

# AKUSTIK 1

Vorlesung  
Hören Verstehen - für jedes Diplomfachstudium

Dienstag 20.11.2007 13.00 - 14.30

## Schallausbreitung

Nächste Vorlesung - Dienstag 04.12.2007

Dr. Michael Jäger / [Michael.Jaeger@uibk.ac.at](mailto:Michael.Jaeger@uibk.ac.at) / +43 (676) 9675309

# Auflösung Schallquellen

In einem bestimmten Pfeifensatz einer Orgel beträgt die klingende Länge für die Note  $c'$  ( $f= 524 \text{ Hz}$ )  $30\text{cm}$ . Wie lange wird ihrer Meinung nach die Pfeife für den Ton  $c$  ( $f= 262 \text{ Hz}$ ) sein? Wie lang für  $C$  (noch eine Oktave tiefer)?

Für  $c$  doppelt so lang wie für  $c' = 60 \text{ cm}$ .

Für  $C$  doppelt so lang wie für  $c = 120 \text{ cm}$ .

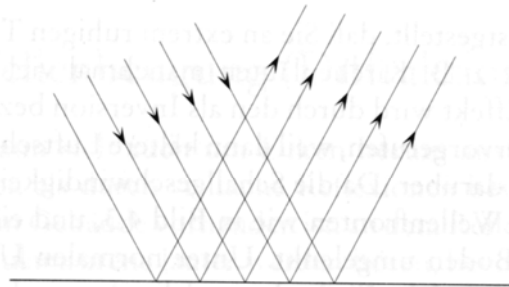
Während ein Organist in einer ungeheizten Kirche im Januar übt, beträgt die Temperatur  $8^\circ \text{ C}$ ; als die Orgel gestimmt wurde, betrug sie jedoch  $20^\circ \text{ C}$ . Erklären Sie, ob die Pfeifen mit niedriger oder höherer Tonhöhe klingen als bei Normaltemperatur. Um wie viel Prozent hat sich die Schallgeschwindigkeit der Luft geändert?

$v_{20} = 344 \text{ m/s}$ .  $v_8 = 332 + 0,6 \times 8 = 336,8 \text{ m/s}$  das sind ungefähr 2%



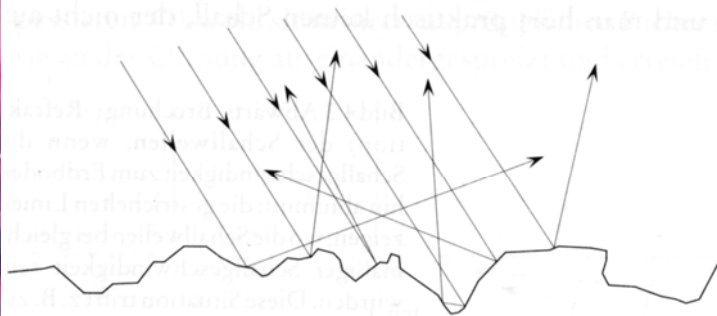
# Schallausbreitung

## Reflexion und Refraktion



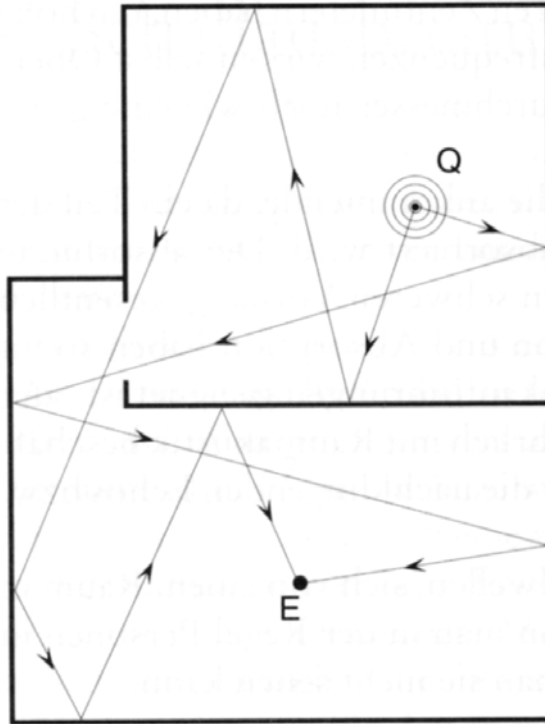
Eine Gruppe von Wellen mit gleicher Richtung (wie ein Lichtstrahl) wird an einer glatten Oberfläche regelmäßig reflektiert.

Diffuse Reflexion kommt zustande, wenn Wellen auf eine raue Oberfläche treffen (rau im Verhältnis zur Wellenlänge).



Eine reflektierte Wand wirkt z.B. auf eine Welle mit 440 Hz erst dann rauh wenn die Unregelmäßigkeiten der Wand einen Durchmesser von einem Meter oder mehr haben.

# Schallausbreitung



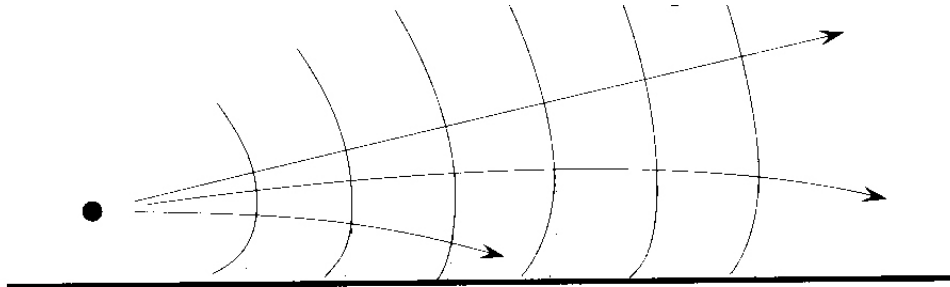
Eine Situation, in der die Schallgeschwindigkeit sich mit dem Ort (z.B. durch übereinander liegende Luftschichten mit unterschiedlicher Temperatur) ändert, bringt die Schallenergie dazu, gekrümmten Ausbreitungswegen zu folgen. Jede Art von Wellen kann gebrochen werden.

Durch vielfache Reflexion können die Schallwellen sich von der Quelle **Q** bis zum Empfänger **E** in einem zweiten Raum ausbreiten.

Eine reflektierte Welle ist immer schwächer als die ankommende, da ein Teil der Schallenergie von der reflektierten Oberfläche absorbiert wird.

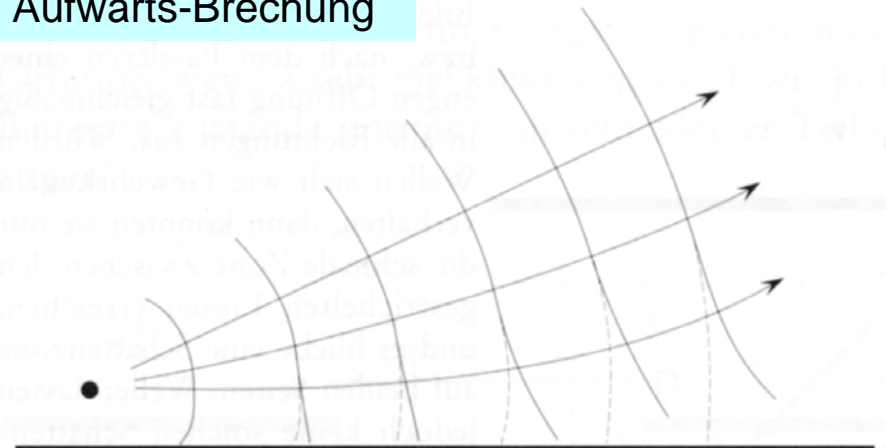
# Schallausbreitung

## Abwärts-Brechung



Refraktion der Schallwellen, wenn die Schallgeschwindigkeit zum Erdboden hin abnimmt.

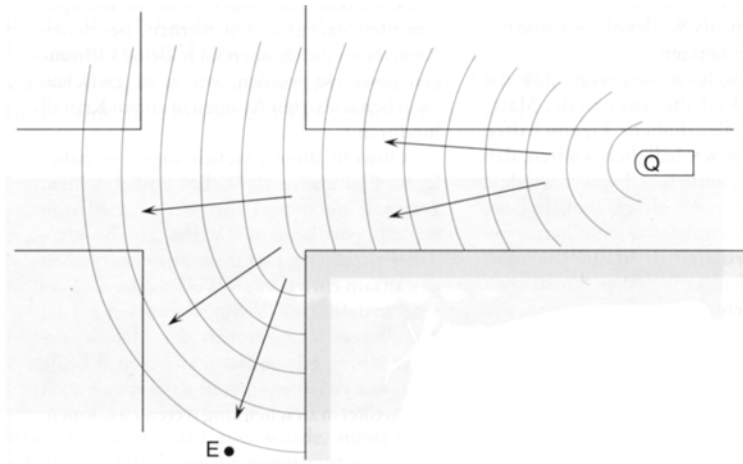
## Aufwärts-Brechung



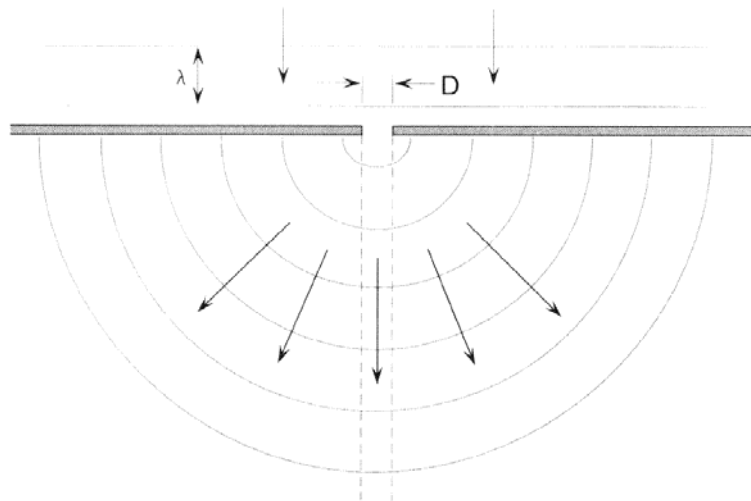
Aufwärtsbrechung der Schallwellen, wenn die Schallgeschwindigkeit zum Erdboden hin zunimmt.

# Schallausbreitung

## Wellenbeugung (Diffraktion) an Öffnungen



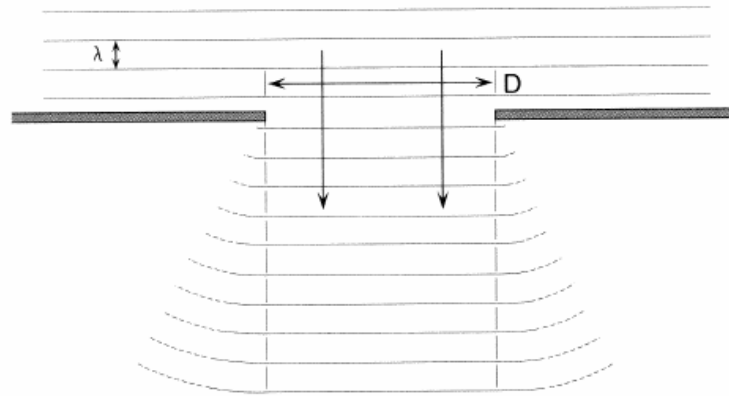
Selbst ohne Wirkung von Reflexion kann die Schallquelle  $Q$  um die Ecke herum gehört werden. Die Schallwellen breiten durch den Prozess der Beugung aus.



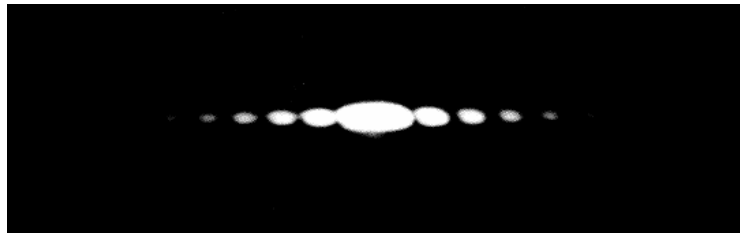
Wellen breiten sich beim bzw. nach dem Passieren einer engen Öffnung fast gleichmäßig in alle Richtungen aus.



# Schallausbreitung



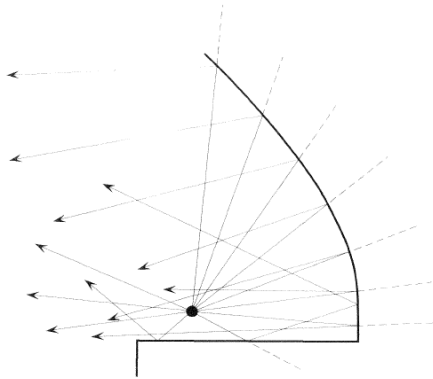
Wenn Wellen an einer Öffnung gebeugt werden, deren Durchmesser  $D$  sehr groß ist im Verhältnis zu ihrer Wellenlänge, bleibt der Wellenaustritt hauptsächlich auf einen Strahl in der ursprünglichen Richtung begrenzt.



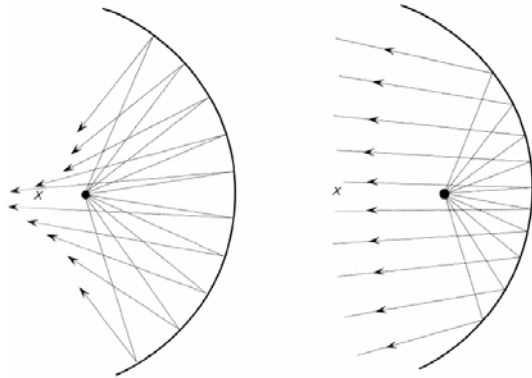
Beugungsmuster eines Lichtstrahls; wenn keine Strahlbeugung stattfinden würde, müsste eine scharfe Grenze zwischen Licht und Schatten sein.

# Schallausbreitung

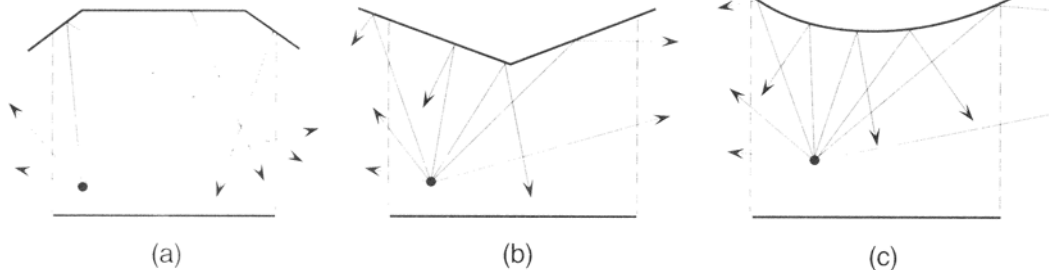
## Musik im Freien



Seitenansicht durch eine durch eine rückseitig mit akustischer Muschel versehene Bühne; der Zuhörerraum ist links..



Schallreflexion an einer konkaven Mauer mit dem Krümmungsmittelpunkt X.



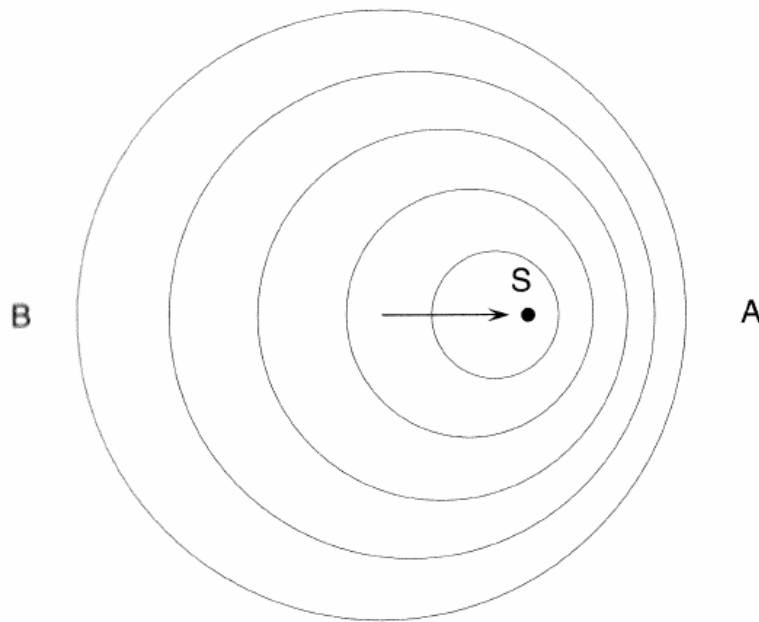
Verschiedene mögliche Dachformen für Musikpavilions.



# Schallausbreitung

## Der Doppler Effekt

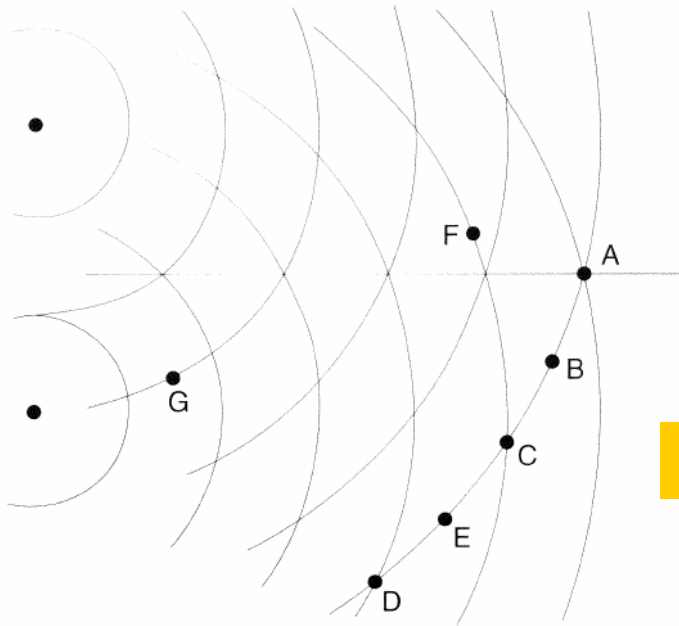
Als **Dopplereffekt** bezeichnet man die Veränderung der wahrgenommenen oder gemessenen Frequenz von Wellen jeder Art, während sich die Quelle und der Beobachter einander nähern oder voneinander entfernen, sich also relativ zueinander bewegen.



Momentaufnahme der Kreislinien von Wellenfronten, die von einer sich bewegenden Schallquelle **S** ausgehen. Ein Beobachter am Punkt **A** empfängt die Wellen dichter zusammengedrängt, als wenn die Schallquelle ruhend wäre; für den Beobachter am Punkt **B** treffen sie weiter auseinander gezogen ein.

# Schallausbreitung

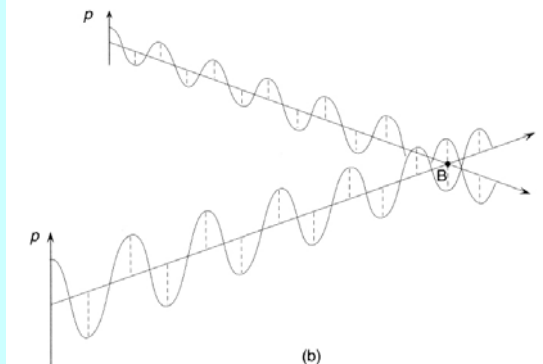
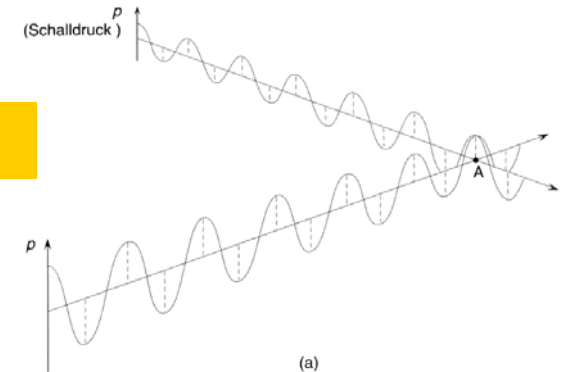
## Interferenz und Schwebungen



Wellenfronten, die mit der gleichen Frequenz von zwei verschiedenen Punkten ausgesendet werden. Konstruktive Interferenz geschieht am Punkt **A**, **C** und **D**. Destruktive Interferenz geschieht bei **B** und **E**.

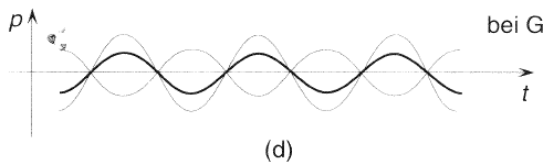
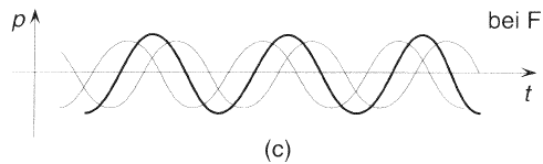
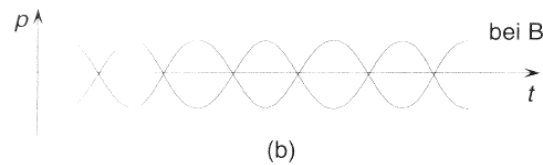
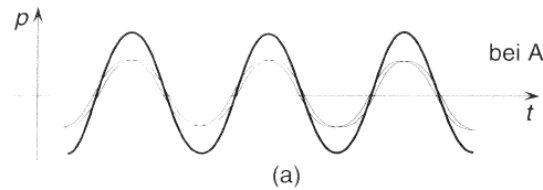
$$n \times \lambda = s_1 - s_2$$

An Punkt **A** treffen die Wellen in Phase aufeinander und produzieren gemeinsam eine verstärkte Schwingung. Am Punkt **B** dagegen ist die Welle vom oberen Lautsprecher aufgrund des um eine halbe Wellenlänge unterschiedlichen Abstands gerade in genau entgegengesetzter Phase.



# Schallausbreitung

## Interferenz und Schwebungen

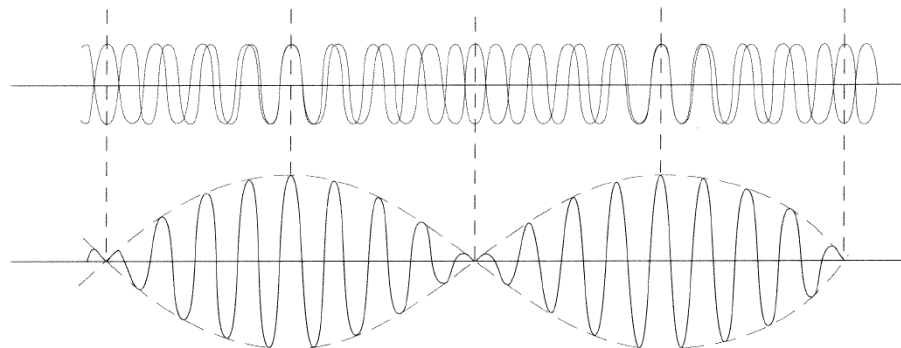


Bei A stimmen beide Wellenbewegungen überein – doppelte Amplitude.

Bei B sind beide Wellen phasenverschoben – Gesamtstörung ist null.

Bei F ist die Welle eine viertelphase verschoben – Gesamtstörung etwas größer als die Welle alleine.

Bei G passieren die Wellen phasenverschoben, aber mit unterschiedlichen Amplituden – destruktive Interferenz ist nicht vollständig (Restschwingung).



Zwei Sinuswellen mit leicht abweichender Frequenz.



# Schallausbreitung

## Symbole und Begriffe

$\lambda$  Wellenlänge

$f$  Frequenz

$n$  Zahl der Schwingungs-  
zyklen

$D \leq \lambda$  für starke Beugung

$$f_s = f_1 - f_2$$

$$s_1 - s_2 = n \cdot \lambda$$

Reflexion

Absorption

Refraktion (Brechung)

Diffraktion (Beugung)

Doppler-Effekt und Doppler-  
Frequenzverschiebung

Interferenz

Schwebungen

## Übungsaufgabe

Sie hören Musik aus zwei Lautsprechern. Ein Lautsprecher befindet sich 6 m und der andere 4,8 m weit entfernt. Nennen Sie verschiedene Wellenlängen für konstruktive und destruktive Interferenz.