

Sensordatenverarbeitung

# DATENAUFNAHME (AUDIO)

21.-24.10.2024

# Teila

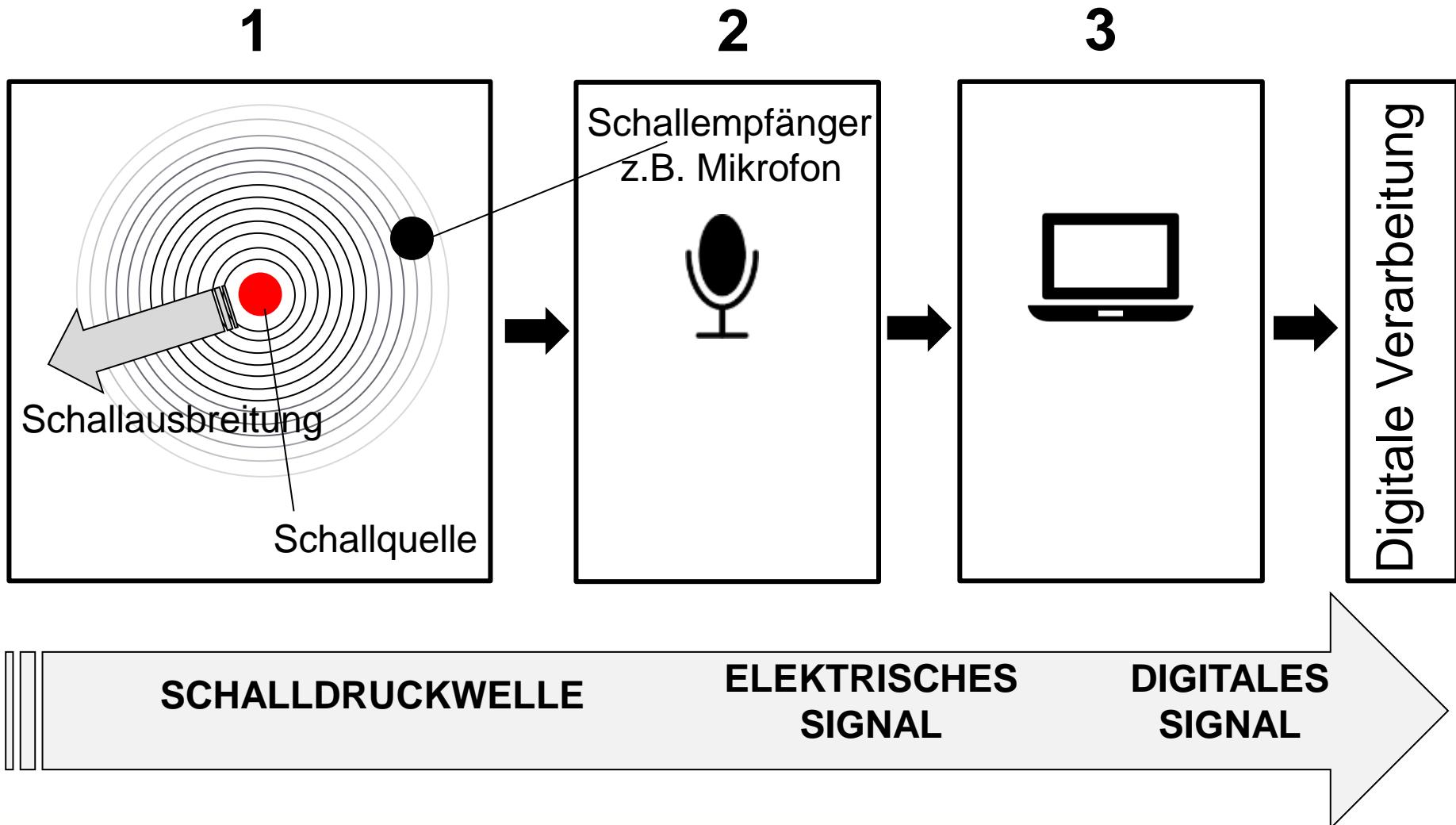
Nr.	Thema	
1	Einleitung; einführende Beispiele	
2	<b>Datenaufnahme; Audio-Datenaufnahme</b>	
3	Bild-Datenaufnahme	
4	Farbe, Segmentierung, Segmentierungstr. BV	
5	Koordinatensysteme; Bewegungs-Datenaufnahme	
6	Audiosignal, 1D Frequenzraum, Fouriertransformation	
7	2D Frequenzraum, 2D Filter	
8	Kanten, SdV-Paradigmen, direkte Bildmerkmale	
9	Houghtransformation, Bewegungsmerkmale	
10	Merkmale, Frequenzmerkmale, Sprachmerkmale	
11	Klassifizierungsalgorithmen	
12	Entwicklung und Evaluation sensorbasierter Systeme	
13	Bayes-Schätzung & Bayes-Filter	
14	Anwendungsbeispiele	

- **Bild und Ton** – in den Medien (Rundfunk, Film, Fernsehen) gebräuchliche Bezeichnung zur Abgrenzung zwischen visuellen und akustischen Signalen
- In der Akustik gelten folgende Definitionen:
  - **Ton**: Signal mit genau einer Frequenz
  - **Klang**: besteht aus mehr als einer Frequenz: Grundschwingung und Obertöne (ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz)
  - **Geräusch**: enthält viele verschiedene Frequenzen
- **Audio / Audiodaten / Audiosignale**
  - Aus dem Lateinischen „*ich höre*“ (*audire = hören*)
  - Audio wird als Bestandteil von Wörtern verwendet, die mit *Hören* zu tun haben (z. B. Audioanlage, Audiosignal, Auditorium).
  - Menschlicher Hörbereich (Schallwellen 16 Hz bis 20 kHz)

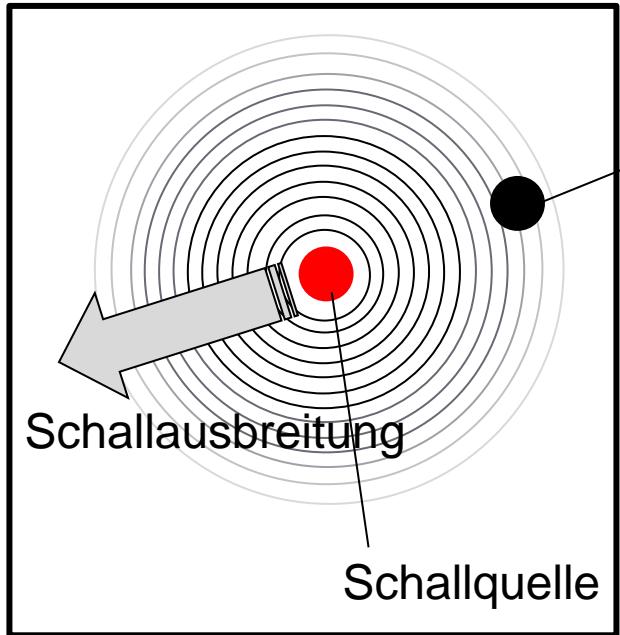
## Datenaufnahme allgemein + Audio

- Welche Phänomene spielen bei Audioaufnahmen eine Rolle
- Wie sollte man diese nutzen, um möglichst saubere und gut auszuwertende Audiodaten zu erhalten

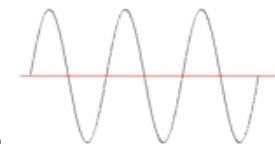
- Die klassische Verarbeitungskette zur Messung von Audiosignalen  
physikalisches Signal → elektrisches Signal → digitales Signal
- Was ist das Audiosignal: Schalldruckwelle in einem Medium
- Welche Mikrofone gibt es und wie funktionieren sie
  - Wandlerprinzip
  - Akustische Bauform: Richtcharakteristik
  - Sonderformen: Kabellose Mics, Arrays, Körperschall-Mics
- Was muss man bei der Erfassung von Audiosignalen beachten
  - Mikrofontyp
  - Raumakustik
  - Störquellen, Plazierung, Popschutz
- Vom elektrischen zum digitalen Signal: Analog-Digital Wandlung
  - Sampling,
  - Quantisierung,
  - Aliasing



1

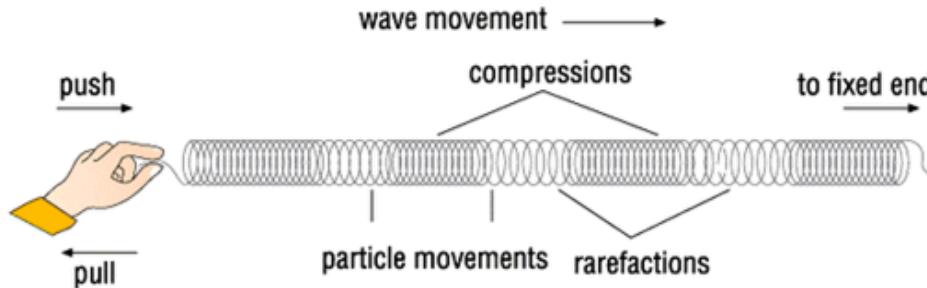


- Was ist Schall, Entstehung
- Wie breitet er sich aus
- Welche Phänomene sind relevant
- Was bedeuten sie für die Messung von Schall mit einem Mikrofon



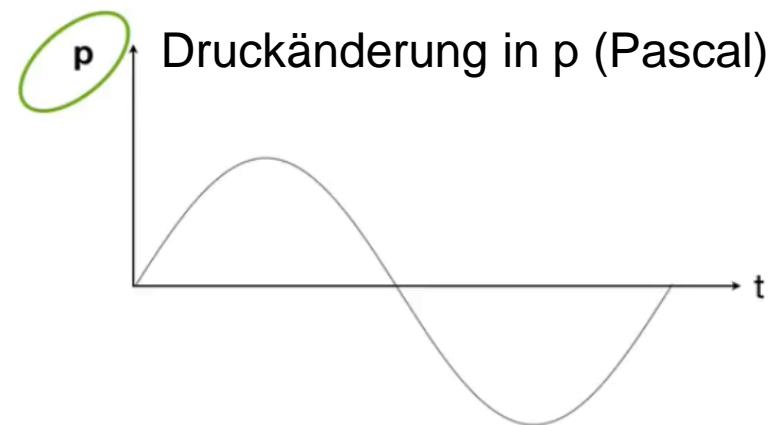
- Schall wird durch schwingende (vibrierende) Materie erzeugt (= **Schallquelle**, wie z.B. Gitarrensaiten, Lautsprechermembran)
  - Schwingung: eine sich wiederholende Bewegung um den Ruhepunkt
  - Um Materie in Schwingung zu setzen, muss Energie aufgewendet werden
- **Frage: welche Materie schwingt zur Erzeugung von Sprache?**
- Wie wird diese Schwingung für uns Menschen als Schall hörbar?
  - Schwingungen können sich in einem **Medium** ausbreiten (typischerweise Luft, aber auch Wasser, feste Stoffe, oder menschliche Körper)
  - Erreicht die Schwingung das Trommelfell (schwingt!), wird sie als Schall hörbar
- **Frage: kann man im Vakuum Schall wahrnehmen?**
- Sich ausbreitende Schwingungen nennt man Wellen – hier **Schallwellen**
  - Dabei versetzt die Schwingung der Schallquelle benachbarte Partikel des Ausbreitungsmediums (bei Luft sind das Gasmoleküle) in Schwingung
  - Diese Gasmoleküle versetzt wiederum benachbarte Moleküle in Schwingung, usw. ... „Dominoeffekt“
- Die Partikel schwingen **entlang der Ausbreitungsrichtung**
  - solche Wellen nennt man Längswellen oder **Longitudinalwellen**

- Längswelle erzeugt Verdichtungen (C) und Verdünnungen (R) im Medium



[media.allrefer.com ]

- In Luft als Medium als Überdruck (C) bzw. Unterdruck (R)
- Luftschatll: den atmosphärischen Luftdruck überlagerte **Druckänderungen**
- Ruhelage der Gasmoleküle  
= atmosphärischer Luftdruck
- Auslenkung um die Ruhelage  
= **Luftdruckänderung**
- Richtung der Luftdruckänderung  
= Ausbreitungsrichtung des Schalls



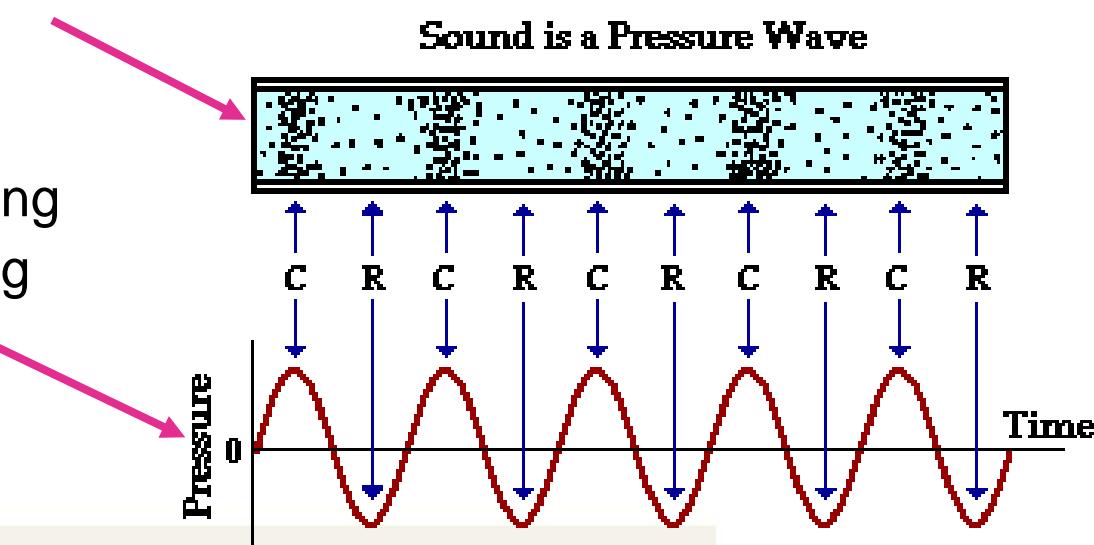


<https://www.youtube.com/watch?v=o1H2hdhAgr8>

# Zusammenfassung: was ist Schall

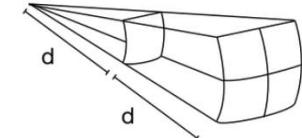
- Schall ist eine sich ausbreitende, dem atmosphärischen Luftdruck überlagerte Druckschwankung
- Die Ausbreitung erfolgt dadurch, dass die schwingende Schallquelle benachbarte Gasmoleküle in Schwingung versetzt, die wiederum benachbarte Moleküle zum Schwingen bringen (Dominoeffekt)
- Die Gasmoleküle oszillieren dabei um ihre Ruhelage (Vor- und Rückschwingung) entlang der Schallausbreitung – Longitudinalwelle
- Dadurch entstehen Verdichtungen (C) und Verdünnungen (R)  
(In Luft Über- und Unterdruck)

- Auslenkung um die Ruhelage entspricht der Luftdruckänderung
- Luftschall → Luftdruckänderung Amplitudenachse Druck p  
(gemessen in Pascal)



- Schallgeschwindigkeit = Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall im Medium
  - **Dichte des Mediums:** je dichter desto schneller die Ausbreitung
  - **Temperatur des Mediums:** je wärmer desto schneller die Ausbreitung
- Die Schallgeschwindigkeit beträgt ...
- ... in Gasen (Luft) **331,5+0,6T<sub>c</sub> m/s** ( $T_c$  = Lufttemperatur)
  - für  $T_c = 20^\circ\text{C} \Rightarrow 343,5 \text{ m/s} = 1236 \text{ km/h}$
- ... in Flüssigkeiten (Wasser 20°C): 1.483 m/s
- ... in Feststoffen:
  - Holz (Eiche): 3.800 m/s, Glas, Eisen: 5.000 m/s
  - Muskel: 1568 m/s, Knochen: 3600 m/s
- Zum Vergleich: Lichtgeschwindigkeit: 299 792 458 m/s ~ **300.000km/s**
  - Ausbreitung von Licht (im Vakuum)
  - Das gilt auch für alle anderen elektromagnetischen Wellen (Naturkonstante)
- **Frage: fällt euch ein Beispiel des täglichen Lebens ein, in dem die unterschiedliche Geschwindigkeit von Schall und Licht deutlich wird?**

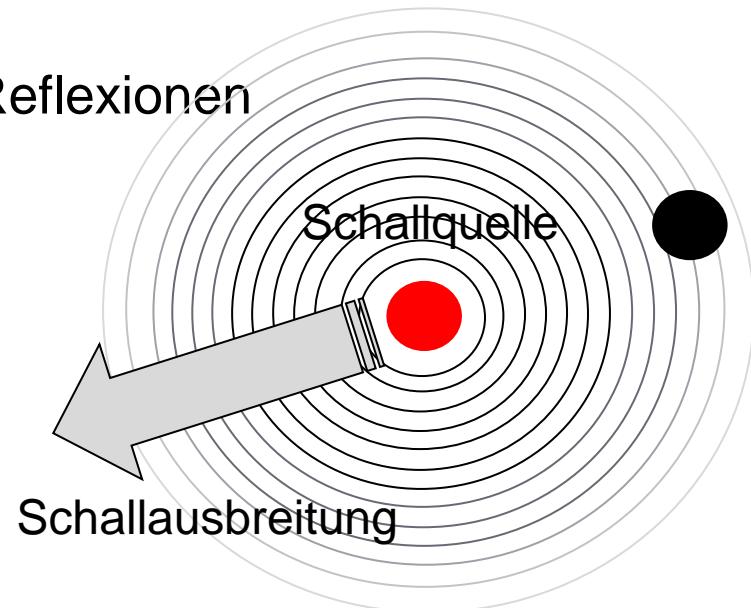
- Schall breitet sich im Medium kugelförmig in alle Richtungen aus
  - Gilt für Nahfeld (1-2m), Punktformige Schallquelle
  - Abstandsgesetz: die gleiche Energie (Schallintensität Watt/m<sup>2</sup>) verteilt sich bei einer **Verdopplung des Abstands r** auf das Vierfache der Fläche
  - **Schalldruck** fällt bei Abstand-Verdoppelung auf die Hälfte
  - Entspricht der Abnahme des **Schalldruckpegels um -6dB**



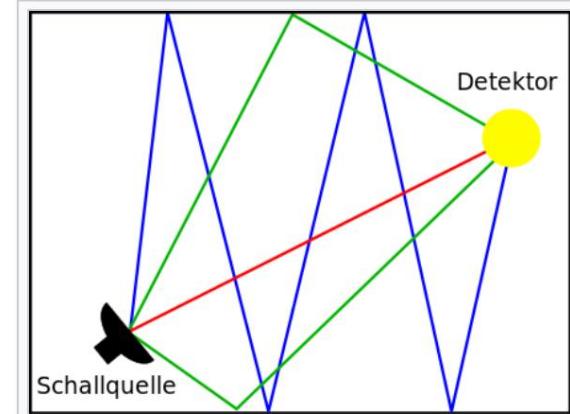
$$-10 \cdot \lg \frac{r_2^2}{r_1^2} = -20 \cdot \lg \frac{r_2}{r_1}$$

- Im geschlossenen Raum: Nachhall durch Reflexionen

- Detektor nahe bei Schallquelle:  
Direktschall überwiegt
  - Detektor weiter weg:  
Summe der Reflexionen überwiegt



- **Nachhall** sind kontinuierliche Reflexionen von Schallwellen in einem geschlossenen Raum - Achtung Hall unterscheidet sich von Echo
  - Echo (auch: **Widerhall**) entsteht, wenn die Reflexionen so stark verzögert sind, dass man sie als separates Hörereignis wahrnimmt
- Hier das Wichtigste zu Nachhall:
- Flächen reflektieren Schall in Abhängigkeit ihrer **Oberflächenbeschaffenheit**
- Glatte Flächen reflektieren Schall wie ein Spiegel das Licht, d.h. Einfalls- gleich Ausfallswinkel
- Raue Strukturen reflektieren in viele Richtungen, je rauer, desto diffuser ist die Reflexion
- Der Reflexionsgrad ist abhängig von Frequenz und Materialbeschaffenheit
  - Hartes Material absorbiert Schall kaum weiches dagegen stärker
- Das ist der Grund, warum in großen Räumen ohne Absorptionsflächen wie Kirchen, Schwimmhallen oder großen Höhlen Nachhall auftritt



Darstellung des Zustandekommens der verschiedenen Halltypen:  
**rot:** Direktschall, **grün:** frühe Reflexionen von den Wänden, **blau:** der Nachhall

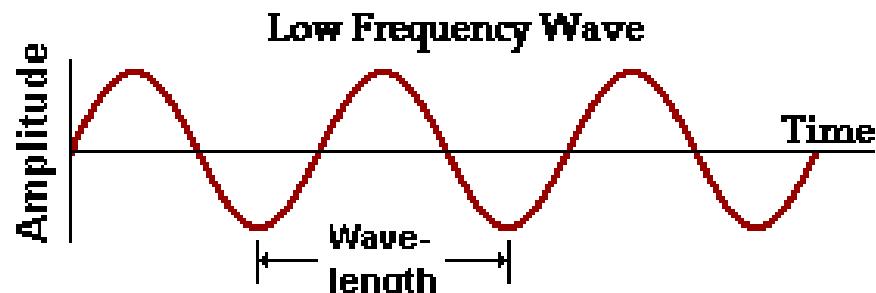
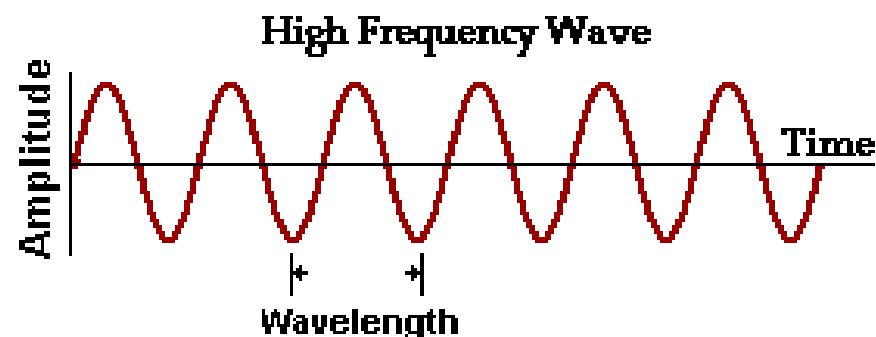
Wikipedia: Nachhall

- Die Luftdruckänderung der Schallwelle ist die **Amplitude A** (in Pascal)
- Die Anzahl der Druckveränderungen pro Sekunde ist die **Frequenz f** der Schallwelle
  - Frequenz wird in der physikalischen Einheit 1/s (Hertz) gemessen.
  - Eine diskrete Frequenz erzeugt einen reinen Sinuston.
  - Geräusche bestehen aus einer Vielzahl von Sinustönen.

$$f = \frac{1}{\text{time}}$$

- Die Geschwindigkeit **v** der Schallwelle und die Frequenz **f** bestimmen die **Wellenlänge l**

$$l = \frac{v}{f}$$



- Der leiseste hörbare Schall verändert den Luftdruck um ca.  $\sim 10^{-5}$  Pascal  
(1 Pascal = 1 N/m<sup>2</sup> = 1 kg/ms<sup>2</sup>)
  - Definition der Hörschwelle in Luft:  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa = 20 µPa (Mikropascal)
- Der lauteste Schall, den man unter Schmerzen wahrnimmt, verändert den Luftdruck um 100 Pa = 10<sup>2</sup> Pa = 10.000.000 µPa
- Aufgrund dieses weiten Bereichs verwendet man statt Schalldruck meist den **Schalldruckpegel** mit logarithmischer Skala in **Dezibel [dB]**
- Bel** drückt die Quantität einer physikalische Größe in Bezug auf einen Referenzpegel aus, daher hat dB keine physikalische Einheit
- Der **Schalldruckpegel** auch kurz SPL (für Sound Pressure Level) ist definiert als logarithmische Größe und gibt den aktuellen Schalldruck P im Verhältnis zur Hörschwelle  $P_0$  an [in dB]

$$SPL = 10 \log_{10} \left( \frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \cdot \log_{10} \frac{P}{P_0} \text{ db}$$

Beispiel: P=100 Pa,  $P_0 = 0,00002$  Pa  
 $P / P_0 = 5.000.000$  db  
 $\log_{10} 5.000.000$  db = 6,699 dB  
 $20 \cdot 6,699$  db = 134 dB (Schmerzgrenze)

**Frage: wieviel dB hat die Hörschwelle?**

# Beispiele für Schalldruckpegel

Threshold of Hearing $P_0$	0dB	Leisester hörbarer 1kHz Schall	6dB
Leises Wohnzimmer	20dB	Leises Flüstern	25dB
Kühlschrank (USA)	40dB	Leises Sprechen	50dB
<b>Normale Unterhaltung</b>	<b>60dB</b>	Hauptverkehrsstraße	90dB
Vorbeifahrendes Motorrad	90dB	Schreien	100dB
Presslufthammer	100dB	Hubschrauber	110dB
Rock Konzert	110dB	Luftsirene	130dB
<b>Schmerzschwelle</b>	<b>134dB</b>	Gewehrschuss	140dB
Unmittelbarer Trommelfellriss	160dB	Raketenstart	180dB

Zwischenmenschliche Konversation (50cm Abstand)	60dB
Nahsprechmikrofon ~ 1Pa	94dB

Für mehr Beispiele siehe auch <https://de.wikipedia.org/wiki/Schalldruckpegel>

- **Schall** wird durch schwingende Materie erzeugt
- Luftschatllwellen breiten mit ca. 300m/s als **Longitudinalwellen** aus
- Die **Amplitude** (Luftdruckänderung in Pascal) bestimmt die Lautstärke
- Die **Frequenz** (Anzahl der Druckänderungen pro Sekunde in Hertz) bestimmt die Tonhöhe
- Große Zahlenbereich in Pascal, daher **Schalldruckpegel** definiert, der den aktuellen Schalldruck im Verhältnis zur Hörschwelle in dB angibt
- Doppelter Abstand von Schallquelle reduziert den Pegel um -6db
- In geschlossen Räumen sind das Verhältnis von Direktschall und **Reflexionen** (Nachhall) wichtig für die Hör-/Aufnahmequalität
- Für gute Sprachverständlichkeit:
  - Reflexionsarm  
(raue weiche Flächen statt glatte harte)
  - Hohen Anteil an Direktschall

Gute Einführung auf Youtube: sonic-vision.tv

