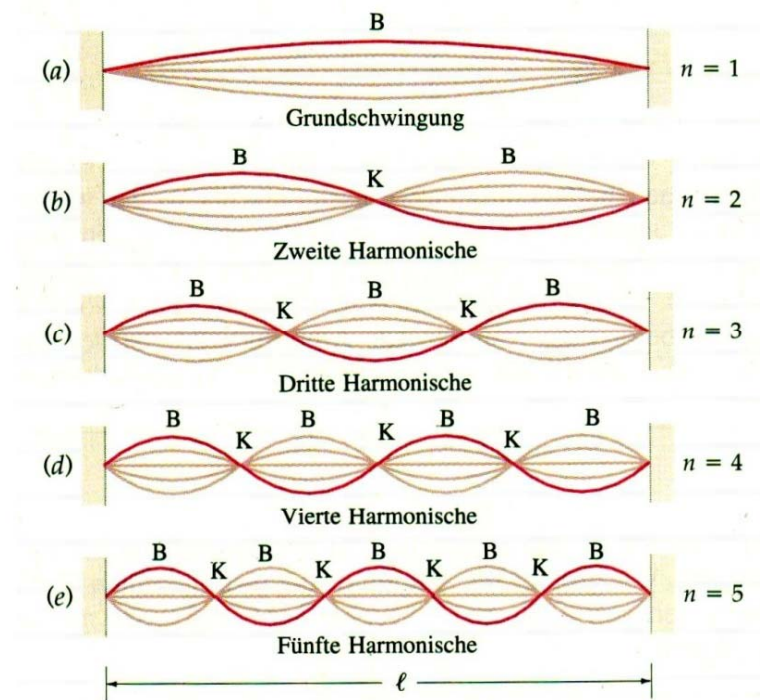
Ebene Wellen in einer Wasserwanne treffen auf ein Hindernis mit einer Öffnung, die nur wenige Wellenlängen breit ist. Hinter dem Hindernis bilden sich konzentrische Kreiswellen um die Öffnung, gerade so, als ob die Öffnung eine punktförmige Wellenquelle wäre. (*Fundamental Photographs.*)



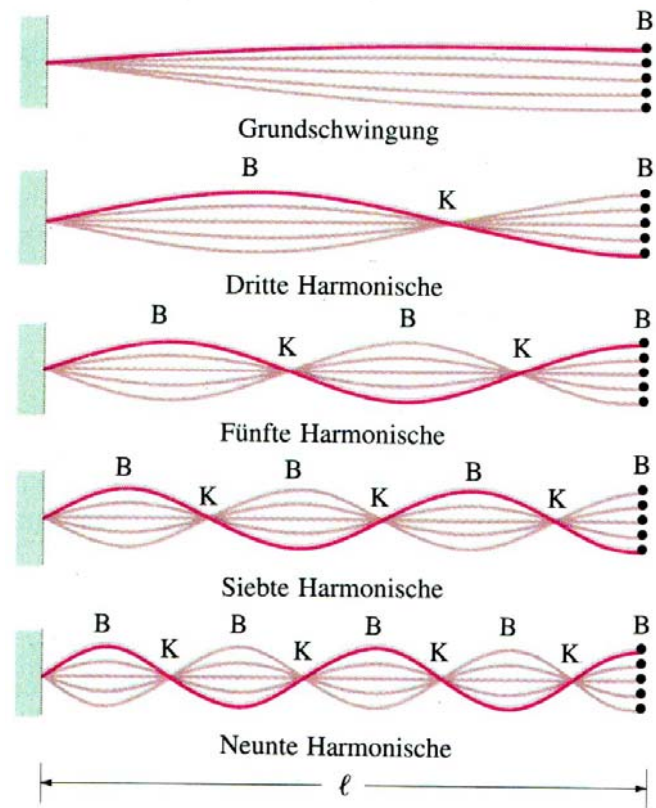
Amplitudenumkehr bei Reflexion eines Pulses (Wellenzug) am festen Ende (oben) und Amplitudenerhaltung bei Reflexion am offenen Ende (aus Ref. [6]).



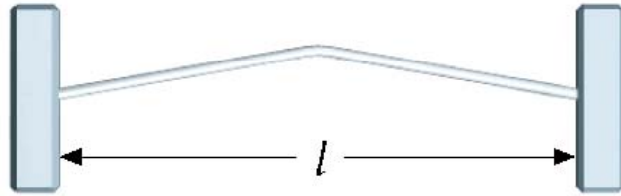
Schwingungsamplituden- und Druckverteilung einer stehenden Welle in einem Gas (aus Ref. [1]).



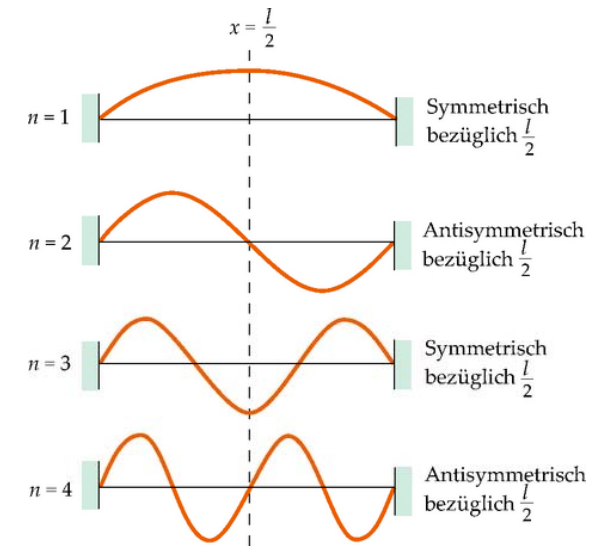
Stehende Wellen auf einer beidseitig fest eingespannten Saite. (B = Schwingungsbäuche, K = Schwingungsknoten) (aus Ref. [2]).



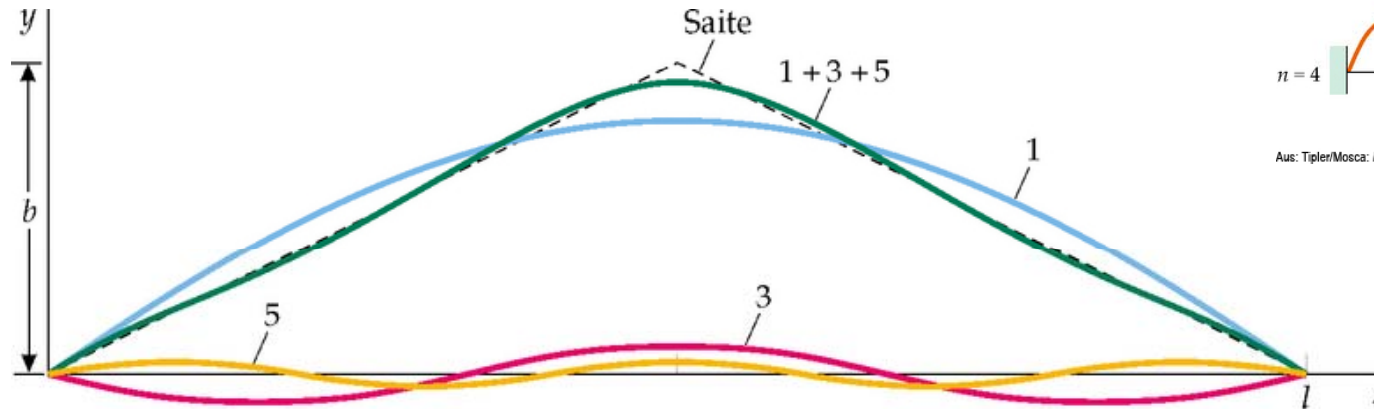
Stehende Wellen auf einer einseitig fest eingespannten Saite / Stab. (B = Schwingungsbäuche, K = Schwingungsknoten) (aus Ref. [2]).



Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

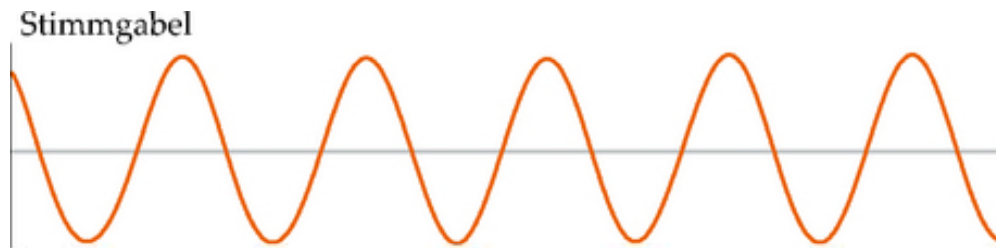


Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009



Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Die ursprüngliche Auslenkung einer in der Mitte gezupften Saite lässt sich näherungsweise mithilfe mehrerer Harmonischer beschreiben. In diesem Bild ist die Ausgangsform der Saite durch eine gestrichelte Linie dargestellt, die Grundwelle (1) und die ersten höheren ungeraden Harmonischen (3 und 5) sind farbig eingezeichnet. Die Linearkombination dieser Schwingungsmoden ergibt die grüne eingezeichnete Linie, mit der die Ausgangsform schon recht gut angenähert wird. Die Größe der Auslenkung ist übertrieben eingezeichnet, um die Amplitudenverhältnisse besser darstellen zu können. Der größte Anteil der Energie steckt in der Grundwelle, die höheren Harmonischen tragen einen zwar wichtigen, aber viel kleineren Energieanteil bei. (aus Ref. [2]).



(a)



(b)



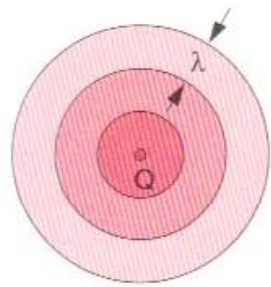
(c)

Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

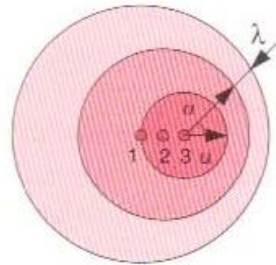
Wellenformen einer a) Stimmgabel, b) einer Klarinette und c) einer Oboe, alle mit einer Grundschwingung von 440 Hz und ungefähr gleicher Intensität. (aus Ref. [2]).

Medium	$v_{ph}/m s^{-1}$ bei 0°C	$v_{ph}/m s^{-1}$ bei 100°C
Luft	331,5	387,5
Wasserstoff	1284	1500
Sauerstoff	316	369
Helium	965	1127,1
Argon	319	372,6
CO <sub>2</sub> -Gas	259	313
Wasser	1402	1543
Methanol	1189	
Pentan	951	
Quecksilber	1450	

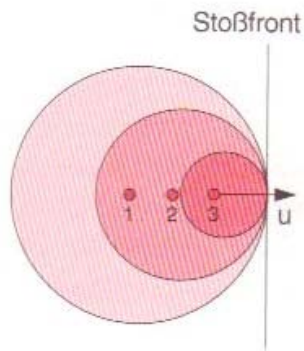
Schallgeschwindigkeiten in Gasen und Flüssigkeiten  
( $p = 1 \text{ bar}$ ,  $T = 0^\circ \text{ C}$  und  $100^\circ \text{ C}$  (aus Ref. [1])).



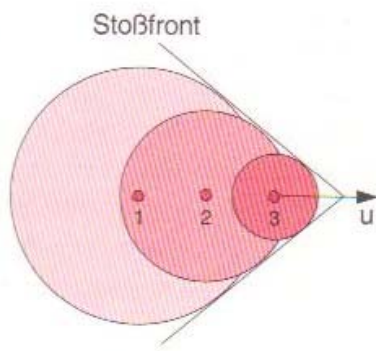
a)  $u = 0$



b)  $0 < u < v_{Ph}$



c)  $u = v_{Ph}$



d)  $u > v_{Ph}$

Zur Entstehung einer Stoßfront: wenn die Geschwindigkeit der Schallquelle die Schallgeschwindigkeit erreicht (aus Ref. [1]).