

Interaktive Systeme

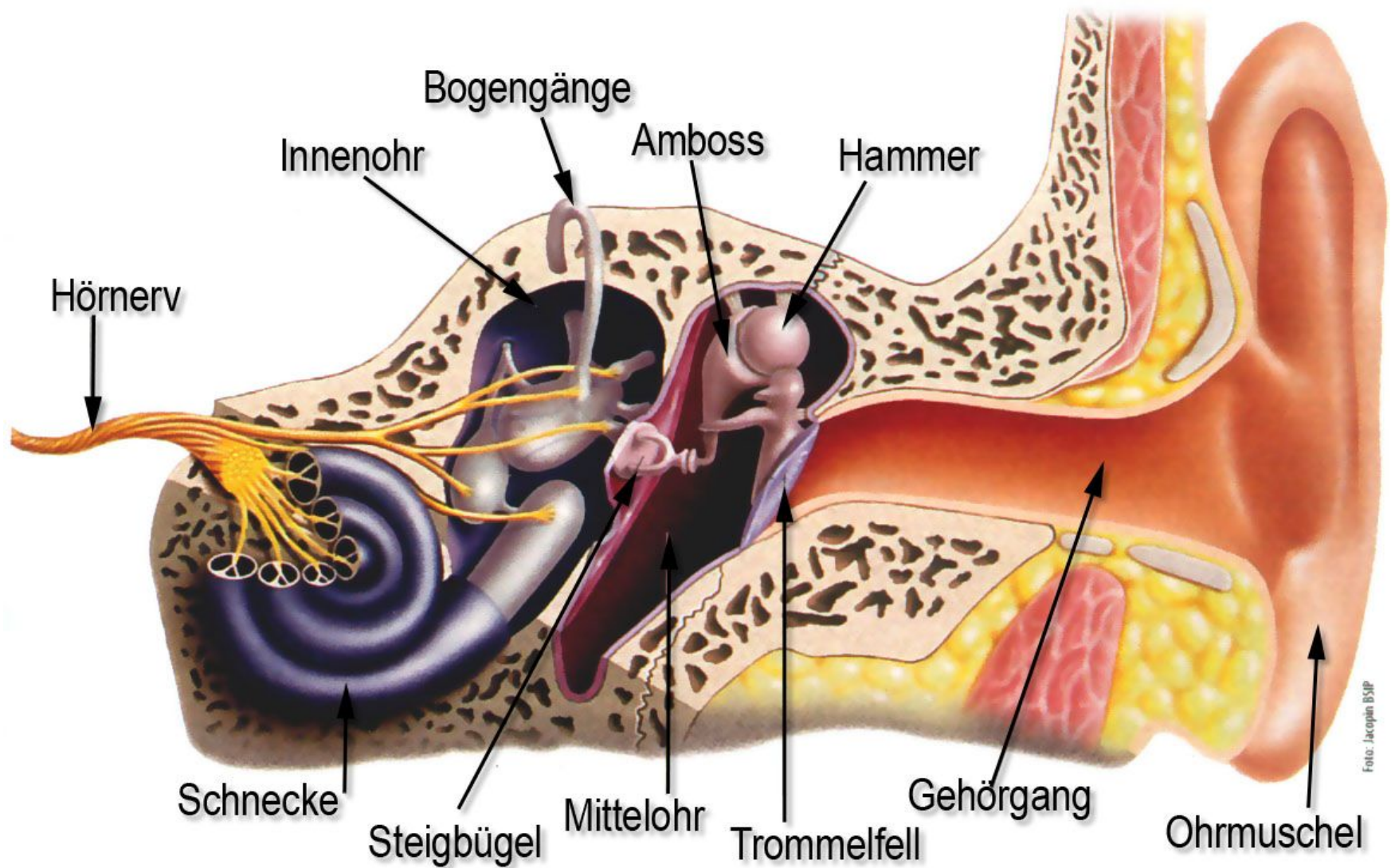
4. Wahrnehmung: Hören

Prof. Dr. Eckhard Kruse

DHBW Mannheim

Halten Sie sich die Ohren zu:
Um wie viel Prozent reduziert sich (subjektiv) der
Umfang der wahrgenommenen Informationen?

Ohr



Bildquelle: www.zacho.de

Ohr - hören

Wahrnehmung von Schallwellen (= Luftschwingungen im hörbaren Frequenzbereich):

- Ohrmuschel: fängt Schallwellen auf und leitet diese an das Mittelohr weiter
- Mittelohr: Schallwellen regen das Trommelfell an
- Bewegungen des Trommelfeldes werden über die Gehörknöchelchen (Amboß, Hammer und Steigbügel) an die Schnecke übertragen
- Schnecke wandelt die mechanische Energie in elektrische Signale
- Weiterleitung der Signale über den Hörnerv an das Gehirn

Frequenzbereich ~ 20Hz – 20kHz

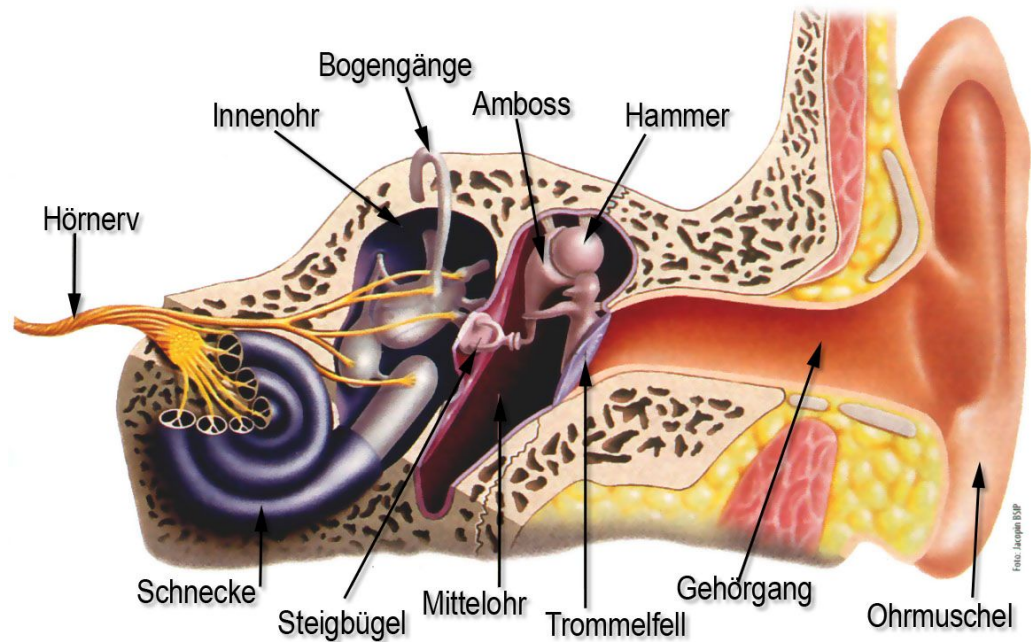
Dynamikbereich: 100dB

(Unbehaglichkeitsschwelle / Hörschwelle)
(16Bit CD: 96dB)

(10dB Zuwachs entspricht zehnfacher Schallintensität,
wird als doppelt so laut empfunden)

Reizparameter → Sinneseindrücke:

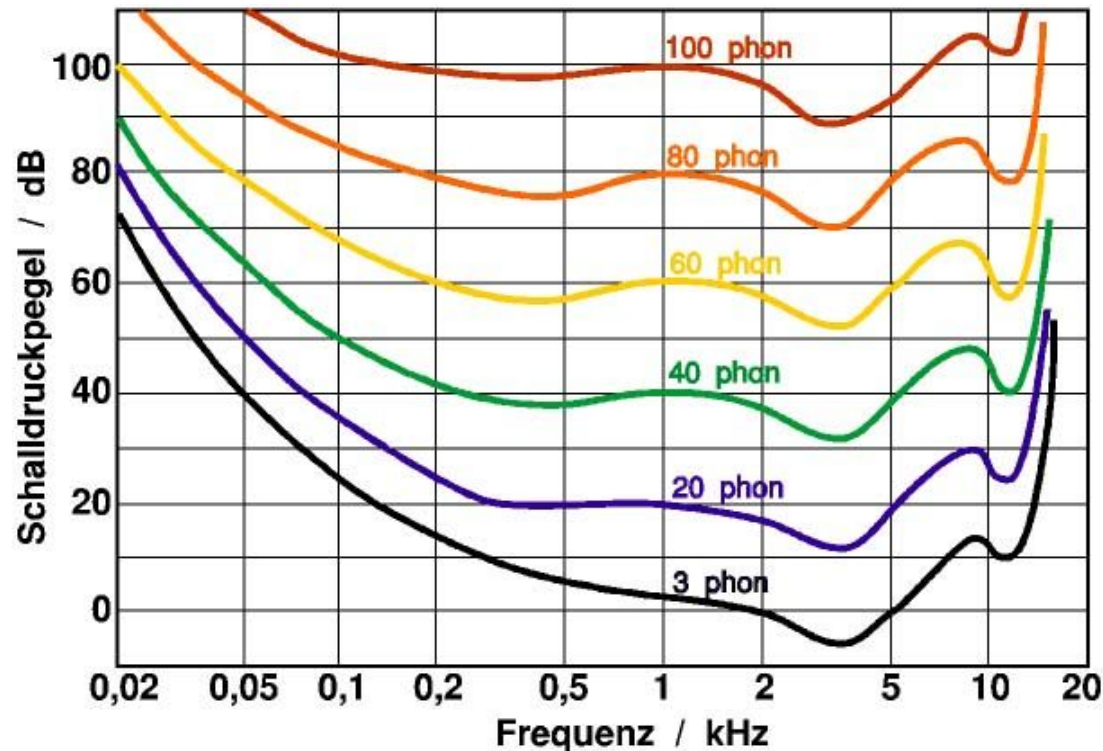
- Schalldruck → Lautstärke
- Frequenz → Tonhöhe
- Frequenzgemisch → Klangfarbe



Ohr - Frequenzempfindlichkeit

Die Schallempfindlichkeit variiert mit der Frequenz.

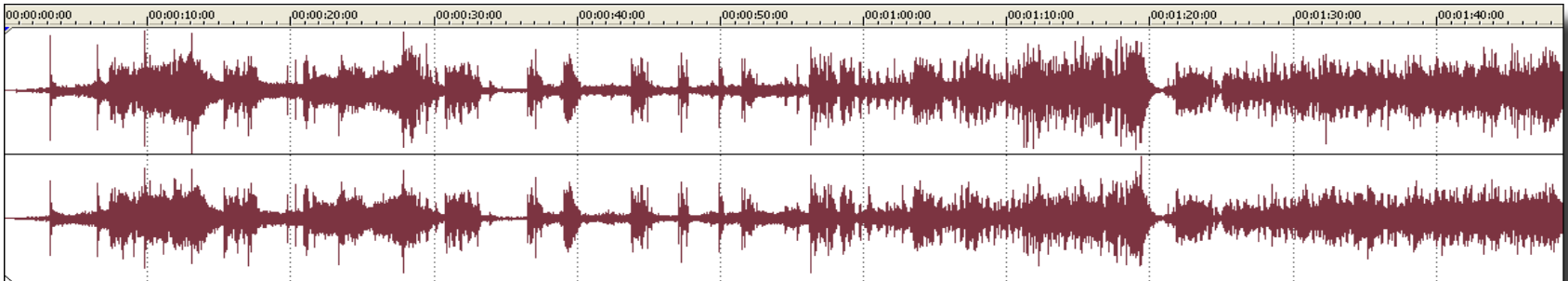
- Phon als Maßeinheit für gleich empfundene Lautstärke.
- Größter Dynamikbereich im Bereich der Sprache (→ Formanten)
- → Loudness-Taste verstärkt Höhen und Bässe, um bei leiser Audiowiedergabe das Spektrum dem Hörvermögen anzupassen.



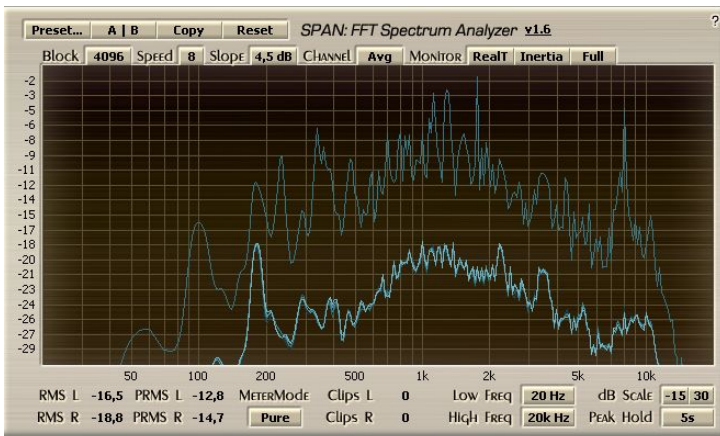
Bildquelle: Wikipedia

Darstellung von Audiosignalen

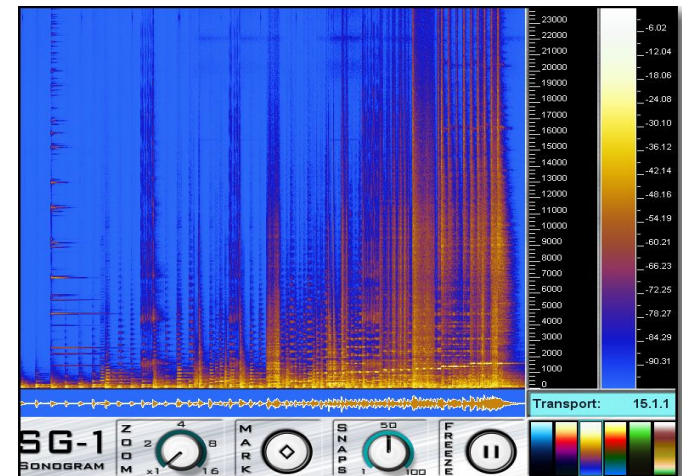
Um Audiosignale analysieren und bewerten zu können, ist eine visuelle Darstellung oft sehr hilfreich.



Schallpegel (Stereo) entlang Zeitachse



Frequenzspektrum zu einem Zeitpunkt



Frequenzspektrum entlang Zeitachse

Frequenzspektrum

**Gleichzeitige Darstellung
verschiedener Bildinformationen
→ räumliche Anordnung**

Und bei Audio?



**Gleichzeitige Darstellung verschiedener Audioinformationen
→ Anordnung im Frequenzspektrum**

z.B.:

- Mix in Musik: Instrumente im Frequenzbereich des Gesangs absenken, gleichmäßige Nutzung des gesamten Spektrums
- Warnsignale, Sirenen → hohe Frequenzen (hohe Energie + außerhalb der Alltagsgeräusche)
- Sprache: Verschiedene Frequenzbereiche → verschiedene Funktionen: Grundton, Formanten, Präsenz
- Maskierung als Grundlage von Audiokompression

Übung

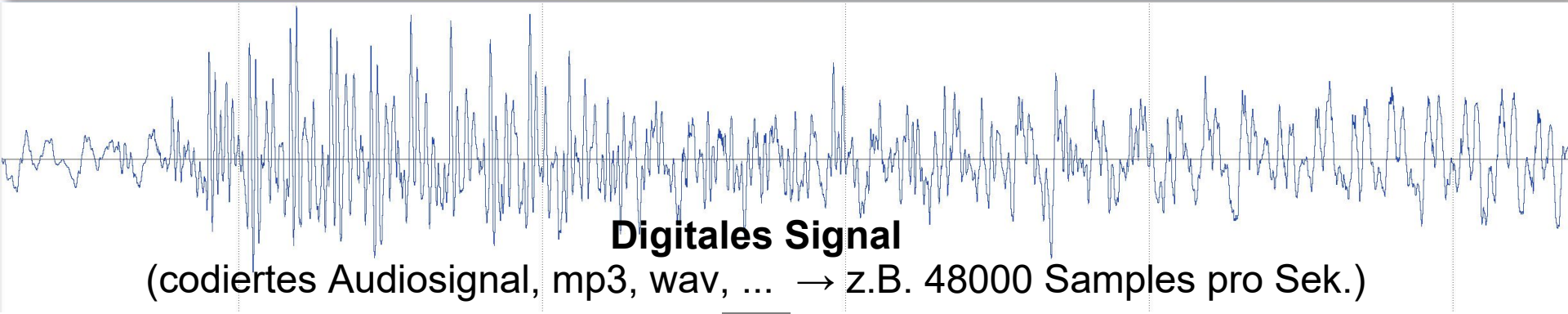
4.1 Frequenzspektrum

Untersuchen Sie das Spektrum von Audiosignalen.

- Entscheiden Sie sich für ein Audiowerkzeug Ihrer Wahl:
 - z.B. Standard-Mediaplayer
 - Reaper (www.reaper.fm),
 - ggf. Web-Tools, z.B. <https://academo.org/demos/spectrum-analyzer/>
- Wählen Sie verschiedene Audiosignale
 - Systemsounds des Betriebssystems
 - Musik, Sprache
 - ggf. Geräusche über das Laptop-Mikro selbst aufnehmen
- Betrachten Sie das Spektrum der Audiosignale
 - Welche Frequenzbereiche werden wie intensiv genutzt?
 - Wie verändert sich das Spektrum über der Zeit?
- Filtern Sie die Signale, indem Sie Bereiche des Spektrums ausblenden bzw. nur ein Frequenzband durchlassen (→ Bandpassfilter, Equalizer)
 - Welche Frequenzbereiche sind für die Funktion des Audiosignals (z.B. Sprachverständnis, Signalwirkung...) unverzichtbar?
 - Welche Bereiche machen 'den Klang schön'?



Akustikausgabe



Soundkarte

Elektrisches Signal
(Spannung entspricht Audiosignal)



Lautsprecher/Kopfhörer

(Ein, zwei, mehrere Kanäle:
Mono, Stereo, Surround)

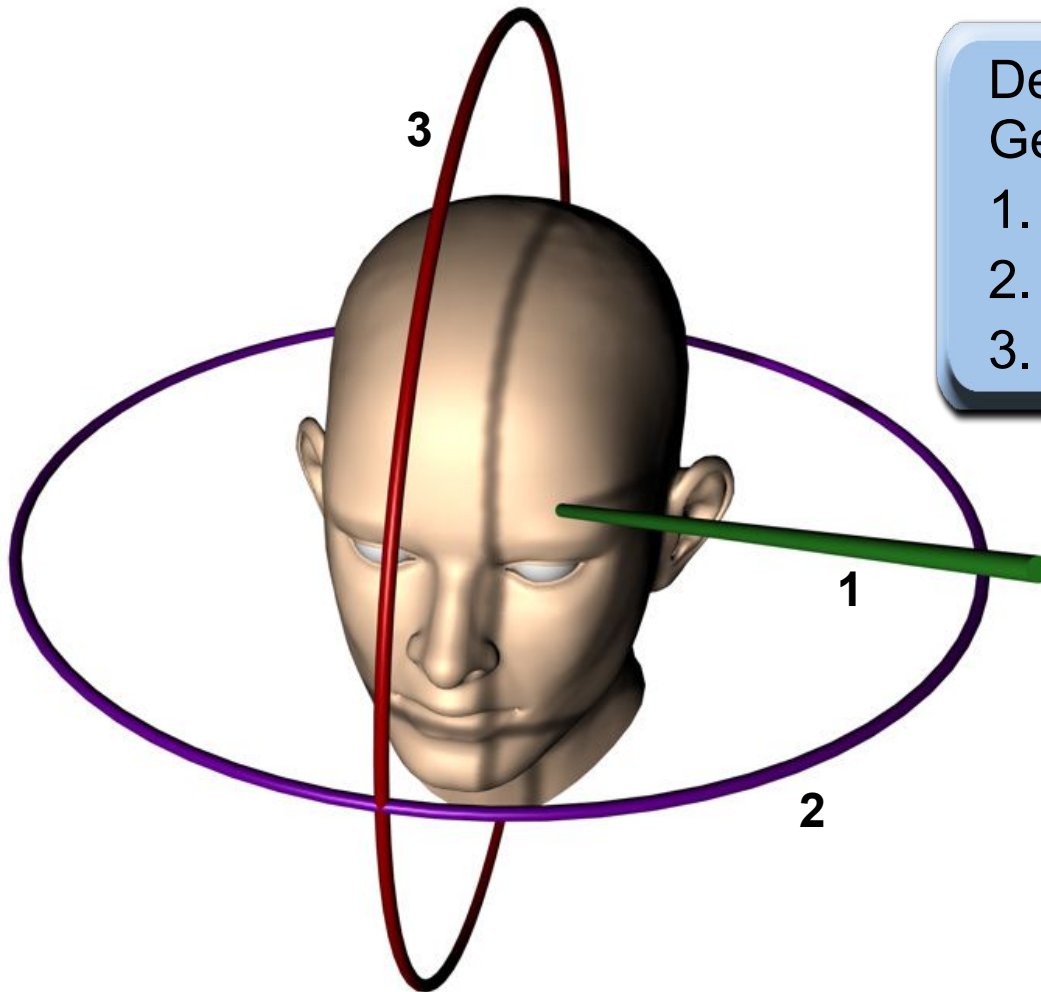
Luftdruck/Luftschwingungen



Ohr

Räumliches Hören

Räumliches bzw. binaurales ("zweiohriges") Hören:



Der Mensch ist in der Lage, Geräusche im Raum zu orten:

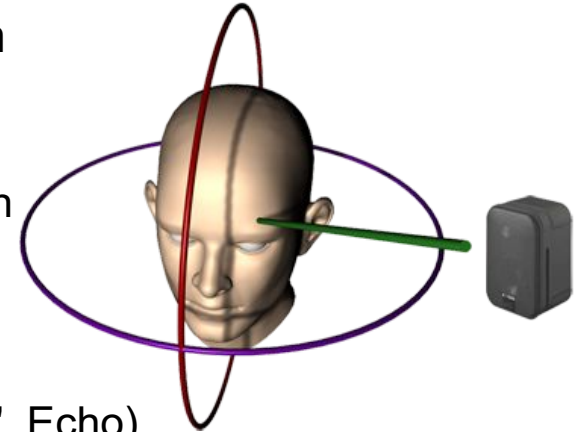
1. Entfernung
2. Winkel Horizontalebene
3. Winkel Medianebene

Wie geht das?

Räumliches Hören

Der Mensch ist in der Lage, mit seinen zwei Ohren Geräusche im Raum zu orten anhand von:

- Lautstärke (weiter weg=leiser)
- Laufzeit-/Phasen-Differenzen zwischen beiden Ohren
- Kopf bewirkt Abschattung des Schallfeldes:
 - Pegeldifferenzen zwischen beiden Ohren
 - Frequenzabhängige Filterung
- Klanghinweise des Raumes (Hall, "Early Reflections", Echo)
- Bewegung der Klangquelle: Dopplereffekt
- Die Form des eigenen Kopfes und der Hörmuschel spielen eine große Rolle
 - Kunstkopfaufnahmen/Simulationen sind daher immer nur eine Näherung



Künstliche Erzeugung des 3D-Klangeindrucks

- Kunstkopfaufnahme
- Simulation mit Audio-Software oder in Audio-Hardware, MP3-Player
- Wiedergabe über Kopfhörer (mit Einschränkungen auch über Lautsprecher)

Audiotools zur Berechnung von 3D-Klangräumen für binaurale Wiedergabe:

- z.B. Panorama VST Plugin (<http://wavearts.com/>)



Übung

4.2 Verwendung von Audio

Betrachten Sie die Verwendung von Audio in Betriebssystemen, Standardanwendungen, mobilen Endgeräten und anderen interaktiven technischen Systemen:

- a) Welche Art von Audio wird für welche Zwecke verwendet?
- b) Inwieweit hängt die Verwendung vom Einsatzgebiet ab? Was ist üblich/Standard? Was eher selten/Spielerei?
- c) Was finden Sie hilfreich oder unverzichtbar? Was ist eher störend?
- d) Wo sehen Sie ungenutztes Potenzial?
- e) Wie beurteilen Sie Skeuomorphismus in Bezug auf Audionutzung?

Audioausgabe: Sprache

Anwendungsbereiche:

- Übertragung von Informationen (Text)
- Die technische Anwendung unterstützt nur Audio (Radio, Telefon, Sprachsysteme...)
- Als zusätzlicher Kanal zur visuellen Darstellung (Video, Vorlesung, ...)
- Sehen wird für andere Aufgaben benötigt (Assistenzsysteme z.B. im Auto)
- Menschen mit Sehbehinderungen (z.B. Microsoft Narrator beschreibt GUI)
- Nicht nur der Text, sondern auch der Klang der Sprache kann wichtig sein (Fremdsprachen lernen, Hörspiel/Emotionen)

Wie beurteilen Sie die Verwendung von Sprache in Standardanwendungen, Betriebssystemen usw.? Häufigkeit, Nutzen, Probleme?



Text to Speech

Text to Speech (TTS):
Automatische Sprachsynthese aus gegebenem Text

Varianten:

- OS Screenreader für Barrierefreiheit (z.B. Microsoft Narrator)
- Online/Cloud-Lösungen
- Komponente in Office-Tools
- Stand-Alone-Software
- Bibliotheken/APIs

Software-Überblick:

<https://www.techradar.com/news/the-best-free-text-to-speech-software>

- Probieren Sie:
 - Screen-Reader wie z.B. Microsoft Narrator
 - Online TTS, z.B. www.naturalreaders.com, speechify.com/text-to-speech-online
- Wie beurteilen Sie die textbasierte Sprachsynthese?

Audioausgabe: Signale / Warnungen

- Lenken der Aufmerksamkeit des Benutzers, z.B. bei erforderlichen Eingaben
- Warnmeldungen, Status, Betriebszustände
- Abstufungen: Hinweise (dezent) ↔ Warnungen/Fehler (auffällig)
- meist kurze, einfache Klänge
- Tonintervalle (z.B. Quarte bei Polizei/Feuerwehr → Signalwirkung)
- hochfrequent (+laut) → hörbar in Geräuschkulisse
- Sicherheitskritische Systeme: Sirene/Daueralarm (ggf. bis Alarmmeldung bestätigt wurde)

Weitere
Beispiele?

- Welche Signaltöne verwendet Ihr Betriebssysteme für welche Zwecke?
- Inwieweit lassen sich die Töne ändern/umkonfigurieren?
- Konfigurieren testweise besonders günstige/ungünstige Profile.

Atmosphäre und Emotion

Audioausgabe: Atmosphäre und Emotion

Geräusche, Klänge, ggf. Musik:

- Vermittlung von Emotionen/Gefühlen
 - wichtig und gezielt eingesetzt bei Spielen
 - aber auch z.B. im Hinblick auf bestimmte Produkteigenschaften
 - User Experience
- vgl. Produktdesign außerhalb der IT:
 - z.B. Sounddesign für Autos: Türen, Motor usw. sollen hochwertig und charakteristisch klingen.

- Inwieweit können Klänge zur User Experience beitragen?
- Wie beurteilen Sie den Einsatz von Musik in interaktiven Systemen?

Übung

4.3 GUI Sounddesign

Entwickeln Sie ein Sounddesign für Ihre Benutzerschnittstelle:

- a) Überlegen Sie sich ein Konzept für die zu vermittelnde Botschaft:
z.B. hochwertig, riesengroß, klein/zierlich, geschmeidig, verrostet...
- b) Was sind passende Klänge für typische Benutzeraktionen (Fenster öffnen, schließen, Warnhinweis)?
- c) Inwieweit ließe sich (simulierte) Raumakustik gezielt einsetzen (großer/kleiner Raum, viel/wenig Hall, Echo...)?
- d) Laden Sie geeignete Sounds aus dem Internet, modifizieren Sie sie ggf. (z.B. mit Reaper).
- e) Konfigurieren Sie Ihr Betriebssystem mit den von Ihnen aufbereiteten Klängen.

Hören als Haptik-Ersatz

"Wer nicht fühlen will, muss hören"

Da haptisches Feedback technisch aufwendig ist, wird es oft ersetzt, indem durch akustische Signale Feedback gegeben wird.

Beispiele?

- Akustische Signale: direkter, auffälliger, unmittelbarer als optische Signale
- Hören statt Haptik: kein vollwertiger Ersatz, eher eine Notlösung

Sonifikation/Audifikation:

Information als (nicht-sprachlichen) Klang darstellen
(vgl. Visualisierung → Auge, Sonifikation → Ohr)

Wann/warum ist das gut? Beispiele?

Auch in Forschung, Kunst und Medien, z.B.:

- Sortieralgorithmen: <https://panthema.net/2013/sound-of-sorting/>
- New NASA Black Hole Sonifications with a Remix
https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/news/new-nasa-black-hole-sonifications-with-a-remix.html
- „Inner Earth: A Seismosonic Symphony“
<https://www.uni-potsdam.de/de/soundscapelab/soundscape-earth/inner-earth>
- In der medizinischen Diagnostik

Programmieraufgabe: Audioausgabe



Übung

4.4 Hören statt Fühlen

Entwickeln Sie ein Programm, welches Materialeigenschaften durch Akustik vermittelt.

- a) Spielen Sie passende Klänge, wenn der Mauszeiger die Flächen berührt bzw. darüber hinwegstreicht.
 - Berücksichtigen Sie die Mauszeigergeschwindigkeit:
Schnelle Bewegung → lauter + ggf. höherer Ton
 - Nutzen Sie ggf. auch Überblendungen zwischen Klängen
- b) Wählen Sie Materialien mit charakteristischen Eigenschaften, z.B. Holz, Glas, Pappe, Kies, Gummi, Wasser ...
 - Optional: Wählen Sie weitere Klänge, eine andere Szene oder verwenden Sie Aufnahmen von (ihrer eigenen) Sprache
- c) Optional/alternativ:
 - Modifizieren Sie das Programm, so dass es Daten/beliebige Dateien „sonifiziert“.
 - Experimentieren Sie mit einer Stimmaufnahme als Audiodatei

Übung

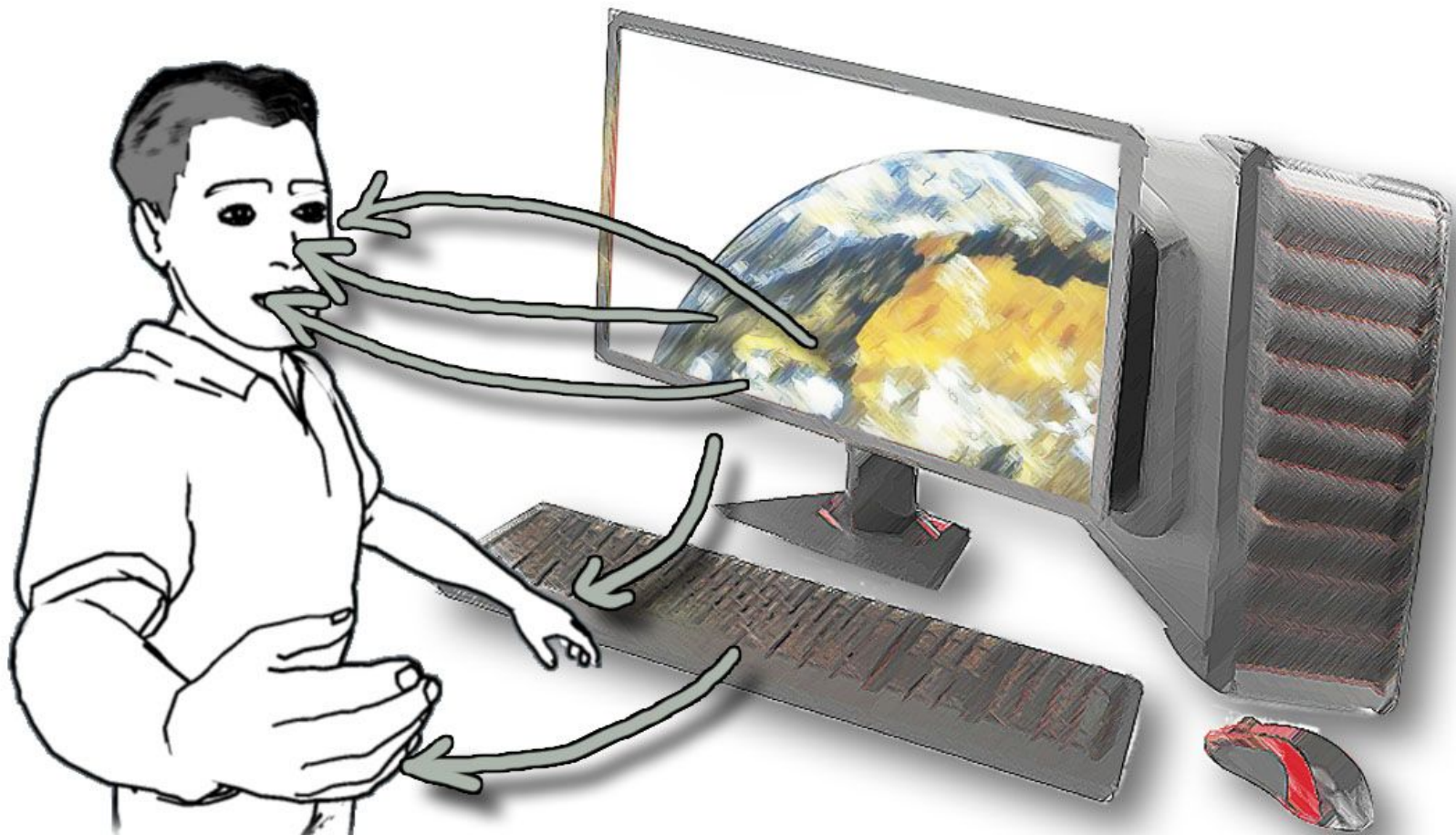
4.5 Material Design - Sound

Untersuchen Sie die Empfehlungen des Material Designs zur Audioverwendung:

<https://material.io/design/sound>

- a) Welche Prinzipien, Einsatzbereiche und Arten von Audio werden genannt?
- b) Inwieweit finden Sie die in der Vorlesung vorgestellten Konzepte wieder? Gibt es Unterschiede?

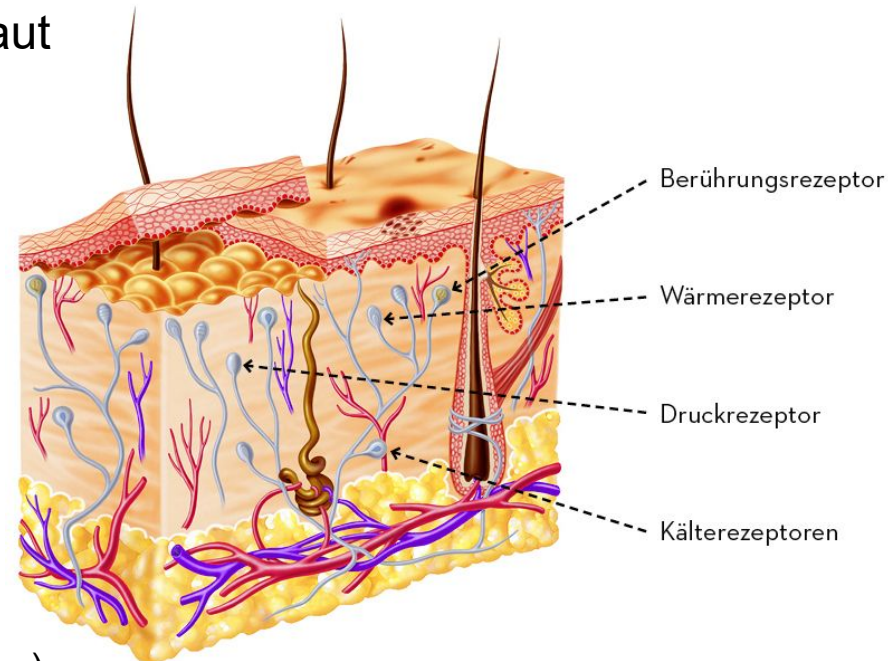
Wahrnehmung: Weitere Sinne



Tastsinn

Der Tastsinn (haptischer / taktiler Sinn) umfasst mehrere Sinneswahrnehmungen:

- Verschiedenen Rezeptoren unter der Haut
 - Mechanorezeptoren:
Berührung, Druck, Vibration
 - Thermorezeptoren:
Temperatur (Wärme, Kälte)
- Je mehr Rezeptoren,
um so empfindlicher die Wahrnehmung:
 - z.B. Hand, Lippen, Zunge
- Übertragung als elektrische Impulse
an das Gehirn (sensorischer Cortex)
- Außerdem: Nocizeptoren: Schmerz
(für interaktive Systeme nicht unbedingt gewünscht...)



Bildquelle: <https://www.alimentarium.org/de/wissen/die-fünf-sinne---tasten>

- Wie beurteilen Sie den Nutzen des Tastsinns für interaktive Systeme?
- Über welche technischen Geräte wird der Tastsinn angesprochen? Wie?
- Was finden Sie gut? Was finden Sie schlecht / problematisch?

Touchscreens und Tastsinn

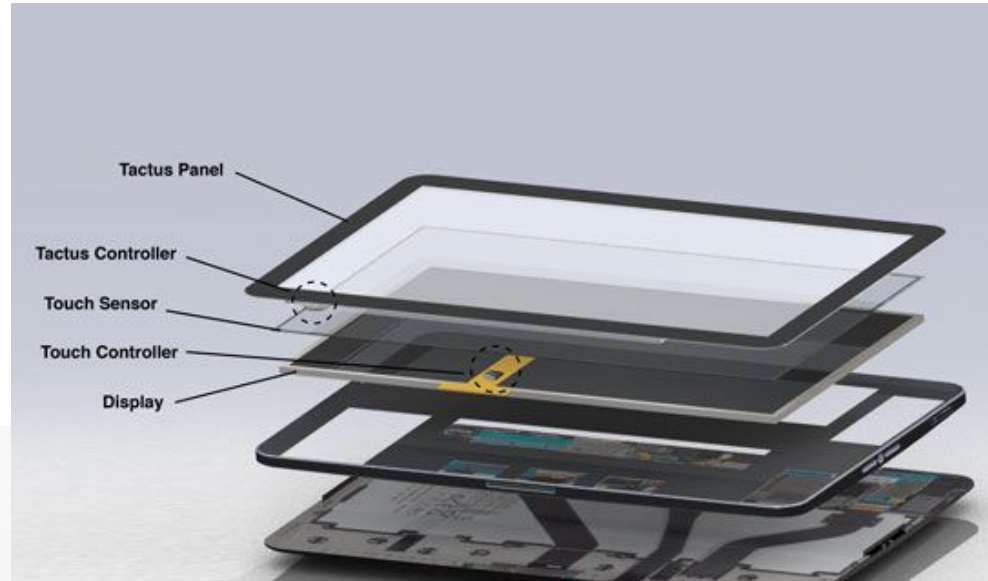
Touchscreen-“Tastaturen” - von wegen tasten...

Abhilfe?



Tactus Touchscreen

(Bildquellen: <http://tactustechnology.com>)



Vibrationsmotor

(Bildquelle: www.reichelt.de)



Vibro-tactile feedback option for the CyberGlove® data glove

The CyberTouch™ system is a tactile feedback option for Immersion's wired CyberGlove instrumented glove. It features small vibrotactile stimulators on each finger and the palm of the CyberGlove system. Each stimulator can be individually programmed to vary the strength of touch sensation. The array of stimulators can generate simple sensations such as pulses or sustained vibration, and they can be used in combination to produce complex tactile feedback patterns. Software developers can design their own actuation profiles. The CyberTouch tactile feedback option is essential to anyone serious about using their hands to interact with objects in a virtual world.

- Vibro-tactile actuators: 6;
one on each finger, one on the palm
- Vibrational Frequency: 0 – 125 Hz
- Vibrational Amplitude:
1.2 N peak-to-peak at 125 Hz (max)



Quelle: www.cyberglovesystems.com

CyberGlove Systems - Cyber touch

Riechen, schmecken ...

Geruchssinn (olfaktorischer Sinn):

- Beim Menschen nur schwach entwickelt
- Rezeptoren im direkten Kontakt mit der Außenwelt
- Moleküle in der eingeatmeten Luft stimulieren die Fortsätze der Riehzellen (Zilien) in der Riechschleimhaut (Riechepithel)
- Weiterleitung als elektrische Impulse ans Gehirn (u.a. ins limbische System → Emotionen)

Geschmackssinn (gustatorischer Sinn):

- Geschmacksqualitäten: süß, sauer, salzig, bitter, umami
- Wahrnehmung über Geschmacksrezeptoren auf der Zunge
- Weiterleitung als elektrische Impulse ans Gehirn
- Geschmack → kombinierte Wahrnehmung mit Geruchssinn

Gleichgewichtssinn (vestibulärer Sinn):

- Beschleunigungen (Translation+Rotation) / Lage (bzgl. Schwerkraft)
- Wahrnehmung über Gleichgewichtsorgan im Innenohr
- unterstützend: kinästhetische Wahrnehmung (Muskeln/Gelenken)

Ausgabegeräte

Geruchssinn (olfaktorischer Sinn):

- erste Prototypen
- bisher kaum praktische Bedeutung

Geschmackssinn (gustatorischer Sinn):

- Technische Realisierung/Prototypen?
- Problem: Nahsinn* → Reiz muss direkt auf der Zunge produziert werden.
(*Nahsinne: Geschmack+Taktile; andere: Fernsinne)

Gleichgewichtssinn (vestibulärer Sinn):

- Fahr- und Flugsimulatoren (sehr aufwändig)

Menschliche Sinne - Fazit

- **Visuell → Sehen, Auge** +++
Licht → Helligkeit, Farbe, Kontrast, Linien, Form, Gestalt, Bewegung, Räumlichkeit...
- **Akustisch/auditiv → Hören, Ohr** (+ Körper, Tastsinn). ++
Schall → Geräusche, Töne, Kläng, Sprache, Musik, räumliche Richtung+Entfernung
- **Haptisch (taktil) Tastsinn → fühlen, Haut** +
Druck, Berührung, Vibrationen, Temperatur
- **Olfaktorisch → riechen, Nase** —
Riech- und Duftstoffe
- **Gustatorisch → schmecken, Zunge (und Nase)** —
Geschmack/chemische Eigenschaften
- **Vestibulär, → Gleichgewichtssinn: Gleichgewichtsorgan** (im Innenohr) ○
Gleichgewicht, Lage+Veränderungen, Beschleunigung
- **Kinästhetisch → Rezeptoren in Muskeln, Gelenken, Sehnen**
Eigenwahrnehmung der Körper/Gelenkestellung
- **Pripriozeptiv → Rezeptoren in Organen**
Eigenwahrnehmung der Körperorgane

Kombination von Wahrnehmungskanälen

Über verschiedene Sinneskanäle wahrgenommene Informationen ergänzen sich:

- Redundanz → Zuverlässigkeit, Verstärkung
 - *"Sieht aus wie Käse, riecht wie Käse, schmeckt wie Käse"*
- Redundanz kann auch stören:
 - z.B. Text auf Folien und gleichzeitig vorlesen
- Verschiedene Kanäle → höhere Bandbreite für Informationen
 - z.B. Auto fahren und Radio hören
 - Risiko der Überlastung (z.B. Auto fahren und telefonieren)
- Problem: Widersprüche
 - *"Riecht wie Käse, sieht aus wie Schokolade"* → schmeckt das?



Bewusster Einsatz von Redundanz:

- z.B. Redundanz/Verstärkung für Alarme: Blinksignal + Sirene
- Vorsicht vor zu viel Information