

[KOPFHÖRER]

Tonseminar

Prof. Oliver Curdt

WS 2009/10

Jonas Palzer

Audiovisuelle Medien

Semester 3

Aufbau

- > Bauformen
- > Schallwandlung
- > Signalanschluss
- > Impedanz
- > Kopfhörer mit aktiver Geräuschunterdrückung
- > Lokalisation von Schallereignissen
- > Binaurale Aufnahmetechnik

Bauformen >> Ohrhörer

Gehörganghörer / In-ear-headphones

- > aus Acryl oder Silikon gefertigt
- > im professionellen Bereich: Otoplastik
 - ➔ bequem und sicher zu tragen
 - ➔ optimale Ankopplung des Schallwandlers an das Ohr
- > Einsatz beim In-ear-monitoring



Ohrhörer / Ear-buds

- > offenes System
 - ➔ kaum Dämpfung von Außengeräuschen
 - ➔ Wiedergabelautstärke häufig zu hoch
 - ➔ schlechte Basswiedergabe
 - ➔ unangenehm zu tragen



Bauformen >> Muschelkopfhörer

- > *ohrumschließende Kopfhörer (circum-aural)*
- > *ohraufliegende Kopfhörer (supra-aural)*

geschlossene Systeme

- > Kopfhörermuschel und Schaumstoffkissen luftundurchlässig
 - ➔ Druckkammer, Hochpassgrenzfrequenz 10-100Hz
 - ➔ Isolierung von Außen- und Kopfhörergeräuschen
 - ➔ Wärmestau, Druckgefühl
- > Dämpfung: bis 40dB (hohe Frequenzen),
bis 10dB (tiefe Frequenzen)
- > mechanischer Nachteil: Luftvolumen in der Druckkammer bedämpft die Membranschwingungen, allerdings treten weniger unkontrollierte Schwingungen auf
- > Einsatz: Aufnahmesituation im Studio (kein Störschall),
Musik mit hohen Bassanteilen



AKG K 271 MK II

Bauformen >> Muschelkopfhörer

offene Systeme

- > Kopfhörermuschel und Schaumstoffkissen luftdurchlässig
 - ➔ Druckausgleich
 - ➔ natürlichere Hörsituation
 - ➔ geringere Basswiedergabe
- > kaum Isolierung von Umgebungsschall, aber auch keine akustische Isolierung von der Umwelt
- > Musiksignal ist auch nach aussen hin hörbar
 - ➔ Gefahr des Übersprechens bei Studioaufnahmen



AKG K 702

halb-offene Systeme

- > versuchen die Vorteile beider Systeme zu vereinen
 - ➔ starke Isolierung von Außengeräuschen bei geschlossenem System und besserer räumlicher Klang bei offenen Systemen

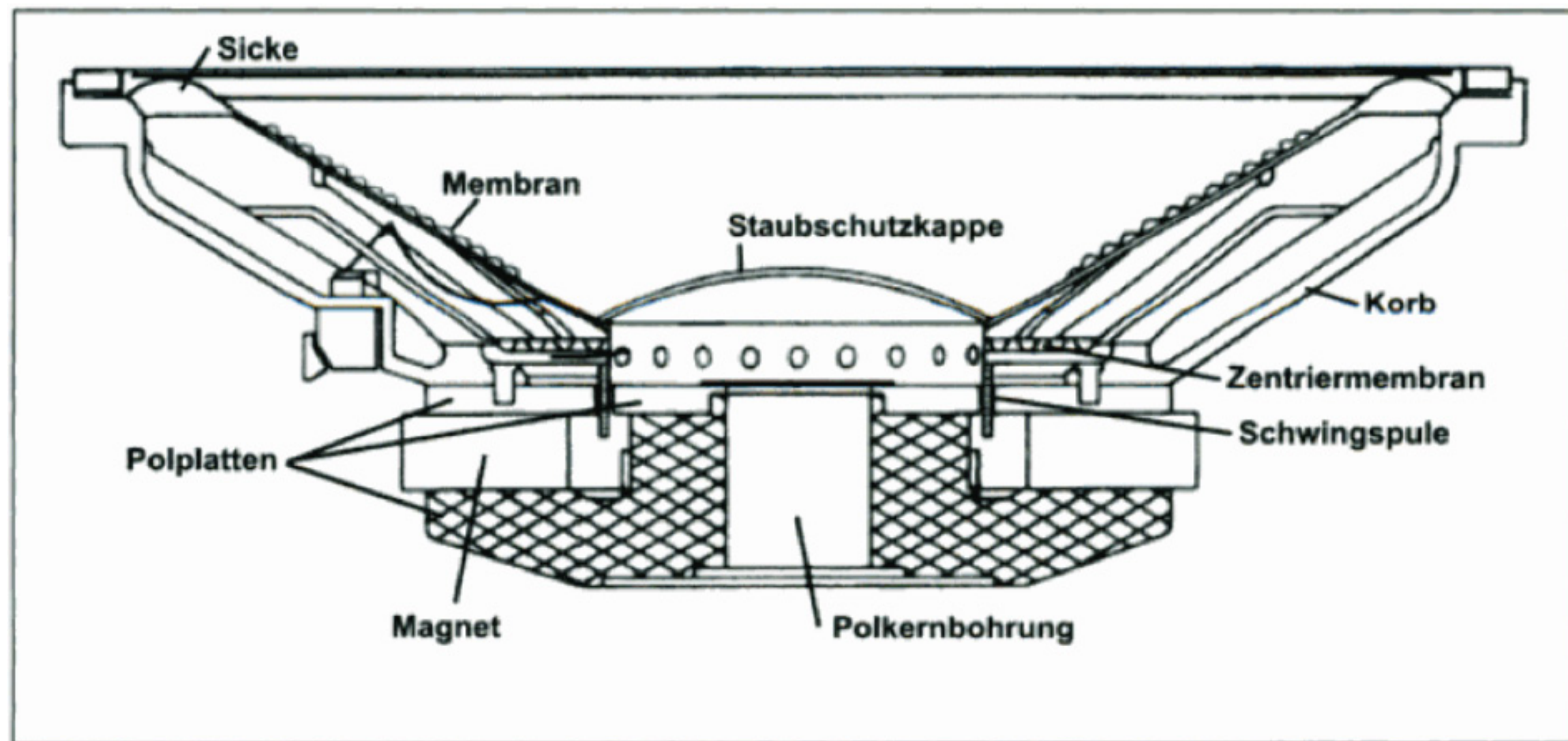


AKG K 121 Studio

[KOPFHÖRER]

Schallwandlung

elektrodynamische Wandlung



Schallwandlung

elektrodynamische Wandlung

- > umgekehrter physikalischer Vorgang wie beim elektrodynamischen Mikrofon
- > Membran ist mit einer zentralen Schwingspule verbunden, die im magnetischen Feld eines Dauermagneten liegt
- > an Spule wird Ausgangs- (wechsel) spannung eines Verstärkers gelegt
- > elektromagnetisches Wechselfeld verursacht eine Bewegung der Membran und erzeugt somit einen Schalldruck
- > hohe Wiedergabequalität
- > mechanisch sehr robust
- > keine Betriebsspannung nötig
- > geringerer Anschaffungspreis

➔ Einsatz in fast jedem Studiokopfhörer

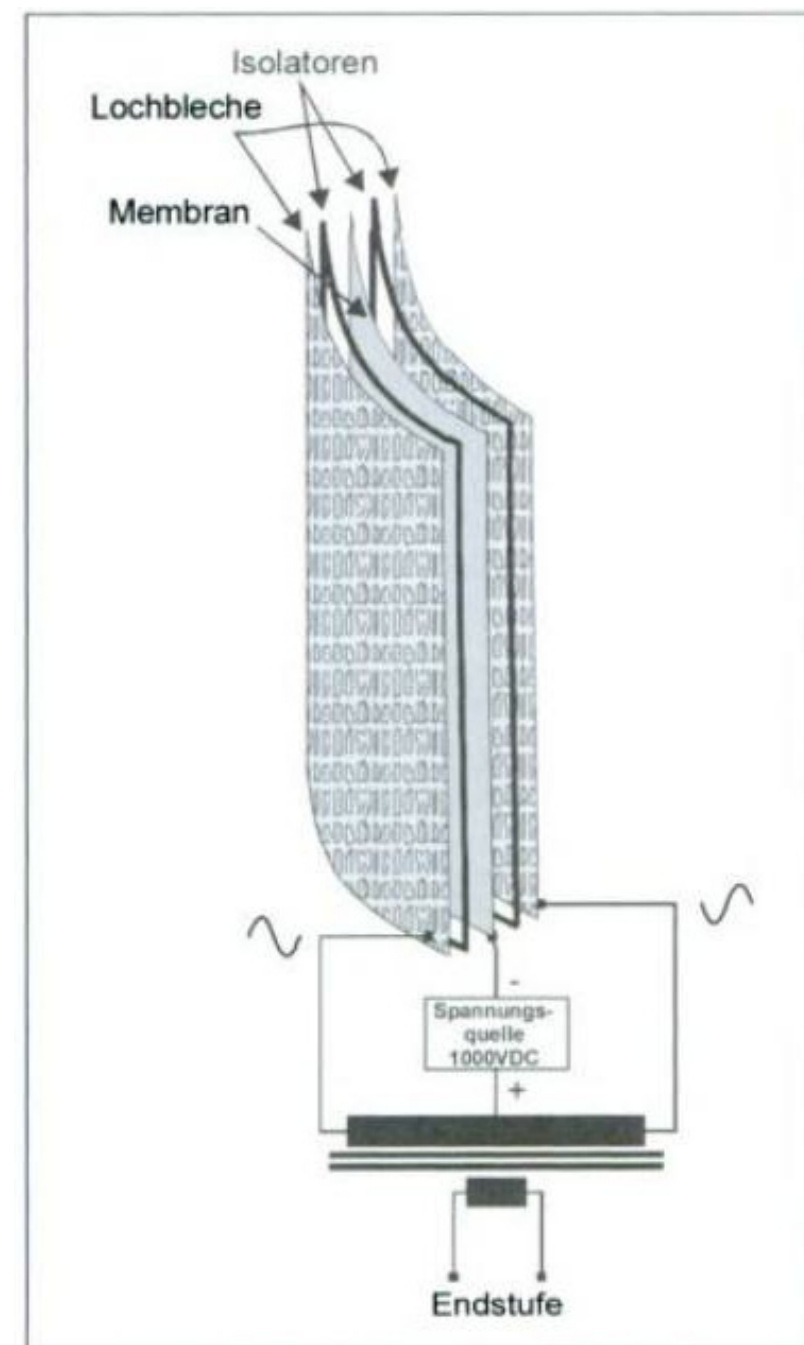


AKG K 240 MK II

Schallwandlung

elektrostatische Wandlung

- > Membran wird von einem elektrostatischen Feld angetrieben
- > kann mit einem Plattenkondensator verglichen werden, dessen Platten gleich starke, aber gegensätzlich gepolte Ladungen haben
- > Membran mit elektrisch leitfähiger Schicht bedampft, mit Anschlusskontakten für die Ausgangsspannung des Verstärkers
- > durch die Spannung in der Metallschicht wird, in Verbindung mit dem elektrostatischen Feld der Platten, eine wechselseitige Bewegung verursacht und ein Schalldruck erzeugt



Schallwandlung

elektrostatische Wandlung

- > sehr hohe externe Spannung nötig,
wird bei Transistorgeräten durch eine Transformation erzeugt
 - > hervorragendes Impulsverhalten, aber auch hoher konstruktiver Aufwand
- ➔ Einsatz im high-end-Bereich



STAX SR-007 Mk.2

Schallwandlung

piezoelektrische Wandlung

- > beruht auf dem inversen piezoelektrischen Effekt eines Ferroelektrikums
 - > an das Ferroelektrikum wird Ausgangs- (wechsel) spannung eines Verstärkers angelegt,
diese Spannung verformt das Material und in setzt es in Bewegung
 - > hoher Wirkungsgrad
 - > geringe Klanqualität: kaum Wiedergabe von Frequenzen unterhalb von 1kHz,
ausgeprägte Resonanzen
- ↳ nur als Hoch- oder Mitteltöner im low-cost-Bereich verwendet

Signalanschluss

kabelgebunden

- > Kopfhörer sind passiv
- > Anschluss im professionellen Bereich meist mit 6,35mm Stereoklinkenstecker, im Consumer-Bereich meist 3,5mm mit Miniklinkenstecker

schnurlos

- > *infrarot*
 - > Signalübertragung: analog über Frequenzmodulation oder digital codiert
 - ↳ Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger nötig
 - > im Kopfhörer: D/A-Wandlung bzw. Frequenzdemodulation
 - > Infrarot-Empfänger und Verstärker im Kopfhörer integriert
 - ↳ Batterie nötig
- > oft Signalfehler und Grundrauschen

Signalanschluss

schnurlos

> *analog*

- > Funkübertragung: unterschiedliche Übertragungsfrequenzen
 - ↳ Funkkopfhörer/Sender untereinander oft nicht kompatibel
- > Signal kann durch Decken und Wände gesendet werden
- > Signalübermittlung i.d.R. über Frequenzmodulation
- > Störanfällig gegenüber digitalem Equipment (Sendefrequenzen wählbar), geringes Grundrauschen

> *digital*

- > digitale Übertragung, z.B. über Bluetooth
 - ↳ D/A-Wandler im Kopfhörer
- > kein Signal- und Ruherauschen mehr
- > Störfreiheit gegenüber analogen Funkwellen

Impedanz

- > Wechselstromwiderstand, den die Tauchspule des Kopfhörerwandlers dem Ausgang des Kopfhörerverstärkers entgegensetzt
- > *niederohmige Kopfhörer*: 4-100 Ohm
 - für tragbare Geräte, die mit relativ niedriger Betriebsspannung arbeiten, die die maximale Eingangsspannung am Kopfhörerausgang begrenzt
 - ↳ lautere Wiedergabe, aber geringere Impulstreue
- > *mittelohmige Kopfhörer*: 100-1000 Ohm
 - 600 Ohm - Kopfhörer können direkt am Mischpultausgang betrieben werden, ohne dass ein Kopfhörerverstärker dazwischen geschaltet werden muss

Impedanz

> *hochohmige Kopfhörer*: 1000-4000 Ohm

Magnetfeld der Tauchspule beim Anlegen eines Audiosignals ist von der Anzahl der Windungen abhängig, dünner, und damit hochohmiger Draht bietet eine geringere Masse, die dem Audiosignal präziser folgt als die größere Masse eines dickeren Drahts

↳ neutralere Klangwiedergabe (zwei ansonsten baugleiche Kopfhörer klingen in der hochohmigen Variante üblicherweise etwas neutraler, z.B. Beyerdynamic DT 770)

↳ Kopfhörer sind meistens passive Systeme:
Kopfhörerverstärker bieten bei hochwertigen, hochohmigen Systemen bessere Tonqualität und höhere Lautstärke



BEYERDYNAMIC DT 770 PRO
(80, bzw 250 Ohm)

Kopfhörer mit aktiver Geräuschunterdrückung

Active Noise Reduction (ANR)

Funktionsprinzip

- > messen den Geräuschpegel der Umgebung
- > errechnen anhand einer akustischen Übertragungsfunktion den Anteil, der bis zum Trommelfell vordringen würde
- > generieren ein verpoltes Signal, so dass die Umgebungsgeräusche durch die Mischung zweier verpolter Signale neutralisiert werden

Problematik

- > keine vollständige Neutralisation der Umgebungsgeräusche möglich, da
 - Knochenleitung
 - unterschiedliche Phasenlage hochfrequenter Schwingungen mit größer werdendem Schalleinfallswinkel
 - ↳ Umgebungsgeräusche werden teilweise sogar verstärkt

Kopfhörer mit aktiver Geräuschunterdrückung

Active Noise Reduction (ANR)

Konsequenz

- > insbesondere tiefe Frequenzen, bei denen die Wellenlängen groß gegen die Abmessungen des Kopfhörers sind, werden wirkungsvoll gedämpft, da sie mit gleicher Phasenlage auftreten
 - ➔ Beschränkung oft nur auf den tieffrequenten Bereich, hohe Frequenzen werden auch durch den Einsatz passgenauer geschlossener Kopfhörer wirkungsvoll gedämpft

Ursprung

- > Luftfahrt: Dämpfung des tieffrequenten Rotorgeräuschs im Cockpit eines Hubschraubers



AKG K 480 NC

Lokalisation von Schallereignissen

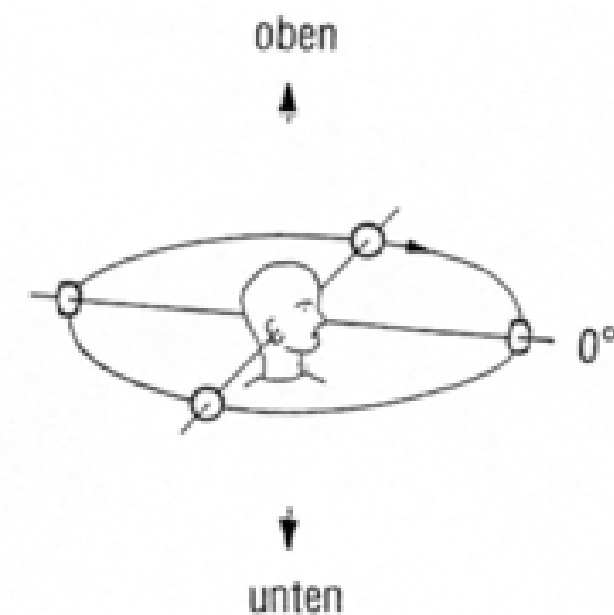
Schallereignis oder *Hörereignis*?

- > *Schallereignis*: physikalisch-akustischer Vorgang, messbar: Schalldruckpegel oder Frequenzspektrum
- > *Hörereignis*: subjektiver Höreindruck im Gehirn
 - ➔ beeinflusst durch Form von Außenohr und Gehörgang, sowie Signalübertragung und -verarbeitung in Mittel- und Innenohr

Lokalisation von Schallereignissen

Horizontalebene

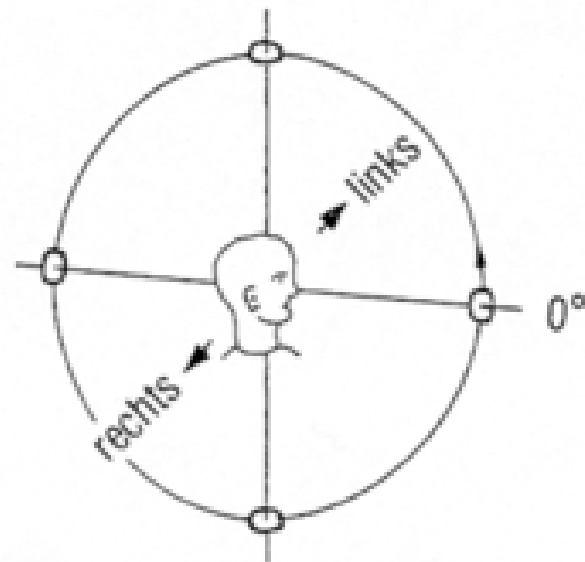
- > Lokalisation erfolgt mittels interauraler Laufzeit- und Pegeldifferenzen
- > *unterhalb von 800Hz:*
Pegeldifferenzen spielen noch keine Rolle, Lokalisation beruht nur auf Auswertung der Laufzeitdifferenzen
- > *oberhalb von 1600Hz:*
Ortung durch interaurale Pegeldifferenzen und interaurale Gruppenlaufzeitdifferenzen (schmalbandiges Bandpasssignal)
- > *dazwischen* nehmen die Laufzeitdifferenzen mit steigender Frequenz ab und die Pegeldifferenzen mit steigender Frequenz zu



Lokalisation von Schallereignissen

Medianebene

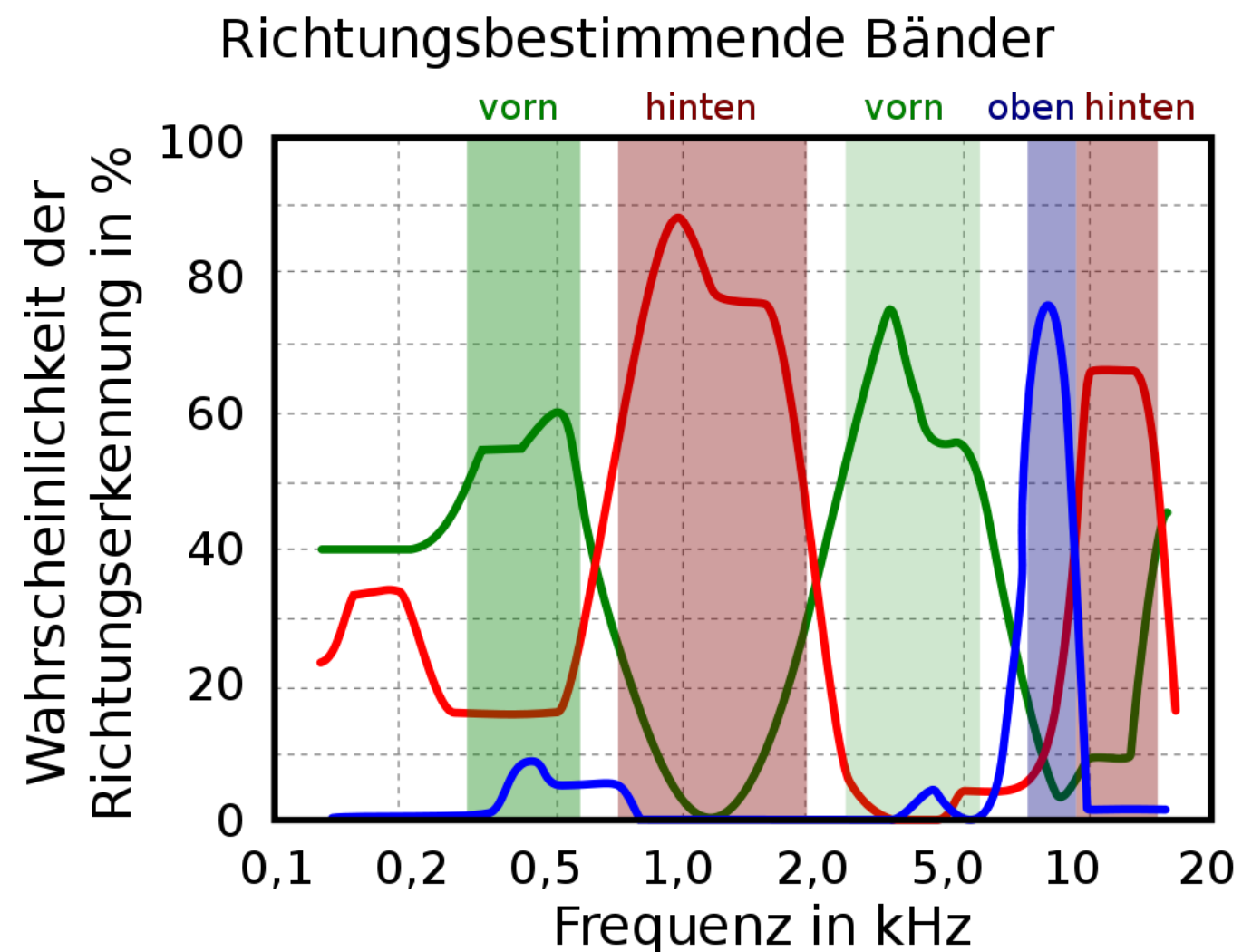
- > Lokalisation anhand der akustischen Eigenschaften des Außenohres
- > Ohrmuschel und Gehörgang bilden Resonatorsystem mit richtungsabhängigen Minima und Maxima im Spektrum der Ohrsignale (je nach Schalleinfallrichtung)
- > je weiter ein Signal aus der Vorwärtsrichtung austritt, desto schlechter wird die Lokalisationsgenauigkeit



Lokalisation von Schallereignissen

Medianebene

- > *Blauert'sche Bänder*: richtungsbestimmende Frequenzbänder für die Lokalisation in der Medianebene



Lokalisation von Schallereignissen

Im-Kopf-Lokalisation

- > Sonderform der akustischen Lokalisation, die häufig bei der Wiedergabe über Kopfhörer auftritt
- > alle Signale werden im Kopf zwischen linkem und rechtem Ohr wahrgenommen
 - ↳ keine Tiefenstaffelung des Signals mehr
 - ↳ Abmischen über Kopfhörer führt zu Fehlern bei Lautsprecherwiedergabe
- > kann auch bei Beschallung mit weit entfernten Schallquellen auftreten
- > Ursache: bei der Lokalisation findet ein Reizmustervergleich mit bereits erlernten und gespeicherten Reizmustern statt
 - ↳ Schallreize mit unbekanntem interauralen Laufzeit- und Pegeldifferenzen und/oder unbekanntem spektralen Charakteristiken können eine Im-Kopf-Lokalisation bewirken

Lokalisation von Schallereignissen

Im-Kopf-Lokalisation

- > extreme Panoramaeinstellungen werden ebenfalls unnatürlich wahrgenommen
 - ➔ Signal auf dem rechten Ausgangskanal ist über Lautsprecherwiedergabe trotzdem über beiden Ohren zu hören, über Kopfhörer erscheint das Signal ausschließlich am rechten Ohr und liefert einen unnatürlichen Klangeindruck

Binaurale Aufnahmetechnik

OSS- oder Jecklin-Aufbau (OSS: Optimum Stereo Signal)

- > zwei Mikrofone mit Kugelcharakteristik werden im Abstand von 16,5cm aufgestellt und leicht nach außen gedreht
- > dazwischen: schallabsorbierende, 30cm Durchmesser messende Scheibe
- > Richtungsinformationen werden durch Laufzeitunterschiede und frequenzabhängige Schalldruckpegeldifferenzen repräsentiert
 - ➔ kopfähnliche Laufzeitunterschiede
 - ➔ Spektraldifferenzen
- > Kammfiltereffekte bei seitlich eintreffendem Schall



Binaurale Aufnahmetechnik

Kunstkopfstereophonie

- > Nachbildung des menschlichen Kopfes, in dessen Gehörgang zwei Kondensatormikrofone mit Kugelcharakteristik eingesetzt sind



Neumann KU 100

Binaurale Aufnahmetechnik

Kunstkopfstereophonie

- > Richtungslokalisierung geschieht durch
 - abschattende Wirkung des Kopfes (Pegeldifferenzen)
 - Gangunterschiede zwischen den beiden Mikrofonen (Laufzeitdifferenzen)
- > Wiedergabe nur über Kopfhörer (bei Lautsprecherwiedergabe entsteht ein unnatürlicher, klanglich verfärbter Eindruck)
- > bei Kopfhörerwiedergabe recht gute Richtungslokalisierung: rechts-links-Unterscheidung gelingt sicher, oben-unten- und rechts-links-Unterscheidungen sind schwieriger
- > *HRTF (head related transfer function)*
 - komplexe Funktion, die die Filterwirkung von Außenohr, Kopf und Rumpf beschreibt wird hierbei nachempfunden
 - ↳ zufriedenstellende Ergebnisse, wenn die Unterschiede zum Hörer nicht zu groß sind

Dolby-headphone

- > entspricht einem virtuellen Kunstkopf
- > imitiert den Höreindruck einer 5.1-Surround-Anlage über gewöhnliche Stereo-Kopfhörer
- > Ton aus jedem der 5 Kanäle wird derartig digital verzerrt, dass im Gehirn ein akustisch-räumlicher Eindruck entsteht

Quellen

- > Andreas Friesecke: Die Audio-Enzyklopädie
- > www.sennheiser.com
- > www.akg.com
- > www.beyerdynamic.de
- > www.neumann.com
- > www.wikipedia.de
- > www.thomann.de
- > www.avid.com