

# Auditive & visuelle Wahrnehmung

Markus Reichl

12. Mai 2018

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Wahrnehmung historisch betrachtet</b>	<b>2</b>
1.1	Schall . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Auditive &amp; Visuelle Systeme</b>	<b>3</b>
2.1	Auditives System . . . . .	3
2.1.1	Außenohr . . . . .	3
2.1.2	Mittelohr . . . . .	4
2.1.3	Innenohr . . . . .	4
2.2	Schädigung der Ohren . . . . .	5
2.2.1	Lärmschwerhörigkeit . . . . .	5
2.2.2	Knalltrauma . . . . .	5
2.2.3	Ohrgeräusche (Tinnitus) . . . . .	6
2.2.4	Schutz der Ohren . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Auditive &amp; visuelle Messgrößen</b>	<b>7</b>
3.1	Schall . . . . .	7
3.1.1	Schallgeschwindigkeit . . . . .	7
3.1.2	Schallfeldgrößen . . . . .	8
	<b>Glossar</b>	<b>9</b>
	<b>Akronyme</b>	<b>9</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>9</b>

# 1 Wahrnehmung historisch betrachtet

## 1.1 Schall

Bereits um 1640 hatte der Mathematiker Marin Mersenne (1588-1648) eine Schallgeschwindigkeit von 300 m/s ermittelt, indem die Differenz zwischen Lichtblitz und Knall nach abfeuern einer Kanone, aus einer bestimmten Entfernung gemessen wurde. Im Jahr 1827 ermittelte man in Genf durch ein ähnliches Experiment, eine Schallgeschwindigkeit von 1485 m/s im Wasser.

## 2 Auditive & Visuelle Systeme

### 2.1 Auditives System

Das auditive System nimmt Schallereignisse wahr und vermittelt diese an das Gehirn. Es teilt sich dabei in peripheres und zentrales auditives System, welche je Aufnahme und Vermittlung übernehmen.

Das periphere auditive System umfasst die anatomischen Strukturen, die zur Wahrnehmung der Druckschwankungen dienen. Diese werden wiederum in Außenohr, Mittelohr und Innenohr unterteilt.

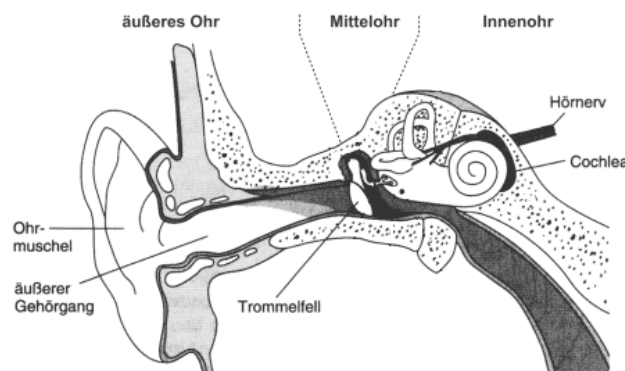


Abbildung 1: Auditives System am Menschen [1]

Das zentrale auditive System beinhaltet den Hörnerv, welcher die Signale des peripheren Systems übermittelt, sowie Regionen des Gehirns, welche diese Informationen auditiv verarbeiten. Es wird hier thematisch bedingt nicht behandelt.

#### 2.1.1 Außenohr

Das Außenohr umfasst die Ohrmuschel, sowie den äußeren Gehörgang. Am Menschen ist sie ein nahezu funktionsloses Relikt der Evolution, während sie bei den meisten Säugetieren aktiv bewegt werden kann und zur Schallortung eingesetzt wird.

Der Gehörgang dient zum Schutz der Sinnesorgane im Innenohr und optimiert zudem durch Resonanzeffekte das Hören von Information. Damit wird unter anderem die Sprachverständlichkeit verbessert, indem die wichtigen Frequenzanteile zwischen 2 und 4 Kilohertz (kHz) hervorgehoben werden.

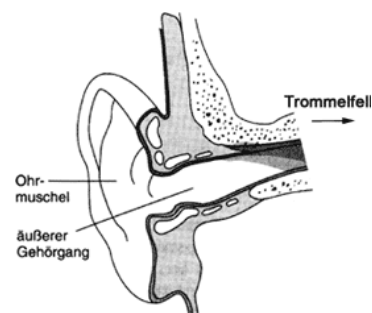


Abbildung 2: Außenohr am Menschen [2]

### 2.1.2 Mittelohr

„Am Ende des äußeren Gehörgangs liegt das Trommelfell. Diese Membran die Schwingungen der Luft auf die Knochenstrukturen des Mittelohrs.“ - NetAudio, 2003 [3]

Im Mittelohr befinden sich drei miteinander verbundene Knöchelchen, welche als Ossikel bezeichnet werden. Direkt am Trommelfell befindet sich der Hammer (Malleus), der Schwingungen an Amboss (Incus) und Steigbügel (Stapes) weitergibt.

Der Steigbügel sitzt dabei auf einer Membran, die eine Öffnung zum Innenohr abdeckt, und leitet so durch seine Bewegung, Schwingungen an die Hörschnecke (Cochlea) weiter.

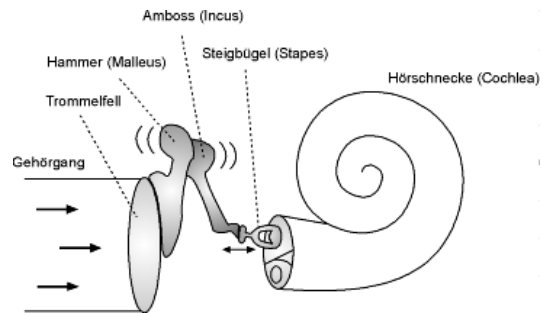


Abbildung 3: Knöchelchen im Mittelohr [3]

### 2.1.3 Innenohr

Den wichtigsten Teil des Innenohrs bildet die Hörschnecke (Cochlea), welche in obiger Abbildung 3 rechts zu sehen ist.

In der Hörschnecke befindet sich zwischen zwei Membranen (Basilarmembran und Tektorialmembran), das eigentliche Sinnesorgan, das Cortische Organ. Die Druckwellen in der Hörschnecke eine Wellenbewegung auf der Basilarmembran aus. Kleinste Haarzellen am Cortischen Organ, reiben an der Oberfläche der Tektorialmembran und veranlassen eine Ausschüttung chemischer Botenstoffe, welche wiederum Signale an das zentrale auditive System weiterleiten.

## 2.2 Schädigung der Ohren

Temporäre Gehörschäden können bereits nach wenigen Stunden unter einer Lärmintensität von mehr als 85 Dezibel (dB) oder einer Frequenz von 4 kHz<sup>1</sup> zustande kommen. Diese werden meist als Hörermüdungen bezeichnet.

### 2.2.1 Lärmschwerhörigkeit

Lärmschwerhörigkeit beschreibt die Beeinträchtigung des Hörvermögens durch regelmäßige Lärmbelastung. Diese führt in weiterer Folge dazu, dass etwa Sprache und niedrige Frequenzen nicht mehr oder nur eingeschränkt verstanden werden können.

Die Entwicklung einer Lärmschwerhörigkeit ist abhängig von der

- Dauer der Lärmexposition,
- Pegel und Frequenz des einwirkenden Lärms,
- Lärmpausen während der Exposition.

Im Jahr 2015 ging die Lärmschwerhörigkeit, auf Basis einer Studie der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) [5], als häufigste Berufskrankheit hervor, nachdem dieser 564 aus 1.093 Berufskrankheiten von Erwerbstätigen zugeordnet wurden.

### 2.2.2 Knalltrauma

Entgegen einer Lärmschwerhörigkeit wird beim Knalltrauma das Innenohr, durch das Einwirken eines sehr hohen Schalldrucks geschädigt. Meist ist dies bereits bei einer sehr kurzen Exposition von wenigen Millisekunden der Fall. Ein längeres Einwirken führt zur Verletzung des Trommelfells und der Knöchelchen im Mittelohr, welche als Explosionstrauma bezeichnet wird.

Ursachen von Knalltraumata sind etwa Knallkörper, Schüsse, Sprengungen oder Schläge auf das Ohr.

Zu den Symptomen zählen meist

- Hörverlust,
- Ohrgeräusche (Abschnitt 2.2.3),
- Geräuschempfindlichkeit oder
- Gleichgewichtsstörungen

<sup>1</sup> Ab 4 kHz wird die unterste Windung der Hörschnecke belastet, was zu einer Schädigung der Haarzellen führt.

### 2.2.3 Ohrgeräusche (Tinnitus)

„Medizinisch definiert ist der Tinnitus als akustische Wahrnehmung, die ohne entsprechenden akustischen Reiz von außerhalb des Körpers entsteht und keinen Informationsgehalt besitzt. Letzteres grenzt den Tinnitus von akustischen Halluzinationen ab, bei denen die Betroffenen beispielsweise Stimmen hören.“ — Ulrich Kraft, 2015 [7]

Prinzipiell werden 2 Formen des Tinnitus unterschieden. Beim selteneren objektiven Tinnitus gibt es eine körpereigene, messbare Schallquelle, während beim subjektiven Tinnitus nur von den Betroffenen, Töne und Geräusche wahrgenommen werden.

Der objektive Tinnitus entsteht zum Beispiel durch

- Verengungen von Blutgefäßen,
- Verkrampfungen von Muskeln in der Nähe des Ohrs oder
- Tumore im Mittelohr.

Die Entstehung des subjektiven Tinnitus wird meist in körperliche und psychische Ursachen unterteilt. Körperlicher Natur sind etwa der *Hörsturz*, *Mittelohrentzündungen*, *Medikamente*, *Drogen* und auch *Verspannungen*. Psychische Ursachen sind vorwiegend *Stress*, *Lärmbelastung* und *allgemeine psychische Belastungen*.

### 2.2.4 Schutz der Ohren

Hörschäden zu vermeiden ist wesentlich leichter, als diese wieder zu beheben. Häufig genannte Möglichkeiten zum Schutz der Ohren sind etwa die

- **Reduktion der Lautstärke:** Fernseher, Musik und Spiele müssen nicht laut sein.
- **Reduktion von Lärmquellen:** Auch die Anzahl der verschiedenen Geräuschquellen wirkt sich negativ auf das Gehör aus. Nicht benötigte Geräte können zu diesem Zweck auch ausgeschaltet werden.
- **Anschaffung leiser Geräte:** Beim Kauf eines Geräts auf die Lautstärke eines Produkts zu achten kann im Extremfall sogar Langzeitschäden Vermeiden.
- **Verwendung von Ohrenschützern:** Eine dauerhaft laute Umgebung sollte immer mit Ohrenschützern betreten werden. In einigen Arbeitsbereichen ist das Tragen von diesen sogar gesetzlich vorgeschrieben.

### 3 Auditive & visuelle Messgrößen

#### 3.1 Schall

„Mechanische Longitudinalwellen werden als Schall bezeichnet. In einem Frequenzbereich von 16 Hz bis 20 kHz sind sie für das menschliche Ohr wahrnehmbar. Liegen die Frequenzen unter diesem Bereich, so bezeichnet man diese Wellen als Infraschall, darüber als Ultraschall.“ [6, S. 145]

Die Messgrößen der Welle und unsere Wahrnehmung des Schalls hängen stark zusammen. Beispiele sind etwa Amplitude und Lautstärke, Frequenz und Tonhöhe, sowie Form und Klangfarbe.

In der Akustik werden konkret meist folgende Schalleindrücke unterschieden:

Begriff	Eigenschaften
<b>Ton</b>	harmonische Welle
<b>Klang</b>	Überlagerung von Sinuswellen
<b>Geräusch</b>	Gemisch nicht-periodischer <sup>1</sup> Wellen
<b>Knall</b>	kurz sehr hohe, dann niedrige Amplitude

##### 3.1.1 Schallgeschwindigkeit

Die Grundformel für die Schallgeschwindigkeit entspricht jener der Ausbreitungsgeschwindigkeit mechanischer Wellen.

$$c = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

$c$	...	Schallgeschwindigkeit
$\sigma$	...	Maß für die Kopplung
$\rho$	...	Maß für die Trägheit

In Festkörpern entspricht  $\sigma$  dem *Elastizitätsmodul* und in Flüssigkeiten dem *Kompressionsmodul*. In beiden Fällen wird  $\rho$  durch die Dichte des Stoffs ersetzt.

Für Gase gilt:

$$c = \sqrt{\kappa R_s T}$$

$\kappa$	...	Isentropenexponent
$R_s$	...	Gaskonstante
$T$	...	absolute Temperatur

In sehr guter Übereinstimmung mit dem in trockener Luft gemessenen Wert, kann zu diesem ein  $c$  von 340 m/s berechnet werden. In Flüssigkeiten liegen die Geschwindigkeiten meist über denen der Luft.

<sup>1</sup> Amplitude, Frequenz und Form variieren nach Zeit

### 3.1.2 Schallfeldgrößen

Ein von Schallwellen durchsetzter Raum wird als Schallfeld bezeichnet. In diesem sind außer Frequenz, Amplitude und Ausbreitungsgeschwindigkeit noch weitere Größen von Interesse.

**Schallschnelle**  $u$  Bewegungsgeschwindigkeit der Teilchen im Schallfeld. Nicht zu verwechseln mit der Schallgeschwindigkeit.

**Effektiver Schalldruck** Mittelwert (Effektivwert) der Amplituden jener Druckschwankungen, welche durch Schallwellen erzeugt werden.

$$p_{\text{eff}} = \frac{\rho c u}{\sqrt{2}}$$

$p_{\text{eff}}$  ... Effektiver Schalldruck

**Intensität** Energie die pro Sekunde eine Fläche von  $1\text{m}^2$  durchdringt.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{p_{\text{eff}}^2}{\rho c}$$

$P$  ... Schallleistung

$A$  ... Fläche



## Glossar

**Elastizitätsmodul** „Der Elastizitätsmodul ist ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik, der den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers bei linear-elastischem Verhalten beschreibt.“ [4]. 7

**Isentropenexponent** Der Isentropenexponent (auch Adiabatenkoeffizient genannt), beschreibt das Verhältnis zwischen massebezogener und molarer Wärmekapazität von Gasen bei konstantem Druck und Volumen. 7

**Kompressionsmodul** Der Kompressionsmodul beschreibt die nötige Druckänderung, um eine bestimmte Volumenänderung hervorzurufen.. 7

## Akronyme

**AUVA** Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt. 5

**dB** Dezibel. 5

**kHz** Kilohertz. 3, 5

## Literaturverzeichnis

- [1] *Auditive Wahrnehmung und kritische Bandbreiten: Das auditive System*. 21.2.2018. NetAudio. 2003. URL: <http://www.netaudio.de/psychoakustik/Daten/physiologie/begriffe.htm>.
- [2] *Auditive Wahrnehmung und kritische Bandbreiten: Das Außenohr*. 21.2.2018. NetAudio. 2003. URL: <http://www.netaudio.de/psychoakustik/Daten/physiologie/aussenohr.htm>.
- [3] *Auditive Wahrnehmung und kritische Bandbreiten: Das Mittelohr*. 21.2.2018. NetAudio. 2003. URL: <http://www.netaudio.de/psychoakustik/Daten/physiologie/mittelohr.htm>.
- [4] Wikipedia Autoren. *Elastizitätsmodul*. 21.2.2018. Wikipedia. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Elastizitätsmodul>.
- [5] *Berufskrankheit*. 21.2.2018. AUVA. 2015. URL: <https://www.auva.at/portal27/auvaportal/content?contentid=10007.671002>.
- [6] Lutz Trieb Christian Schweitzer Peter Svoboda. *Physik 1. Mechanik, Thermodynamik, Optik*. 7. Auflage. Veritas, 2011, S. 145–150. 296 S.
- [7] Arzt und Medizinjournalist Ulrich Kraft. *Tinnitus - Ohrgeräusche*. 21.2.2018. Netdoktor. 2015. URL: <https://www.netdoktor.at/krankheit/tinnitus-7873>.

## Abbildungsverzeichnis

1	<a href="#">Auditives System am Menschen [1]</a>	3
2	<a href="#">Außenohr am Menschen [2]</a>	3
3	<a href="#">Knöchelchen im Mittelohr [3]</a>	4