



© D. Nill

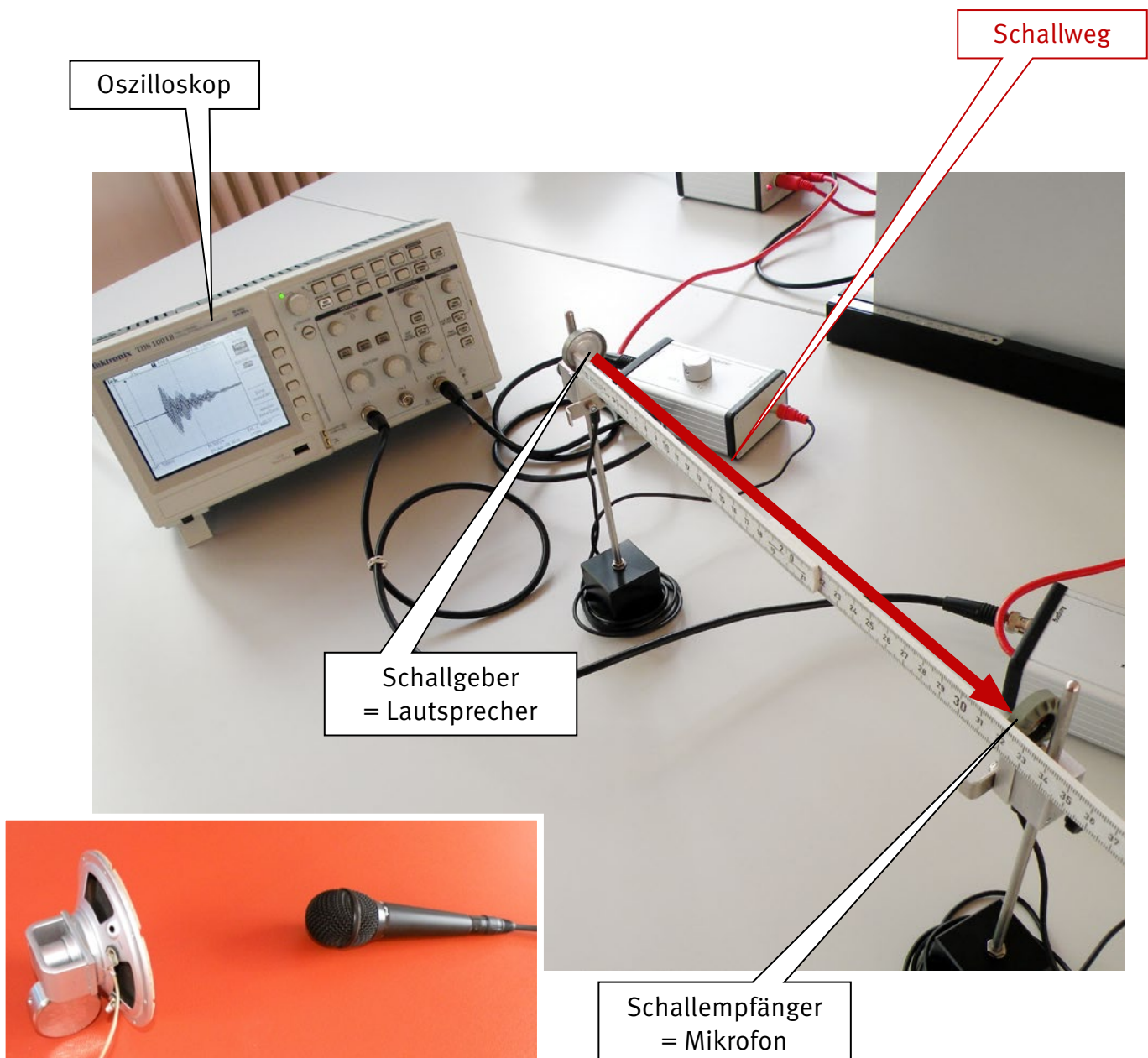


Experimente mit Schallwellen

am Schülerlabor iLab

Unsere Apparaturen zum Beobachten von Schallpulsen

Hier siehst du die Geräte, mit denen wir heute experimentieren. Das Wichtigste vorab: Der Schallgeber erzeugt ein Signal, das beim Schallempfänger auftrifft. Die Darstellung erfolgt auf dem Oszilloskop. Auf dem Bildschirm des Oszilloskops siehst du in der Grundeinstellung ein einziges Signal («Tick»).



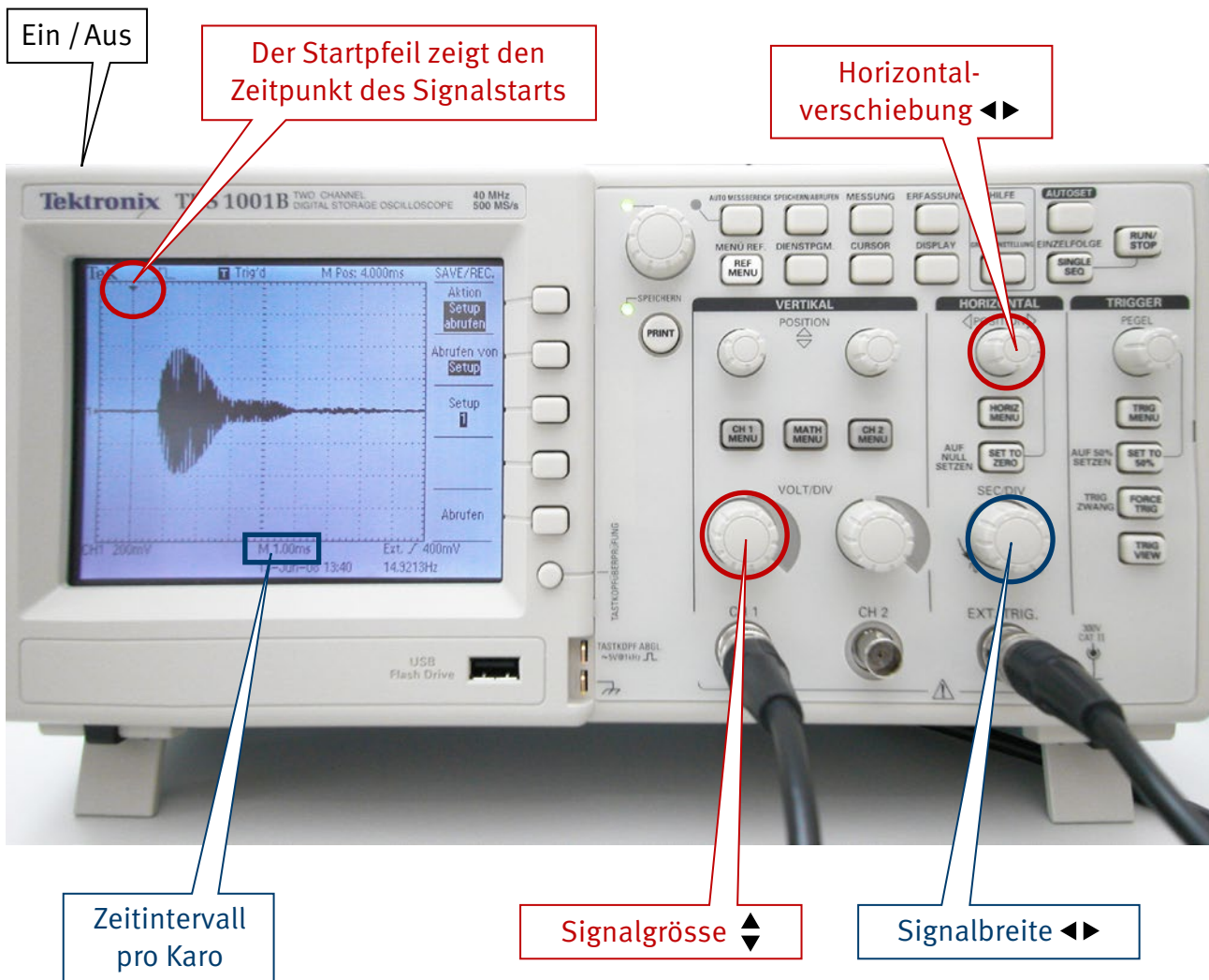
Das Oszilloskop – ein iPod besonderer Art

Das Oszilloskop zeigt uns, was der Schallempfänger «hört». Es zeichnet das bei ihm eintreffende Signal von links nach rechts auf. Der Startpfeil zeigt an, wann der Schallgeber das Signal erzeugt. Das Zeitintervall für das Durchlaufen eines Karos («Kästchen») wird am unteren Rand angezeigt.

- s = Sekunden
- ms = Millisekunden = 0.001 Sekunden
- µs = Mikrosekunden = 0.000001 Sekunden
- ns = Nanosekunden = 0.000000001 Sekunden



Was passiert, wenn du an den rot und blau bezeichneten Knöpfen vorsichtig drehst?

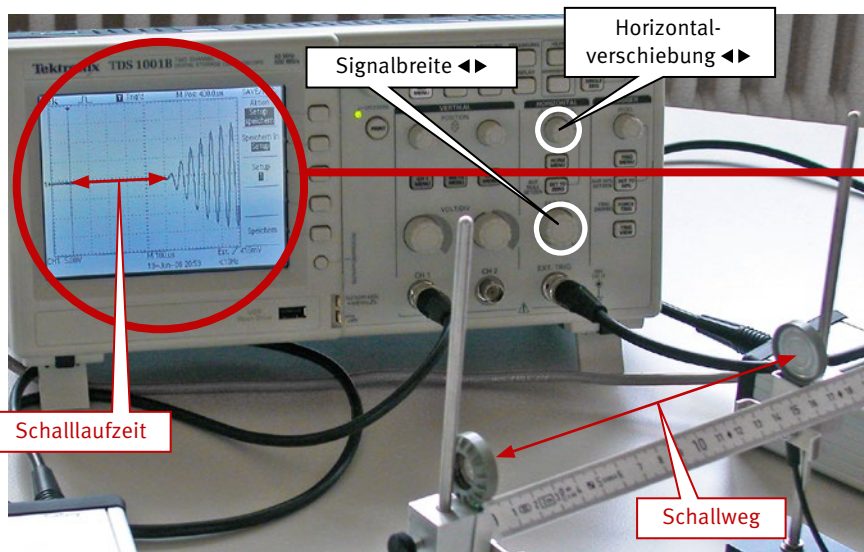


Experiment 1:

Mit 1240 km/h rast der Schall vorwärts!

Um die Schallgeschwindigkeit in Luft zu messen, möchtest du wissen, wie lange der Schall braucht, um vom Schallgeber zum Schallempfänger zu gelangen. Auf dem Oszilloskop ist diese Schalllaufzeit das Zeitintervall zwischen dem kleinen Startpfeil und dem Anfang des Signals.

- Drehe an den beiden Knöpfen «Signalbreite» und «Horizontalverschiebung», bis du die Schalllaufzeit so gross wie möglich auf dem Bildschirm siehst.
- Verschiebe die Schallsonden (Schallgeber und Schallempfänger) so, dass der Schallweg auf dem Bildschirm genau einige Karos beträgt.
- Miss mit dem Massstab die Strecke zwischen Schallgeber und Schallempfänger.
- Berechne die Zeit: Anzahl Karos \times «Zeitintervall».
- Berechne die Schallgeschwindigkeit: Strecke/Zeit.



5 Kästchen \times $100 \mu\text{s}$ = $500 \mu\text{s}$
 $500 \mu\text{s} : 1000$ = 0.5 ms
 $0.5 \text{ ms} : 1000$ = 0.0005 s

μs = Mikrosekunden $\div 1000$
 ms = Millisekunden $\div 1000$
 s = Sekunden



Experiment 2:

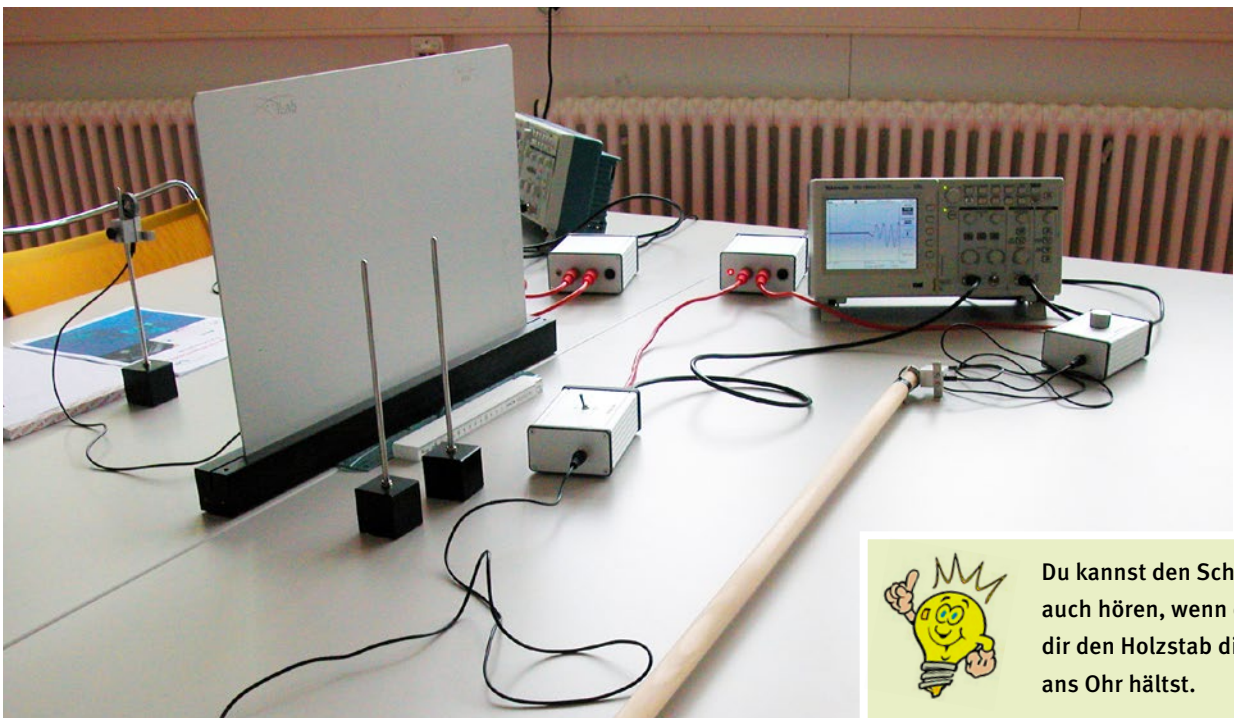
Im Holz geht's noch viel schneller!

Du möchtest wissen, wie lange der Schall braucht, um vom Schallgeber durch einen Holzstab zum Schallempfänger zu gelangen. Auf dem Oszilloskop ist dies das Zeitintervall zwischen dem kleinen Startpfeil und dem Anfang des Signals.

- Entferne die Schallsonden vom Ständer und befestige sie am Holzstab.
- Drehe an den beiden Knöpfen «Signalbreite» und «Horizontalverschiebung», bis du die Schalllaufzeit so gross wie möglich auf dem Bildschirm siehst.
- Berechne die Zeit: Anzahl Karos («Kästchen») \times «Zeitintervall».
Achte auf die Masseinheit (ms, μ s, ns)!
- Berechne die Schallgeschwindigkeit: Strecke/Zeit (der Holzstab ist genau 1 Meter lang).



Wie viel Mal schneller geht Schall durch Holz als durch Luft?



Du kannst den Schall auch hören, wenn du dir den Holzstab direkt ans Ohr hältst.

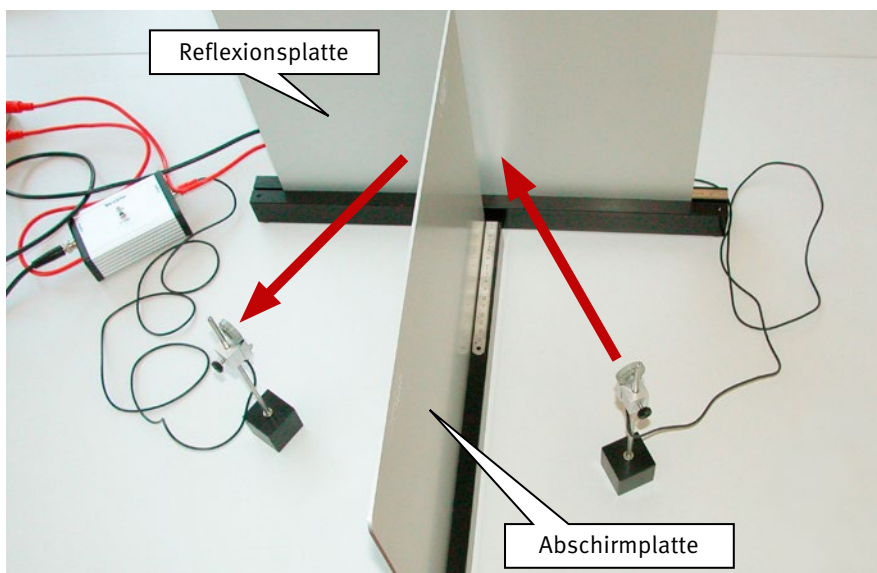
→ Führe dieses Experiment auch mit anderen Materialien durch (zum Beispiel mit einem Plexiglasstab, einem mit CO₂ gefüllten Ballon, usw.) Vergleiche anschliessend die Schallgeschwindigkeiten (Masseinheit: Meter pro Sekunde).

Experiment 3:

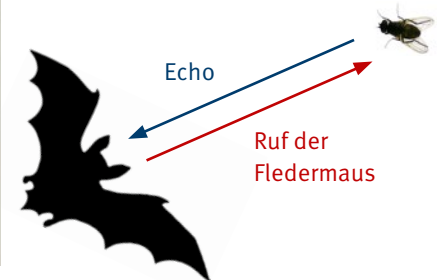
Wie «sieht» die Fledermaus?

Der Schall wird an einer Wand reflektiert, es ertönt ein Echo.

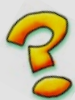
- Versuche, das Echo auf dem Oszilloskop zu sehen. Wenn du die Reflexionsplatte bewegst, siehst du den Unterschied.
- Drehe die beiden Schallsonden (jede einzeln), bis das Signal am grössten ist. Wohin schauen die beiden Sonden?



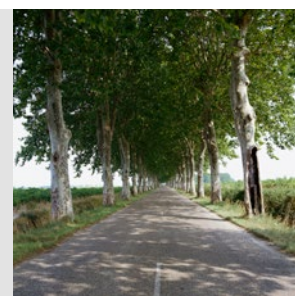
Damit der Schall nicht direkt zum Empfänger gehen kann, stellst du eine Platte als Abschirmung zwischen Schallgeber und Schallempfänger.



- Stelle die beiden Sonden parallel nebeneinander, sodass sie in die gleiche Richtung, aber nicht mehr auf die Reflexionsplatte schauen.
- Experimentiere nun mit verschiedenen grossen «Käfern» (Massstab, Bleistift, usw.). Führe sie vor der «Fledermaus» vorbei und beobachte das Signal auf dem Oszilloskop. Wie breit ist der kleinste «Käfer», den die «Fledermaus» noch gut «sieht»?



Der Schall der Fledermaus in unserem Experiment hat 2 cm Wellenlänge. Lebende Fledermäuse erzeugen Ultraschall mit Wellenlängen um 0.5–1 cm. Welche Insekten können sie am besten «sehen»? Was passiert, wenn du im Auto bei offenem Fenster an Bäumen vorbei fährst: tsch – tsch – tsch?



Experiment 4:

Konzertsaal: Der Schall pendelt zwischen Wänden

Zwischen zwei Wänden hat der Schall verschiedene Möglichkeiten, vom Schallgeber zum Schallempfänger zu gelangen. Wenn du mit verbundenen Augen in eine grosse Halle (zum Beispiel eine Kathedrale oder einen Konzertsaal) geführt wirst, ahnst du die Grösse der Halle dank der Reflexionen (es hallt).



Versuche herauszufinden, welche Signale auf dem Oszilloskop welchen Schallwegen entsprechen. Welches ist der komplizierteste Weg, den du findest? Kannst du den Schallgeber und -empfänger zwischen den Platten so anordnen, dass möglichst wenige Signale entstehen?



Die verschiedenen Signale werden auf dem Oszilloskop getrennt, wenn die Platten weit auseinander stehen. Wackle an den Platten um zu sehen, welche Signale mit welcher Platte zusammen hängen.



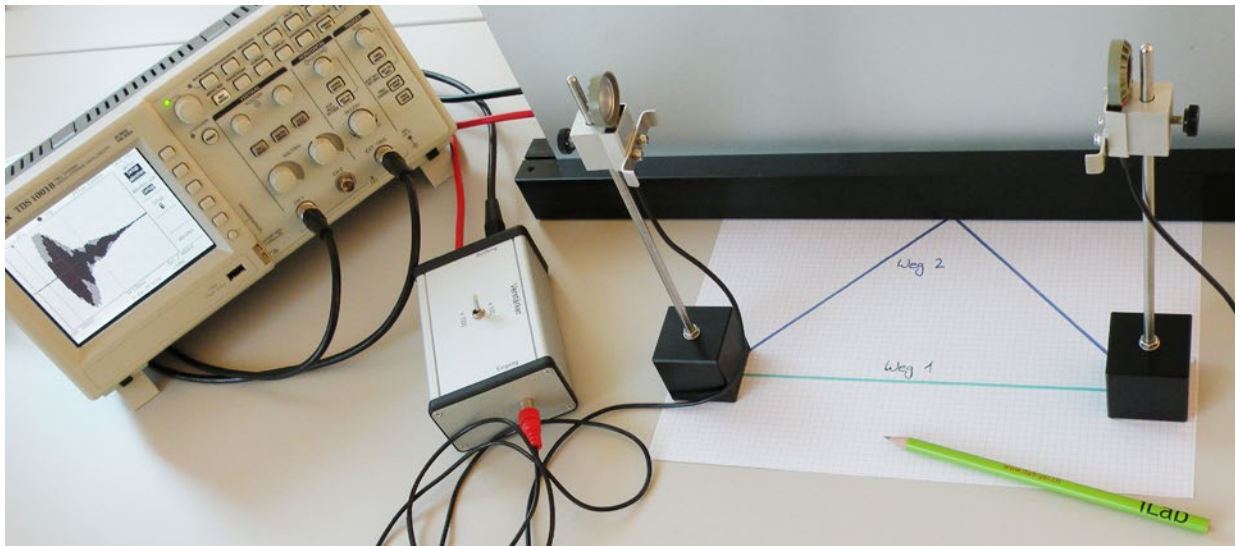
Experiment 5:

Eine Schallwelle kann sich selbst auslöschen oder verstärken

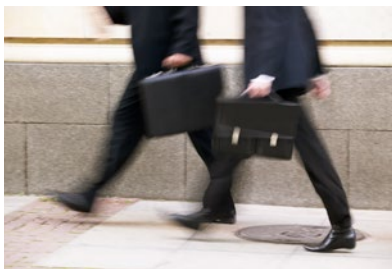
Untersuche, wie sich der Schall verstärkt oder abschwächt, je nachdem wie nahe die Schallsonden bei einer Platte stehen.



Bei welcher Anordnung ist das Signal auf dem Oszilloskop am kleinsten oder am grössten?



Lege ein Blatt Papier unter die Sonden und zeichne die Situation auf. Entferne das Blatt und miss mit dem Massstab den direkten und den indirekten Weg (in cm).



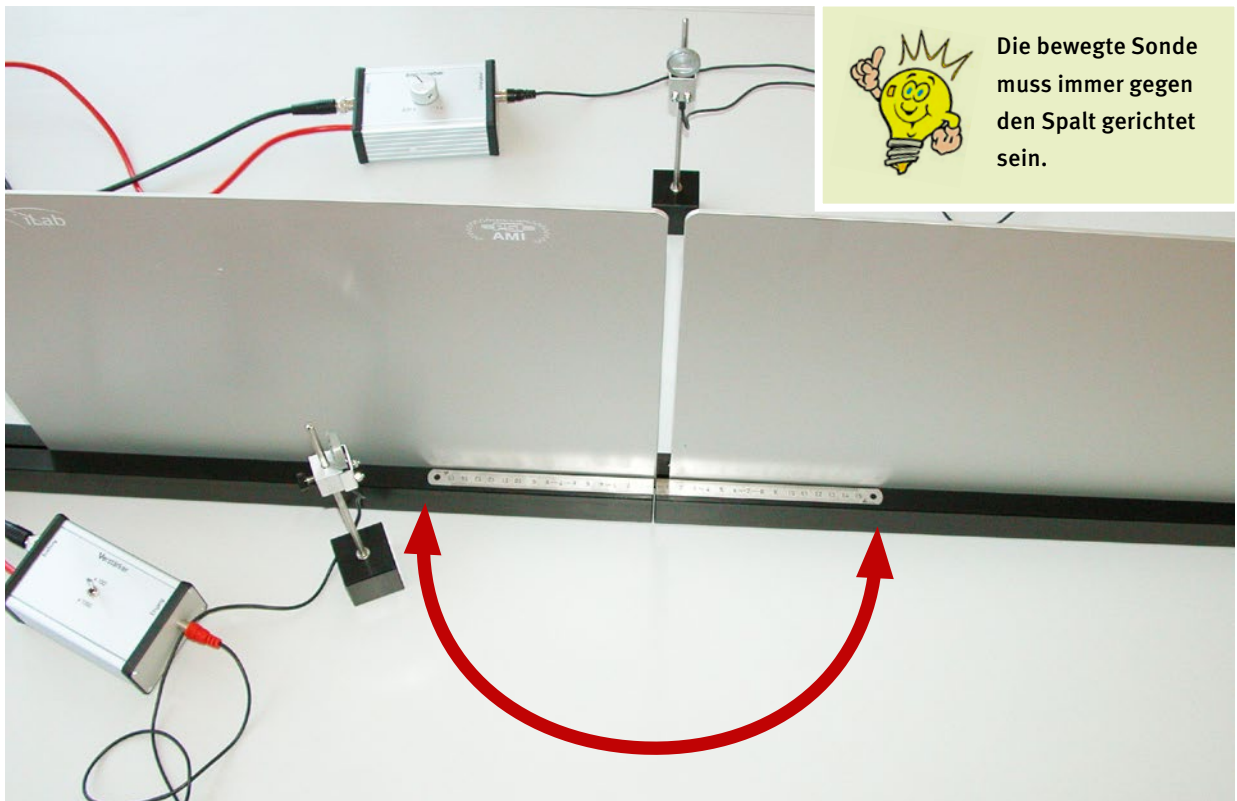
→ Beim Empfänger treffen zwei Schallwellen gleichzeitig ein und verstärken sich. Dieser Vorgang heisst Überlagerung oder Interferenz. Wenn du einer Betonwand entlanggehst, klingen Geräusche von Leuten, Autos, etc. anders. Beobachte diesen Effekt bei der nächsten Gelegenheit.

Experiment 6:

Schall geht um die Ecke

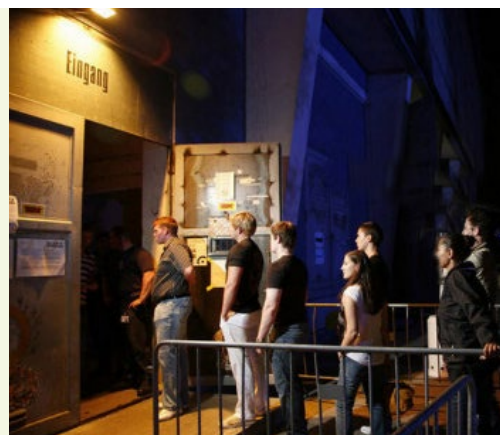


Wie verändert sich dabei die Signalgrösse bei einem Spalt von 10 cm und wie bei 1 cm?



→ Dieser Vorgang heisst **Beugung am Spalt**. Der Schall geht nur dann gut um die Ecke, wenn die Spaltbreite kleiner ist als die Wellenlänge des Schalls (hier 2 cm).

→ Damit verstehst du, weshalb tiefe Töne (grosse Wellenlänge, um 3 m) besser aus einer Disco herausdröhnen als hohe Töne (kurze Wellenlänge, um 0.3 m). Für die tiefen Töne ist die Türöffnung von 1.5 m kleiner als die Wellenlänge.



Experiment 7:

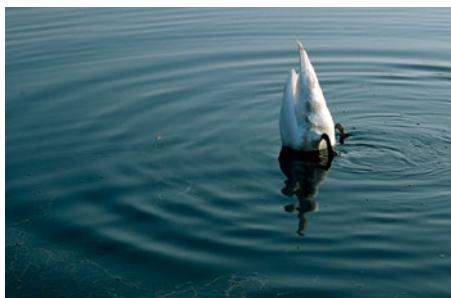
Mit zwei Spalten wird's spannender!

Beide Spalten sind je 1 cm breit, demnach kleiner als die Wellenlänge. Die Schallwellen werden also gut gebeugt (siehe Experiment 6).

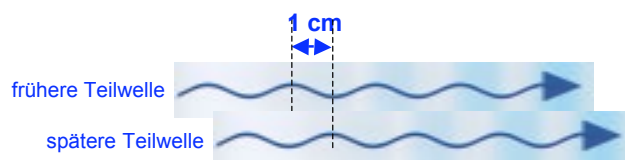
- Stelle eine Schallsonde auf der einen Seite der Platte vor den Doppelspalt.
- Bewege nun die zweite Schallsonde halbkreisförmig und suche den Ort, wo das Signal beinahe gänzlich verschwindet.



Was passiert, wenn du nun einen Spalt abdeckst?



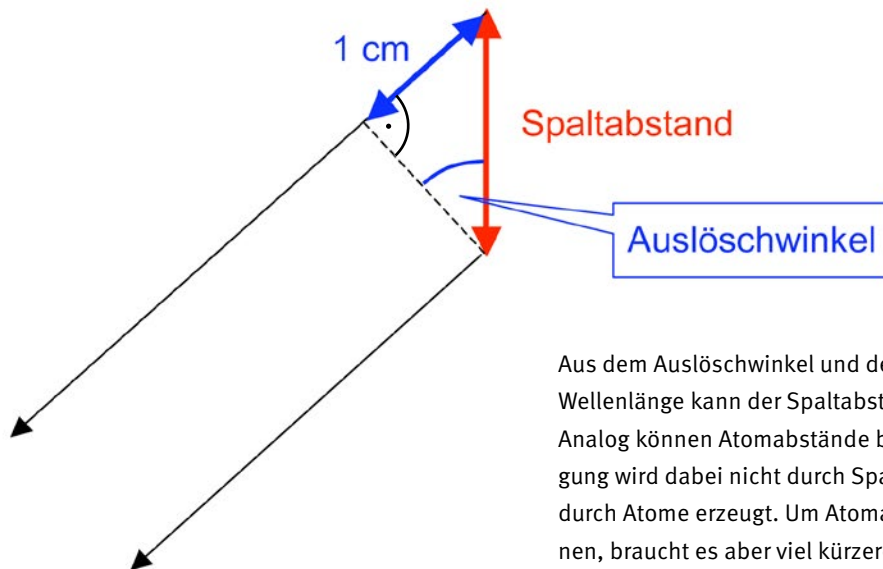
→ Dieser Vorgang heisst **Beugung und Überlagerung am Doppelspalt**. Was passiert dabei? Ein Teil der Schallwelle hat einen etwas längeren Weg als der andere und kommt deshalb beim Schallempfänger etwas später an. Wenn der längere Weg genau eine halbe Wellenlänge (= 1 cm) grösser ist, trifft ein Wellenberg mit einem Wellental zusammen: die beiden Teilwellen löschen sich gegenseitig aus.



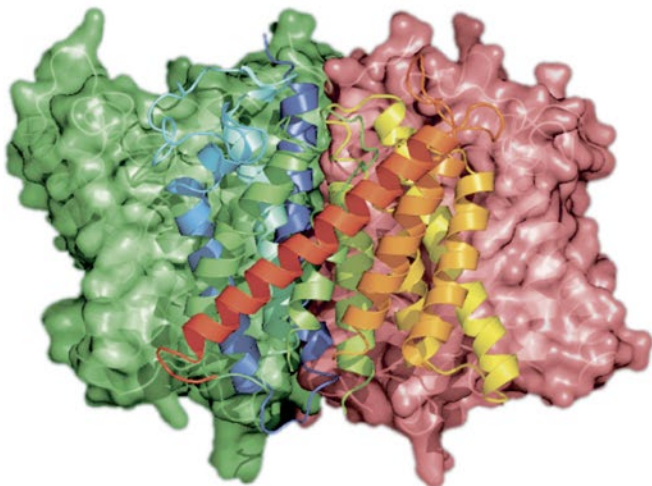
Zu Experiment 7:

So werden Abstände zwischen Atomen gemessen

Forscher am Paul Scherrer Institut bestimmen mit dieser Methode den Abstand zwischen den Atomen. Beachte das folgende rechtwinklige Dreieck:



Aus dem Auslöschwinkel und der verwendeten (halben) Wellenlänge kann der Spaltabstand berechnet werden. Analog können Atomabstände bestimmt werden. Die Beugung wird dabei nicht durch Spaltöffnungen, sondern durch Atome erzeugt. Um Atomabstände messen zu können, braucht es aber viel kürzere Wellenlängen von $1/10000 \mu\text{m}$. Das funktioniert mit Röntgenstrahlen. Genial!



Mit Röntgenlicht aus der SLS haben Forscher die Positionen von vielen tausend Atomen dieses Membranproteins so bestimmt. Mit diesem Wissen kann man neuartige Medikamente entwickeln.

Experiment 8:

Eine Schall-Linse

Schall kann nicht wie sichtbares Licht mit einer Glaslinse fokussiert werden. Es geht aber mit einer sogenannten **Fresnel-Zonenplatte**, die so berechnet wird, dass die Wegunterschiede der Wellen durch aufeinanderfolgende Kreisspalten gerade eine Wellenlänge (2 cm) ausmachen. So überlagern sich die Teilwellen additiv: Im Brennpunkt (Fokus) ist die Intensität viel grösser!

- Platziere den Schallgeber zirka 1 m vor der Zonenplatte und suche mit dem Schallempfänger auf der gegenüberliegenden Seite den Ort, wo das Signal am grössten ist (Fokus).



Welchen Abstand hat der Schallempfänger jetzt zur Platte?

- Merke dir, wo der Fokus war und platziere den Schallgeber in 20 cm Entfernung zur Platte.



Wo ist der Fokus jetzt? Kannst du das Gesetz ergänzen? «Je näher der Schallgeber bei der Platte, desto ... ist der Fokus.

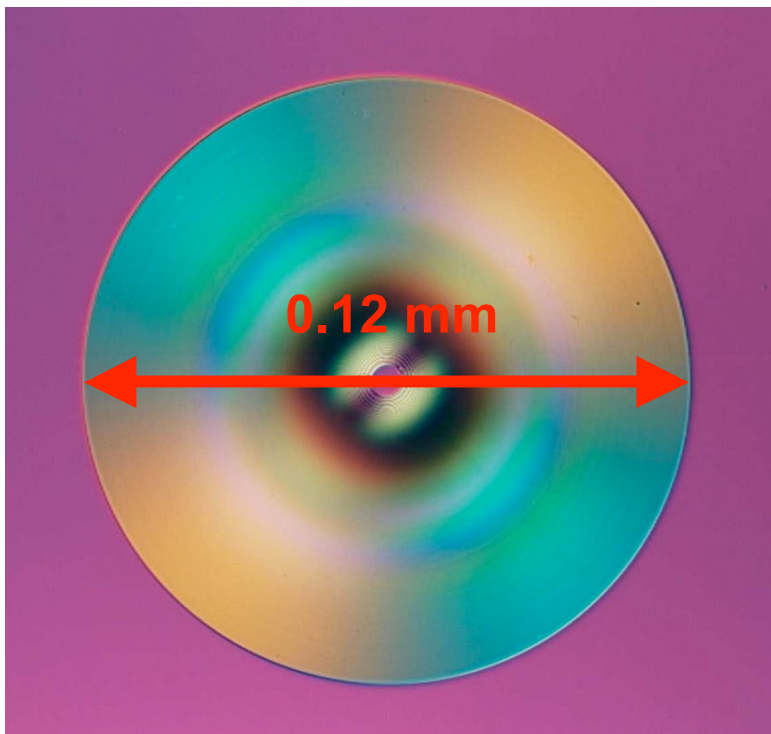


Die beiden Schallsonden müssen exakt auf der Höhe der Kreismitte sein.

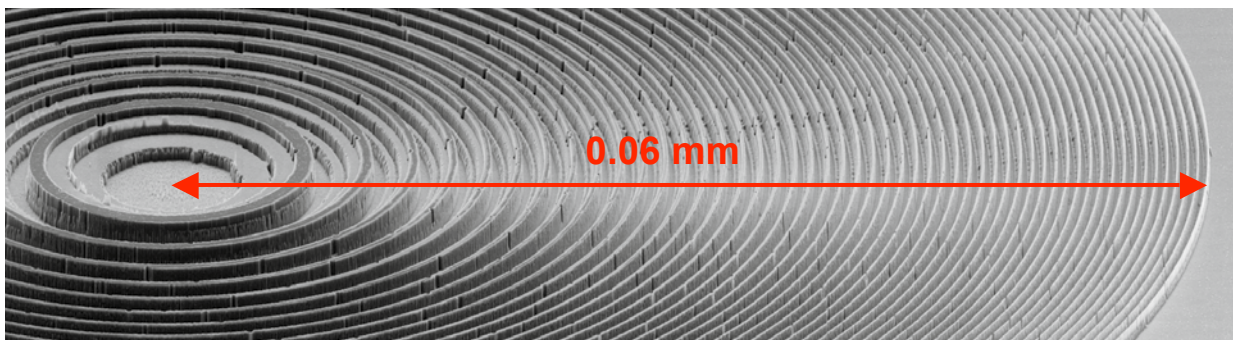
Zu Experiment 8:

Zonenplatten für die SLS*

Das gleiche Prinzip wird auch für die Bündelung von Röntgenstrahlung verwendet, weil diese ebenfalls nicht auf Glaslinsen reagieren. Wir fokussieren an der SLS Röntgenstrahlen, um Atomabstände zu messen (siehe Experiment 7), ebenfalls mit Fresnel-Zonenplatten. Diese sind jedoch sehr klein, da die Wellenlänge zur Messung von Atomen klein sein muss, nämlich in der Größenordnung der Atomabstände. Diese sind rund 0.0000001 mm.



Fresnel-Zonenplatte für die Fokussierung von Röntgenstrahlen mit 0.12 mm Durchmesser. Der Fokus für einen Röntgenstrahl aus der SLS ist 30 cm von dieser Zonenplatte entfernt.



* SLS = Synchrotron Lichtquelle Schweiz oder Swiss Light Source

Experiment 9:

Eine Satellitenschüssel verstärkt auch Schall

Die Wellenlänge der Radiowellen, die für den Satellitenempfang von Radio und Fernsehen verwendet wird, beträgt ca. 2.5 cm. Sie liegt sehr nahe bei unserer Schall-Wellenlänge von 2 cm. Deshalb benimmt sich eine Satellitenschüssel für unsere Schallwellen gleich wie beim Satellitenempfang.

- Stelle den Schallgeber in etwa 5 m Entfernung auf und versuche, mit der Satellitenschüssel das Signal zu empfangen.



Du stehst mit der Satellitenschüssel so nahe beim Oszilloskop, dass du das Empfangssignal gut siehst. Nun bewegst du die Schüssel sehr langsam horizontal und vertikal. Beides muss stimmen!

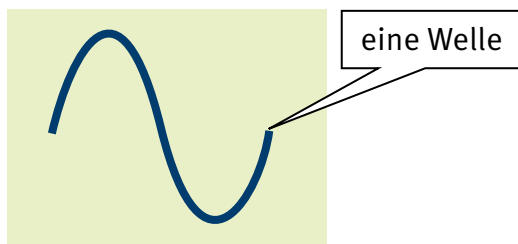
→ Jetzt verstehst du, warum die Satellitenschüssel sehr genau vertikal und horizontal eingestellt werden muss, um Empfang zu haben (Richtung und Neigungswinkel über dem Horizont).



Einige Begriffe

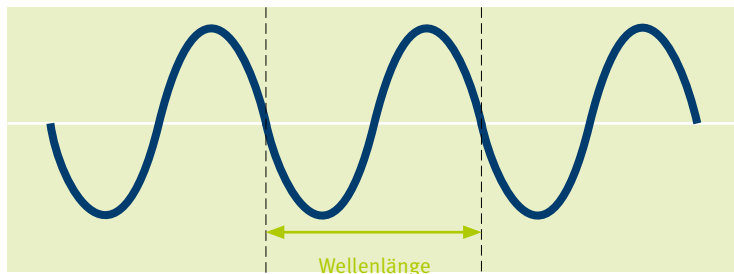
Frequenz

Die Frequenz, gemessen in Hz (Hertz) gibt an, wie viele Wellen pro Sekunde einen Punkt passieren. Wenn das zum Beispiel zehn Wellen pro Sekunde sind, beträgt die Frequenz 10Hz.



Wellenlänge

Die Wellenlänge, gemessen in m gibt an, wie lang eine Welle ist:



Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit, gemessen in m/s gibt an, wie schnell sich eine Welle fortbewegt.

→ Diese 3 Größen sind voneinander abhängig. Wenn wir z.B. die Schallgeschwindigkeit festhalten (konstant lassen) und die Frequenz erhöhen, verringert sich die Wellenlänge.

$$\text{Schallgeschwindigkeit} = \text{Wellenlänge} \times \text{Frequenz}$$

Im iLab wird mit einer Schall-Frequenz von 17000 Hz gearbeitet. Nachdem du die Schallgeschwindigkeit in Luft gemessen hast, kannst du die Wellenlänge unseres Schalls bestimmen!

Paul Scherrer Institut :: Schülerlabor iLab :: 5232 Villigen PSI :: Schweiz :: Tel. +41 56 310 55 40 :: www.ilab-psi.ch