


4. Audiotechnik und Tonbearbeitung

- 4.1 Grundlagen der Audiotechnik
- 4.2 Analoge Audiotechnik
- 4.3 Mehrkanaltechnik
- 4.4 Digitale Audiotechnik
- 4.5 CD und verwandte Speichertechnologien

Literatur:

Th. Görne: Tontechnik, 2. Auflage, Hanser-Verlag 2008
H. Raffaseder: Audiodesign, Fachbuchverlag Leipzig 2002

4. Audiotechnik und Tonbearbeitung

- 4.1 Grundlagen der Audiotechnik 
- 4.2 Analoge Audiotechnik
- 4.3 Mehrkanaltechnik
- 4.4 Digitale Audiotechnik
- 4.5 CD und verwandte Speichertechnologien

Literatur:

Th. Görne: Tontechnik, 2. Auflage, Hanser-Verlag 2008
H. Raffaseder: Audiodesign, Fachbuchverlag Leipzig 2002

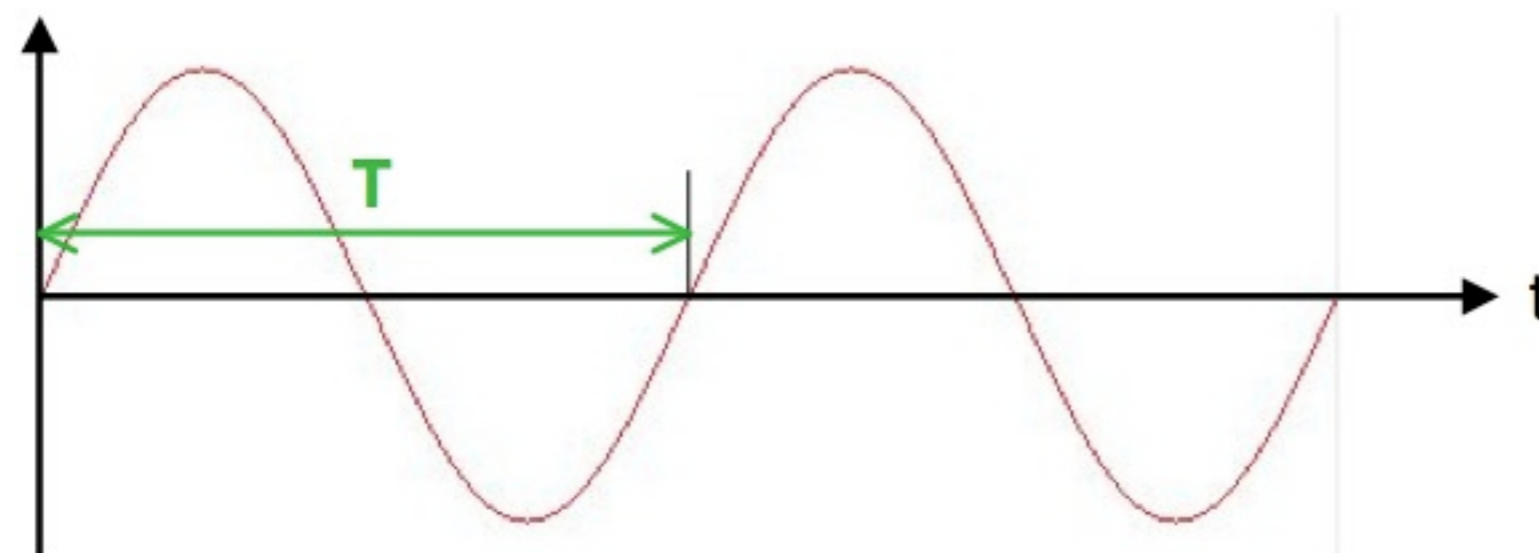
Ton & Frequenz (Wh.)

Akustischer Reiz entsteht durch (schnelle) Luftdruckschwankung

- unregelmäßig --> Geräusch
- periodisch: wird als Ton wahrgenommen

Periodendauer T in Sekunden, Frequenz f in Hz = 1/s

siehe auch Vorlesung Digitale Medien



Sinus-Signal

$$T = \frac{1}{f}$$

$$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$$

Klang und Geräusch (Wh.)

- Primärempfindungen der Tonwahrnehmung:
 - Tonhöhe (Bsp. verschiedene Klaviertasten)
 - Lautstärke (Bsp. Trommelanschlag)
 - Klangfarbe (Bsp. gleicher Ton auf verschiedenen Instrumenten)
- Klang:
 - alle drei Primärempfindungen wahrnehmbar
- Geräusch:
 - nur Lautstärke wahrnehmbar
- Klang ist ein *periodisches* Signal
 - Harmonische Überlagerung von Sinusschwingungen
 - Tonhöhe bestimmt durch Grundfrequenz
 - Klangfarbe bestimmt durch Frequenzspektrum

Zwölfstufiges Tonsystem



1 Oktave = Frequenzverhältnis 2:1

gleichmäßig unterteilt in 12 Halbtonschritte

Ganztonschritt = 2 Halbtonschritte

Intervalle: Prime, Sekunde, Terz, Quarte, Quinte, Sexte, Septime, Oktave, (None, Dezime, ...)

Frequenzverhältnis eines Halbtonschrittes etwa $\sqrt[12]{2} : 1$

Genaueres Verhältnis abhängig von der verw. Stimmung

Gleichstufige Stimmung: exakt gleiche Freq.verhältnisse

Reine Stimmung: ganzzahlige Frequenzverhältnisse für alle Intervalle (z.B. Quinte = 2 : 3, Quarte = 3 : 4), klingt nur in einer Tonart, tritt z.B. bei Blasinstrumenten auf

Wohltemperierte Stimmung: alle Tonarten sind gleichermaßen spielbar, z.B. Klavier

Einführung (für Kinder gedacht):

http://www.aviva-berlin.de/aviva/content_Girls%20+%20Boys.php?id=1854

Notation von Tönen

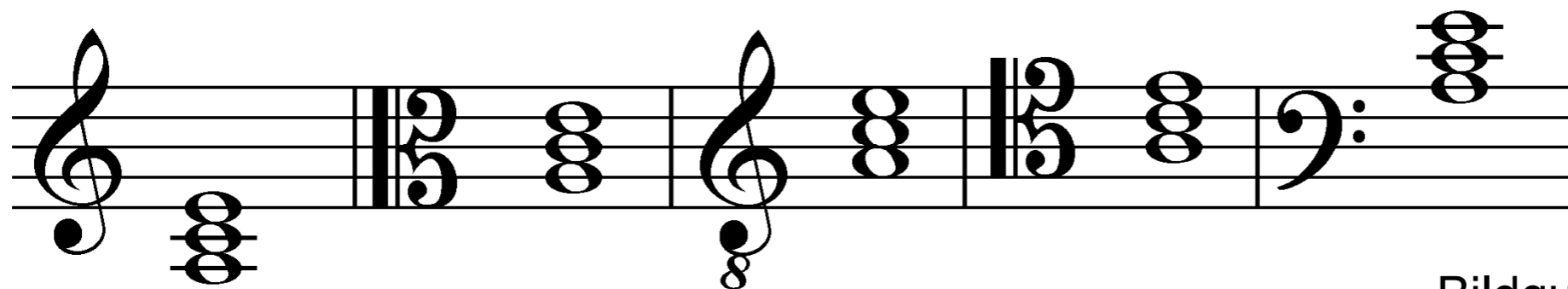
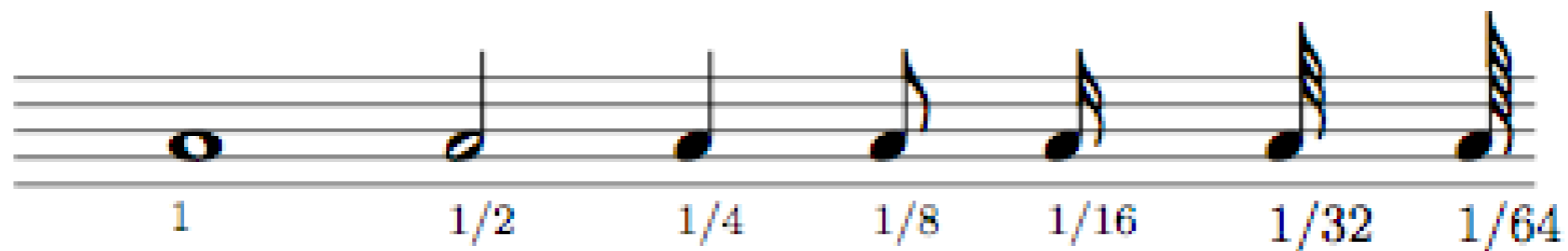
Notenschrift dient zum Festhalten von Kompositionen
verschiedene Schriften, historisch und kulturell verschieden
hier: nur die heutzutage bei uns verwendete Notation

Noten als Markierung in einem Notensystem aus 5 Linien

Form der Note gibt Dauer als Anteil der Taktdauer an

Tempo: Anzahl Schläge pro Minute (*beats per minute, bpm*)

Taktart: Anzahl Schläge pro Takt (z.B. 4/4, 3/4)

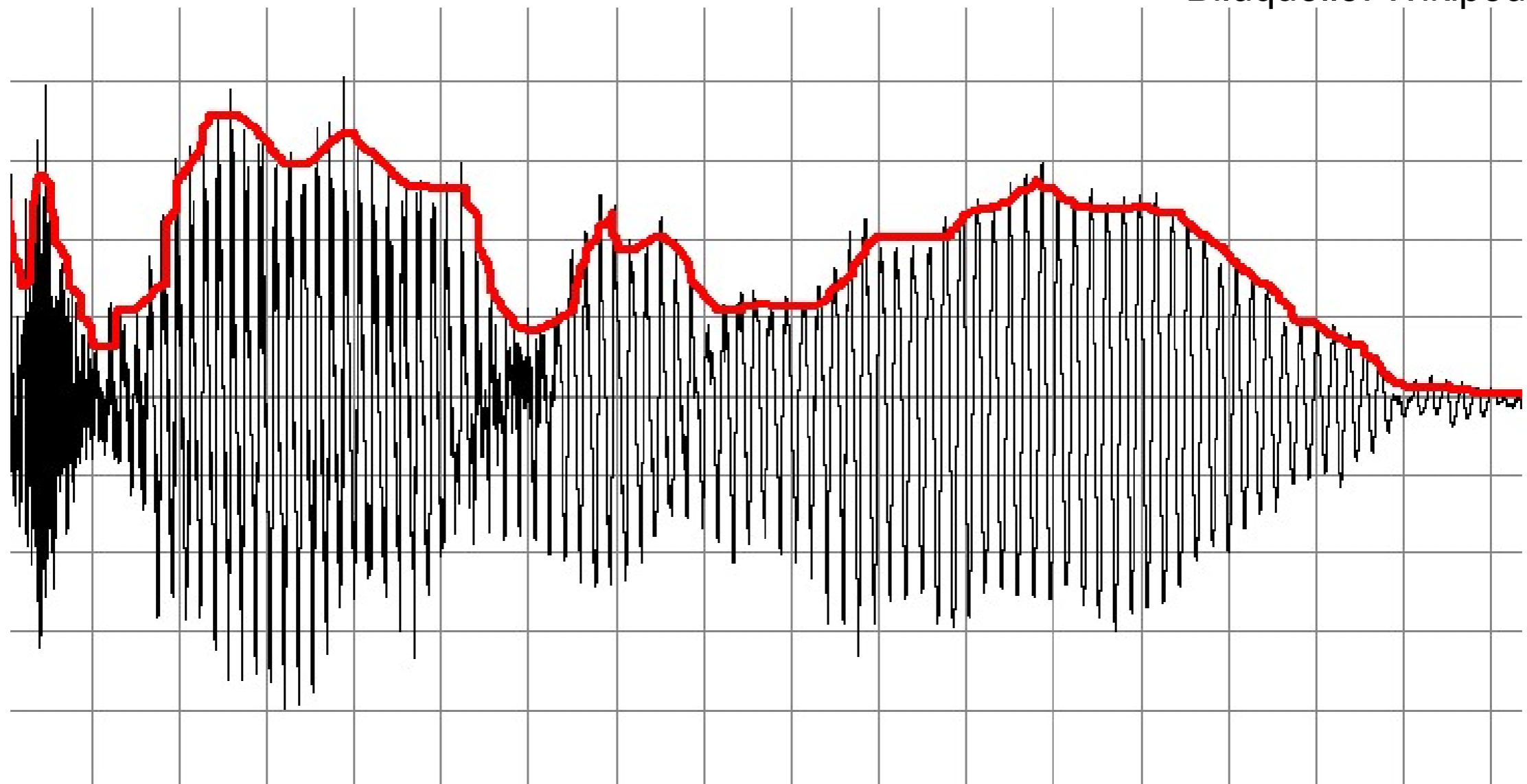


Bildquelle: Wikipedia

Signal & Hüllkurve

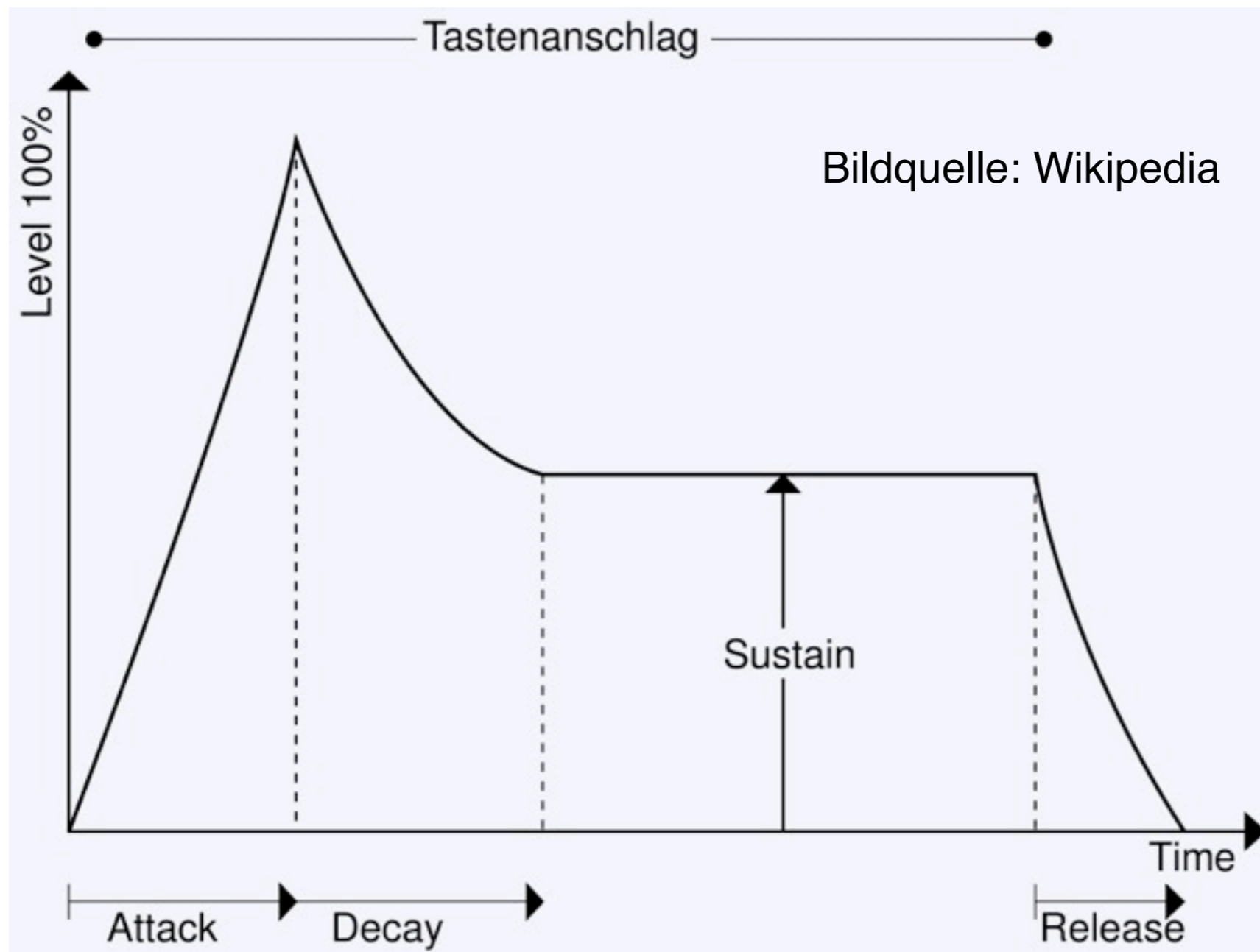
Die Hüllkurve verbindet die Pegelspitzen eines Signals
in manchen Folien dieser Vorlesung sind nur Hüllkurven gezeigt!

Bildquelle: Wikipedia



ADSR Hüllkurve

Verwendung z.B. im analogen Synthesizer
Begrifflichkeit taucht auch an anderen Stellen auf




4. Audiotechnik und Tonbearbeitung

- 4.1 Grundlagen der Audiotechnik
- 4.2 Analoge Audiotechnik
- 4.3 Mehrkanaltechnik
- 4.4 Digitale Audiotechnik
- 4.5 CD und verwandte Speichertechnologien

Literatur:

- Th. Görne: Tontechnik, 2. Auflage, Hanser-Verlag 2008
- H. Raffaseder: Audiodesign, Fachbuchverlag Leipzig 2002

4. Audiotechnik und Tonbearbeitung

- 4.1 Grundlagen der Audiotechnik
- 4.2 Analoge Audiotechnik 
- 4.3 Mehrkanaltechnik
- 4.4 Digitale Audiotechnik
- 4.5 CD und verwandte Speichertechnologien

Literatur:

Th. Görne: Tontechnik, 2. Auflage, Hanser-Verlag 2008
H. Raffaseder: Audiodesign, Fachbuchverlag Leipzig 2002

Frühe Grammophone



Zylinder-Phonograph
Edison 1899 (Bild: Wikipedia)

Grammophon von E. Berliner, 1887 (Modell)
(Phonomuseum St.Georgen/Schwarzwald)



Frühe Grammophone



Zylinder-Phonograph
Edison 1899 (Bild: Wikipedia)

Grammophon von E. Berliner, 1887 (Modell)
(Phonomuseum St.Georgen/Schwarzwald)



Geschichte der analogen Audiotechnik

1877, T.A. Edison: Phonograph

1885, Emil Berliner: Schallplatten (aus Gummi und Schellack)

1898, Waldemar Poulsen: Magnetische Aufzeichnung (auf Draht)

Um 1900: „Systemkampf“ zwischen (Edison-)Walze und Schallplatte

Ca. 1920: Rundfunk, elektrische Wiedergabegeräte (Kopfhörer und Lautsprecher) dominieren

1927: Langspielplatten mit elektrischer Technik (von Edison)

1935: Magnettontechnik

1948, Ampex: Tonbandmaschinen für Rundfunkstudios

1950: Standard-Schallplatten mit 16, 33 1/3, 45 und 78 rpm

1961: Transistortechnik in der Unterhaltungselektronik

1963, Philips: Compact Cassette Tape Cartridge

1971, Dolby: Rauschunterdrückungsverfahren

1979, Sony: Walkman

Ton als analoges elektrisches Signal

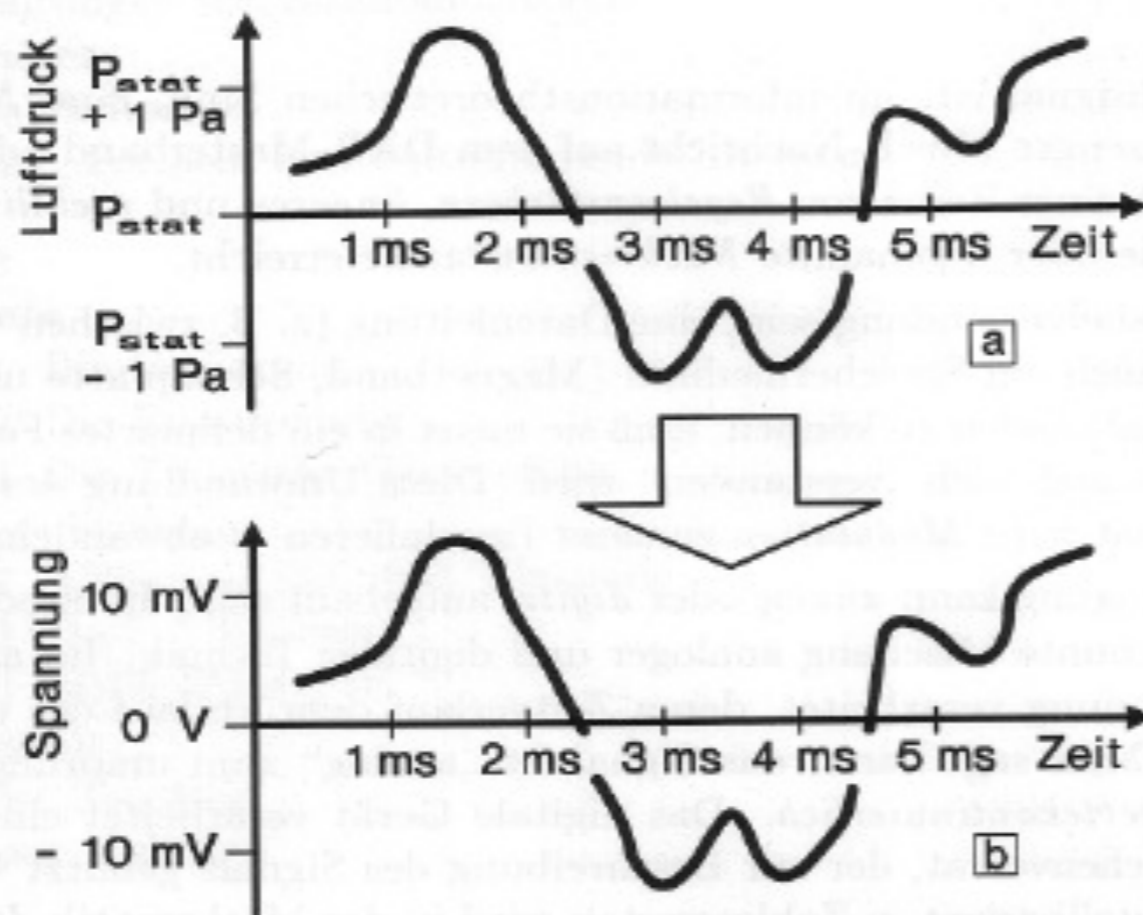
Audiotechnik:

Signal meist gleichbedeutend mit Spannungsveränderung

Grundfunktion eines Mikrofons:

Umsetzung von Luftdruckschwankungen in Spannungsschwankungen

Ausgangssignal eines Mikrofons ist eine *Wechselspannung*



Allgemeine elektrotechnische Grundbegriffe

- *Strom (I)*:
gerichtete Bewegung von Elektronen in einem Leiter
gemessen in Ampere (A)
- *Spannung (U)*:
Kraft, die Elektronen in Bewegung setzt
gemessen in Volt (V)
- *Elektrische Leistung (P)*:
Produkt aus Strom und Spannung
gemessen in Watt (W), $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$
Leistungsaufnahme – Leistungsabgabe = Verlustleistung (Wärmeabgabe)
- *Widerstand (R)*:
Quotient aus Spannung und Strom
gemessen in Ohm (Ω), $1 \Omega = 1 \text{ V} / 1 \text{ A}$
- *Kapazität (C)*:
Vermögen eines Kondensators, elektrische Energie (Ladung) zu speichern
gemessen in Farad (F), $1 \text{ F} = 1 \text{ A} \cdot \text{s} / 1 \text{ V}$
- *Induktivität (L)*:
Vermögen einer Spule, magnetische Energie zu speichern
gemessen in Henry (H), $1 \text{ H} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} / 1 \text{ A}$

Impedanz

- *Impedanz (Wechselstromwiderstand):*

Widerstand elektronischer Schaltungen ist frequenzabhängig

Komponenten:

kapazitiv:

Kondensatoren (Auf- und Entladung)

Höherer Widerstand bei niedrigen Frequenzen

induktiv:

Spulen (Induktion von Magnetfeldern)

Höherer Widerstand bei hohen Frequenzen

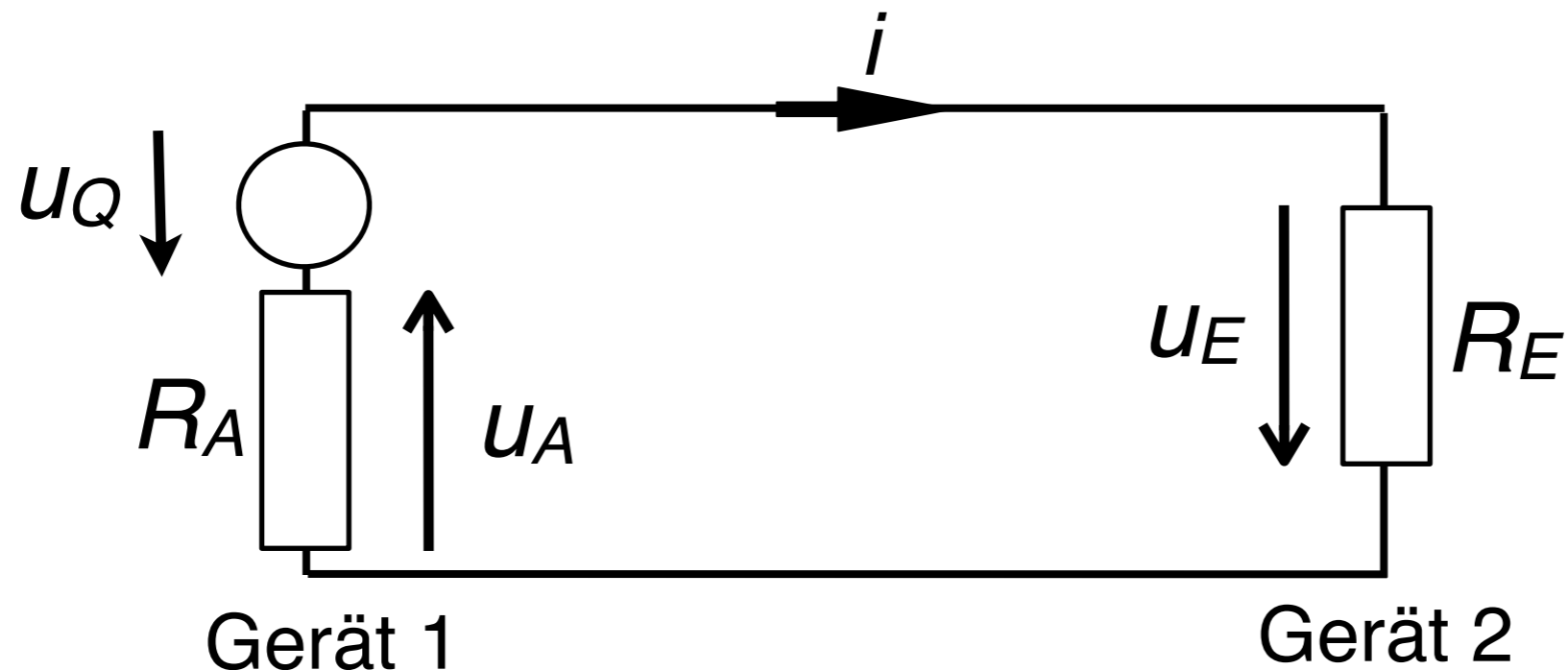
ohmsch:

Frequenzunabhängiger Widerstand

- *Nennimpedanz:*

Wechselstromwiderstand bei fester Frequenz
(z.B. 1 kHz)

Impedanzanpassung



Strom im Stromkreis (Ohmsches Gesetz): $i = u_Q / (R_A + R_E)$

Spannungsteiler (Kirchhoff'sches Gesetz): $u_E : u_A = R_E : R_A$

Nutzspannung (nach Gerät 2 übertragen): u_E

Verlustspannung: u_A , Verlustleistung: $i \cdot u_A$

Extremfälle: Kurzschluss ($R_E = 0$), Leerlauf ($R_E = \infty$)

Ziel: Zu Gerät 2 übertragene Spannung maximieren

Leistungsanpassung: $R_E = R_A$ (hoher Strom)

Spannungsanpassung: $R_E \gg R_A$ (mindestens 5-fach, meist 10-20)

Impedanzanpassung in der Praxis

- *Lastimpedanz (Abschlussimpedanz):*
Zulässiger Impedanzbereich für angeschlossene Geräte
 - Gerät zu niedriger Impedanz angeschlossen: Zu hoher Strom
 - Gerät zu hoher Impedanz angeschlossen: Keine Übertragung

Beispiele (analoge Audiotechnik):

- Ausgangsimpedanz Mikrofon: Typisch 200 Ω
- Eingangsimpedanz Verstärker/Mischpult: Typisch 2 k Ω
- Ausgangsimpedanz Verstärker zum Anschluss an andere Verstärker/Mischpulte: Typisch 200 Ω
- Ausgangsimpedanz Verstärker zum Anschluss von Lautsprechern: Typisch < 0,1 Ω
- Eingangsimpedanz eines Lautsprechers: Typisch 4 Ω

Digitale Audiotechnik verwendet oft Leistungsanpassung!
(typisch 110 Ω symmetrisch bzw. 75 Ω unsymmetrisch)

- Impedanzsprünge führen bei hohen Frequenzen zu Reflexionseffekten

Pegel

Bezugspegel: Basisgröße für Messung in dB (deziBel)

0 dBm = 1 mW an 600 Ohm, entspricht 0.775 V (Herkunft: Telefontechnik)

0 dBu = 0.775 V (*unloaded*, wegen Spannungsanpassung niedrige Last)

Arbeitspegel: „Sicherer“ Pegel deutlich unterhalb des Maximalpegels

4 dBu = 1.228 V (internationaler Studiopegel)

6 dBu = 1.55 V (europäischer Studiopegel)

(Consumergeräte: 0,316 V)

Headroom = Maximalpegel – Arbeitspegel

Typischer Maximalpegel 21 dBu

Typischer Headroom 15 dBu

**Erinnerung an
Digitale-Medien-
Vorlesung**

$$\log(2) = 0.301029996$$

Amplitudenpegel (effektive Amplitudenwerte):

$$L_P = 10 \cdot \log\left(\frac{V_A^2}{V_E^2}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{V_A}{V_E}\right)$$

Verdopplung: $L_{P'} = 20 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot V_A}{V_E}\right) = 20 \cdot \log(2) + L_P = 6 + L_P$

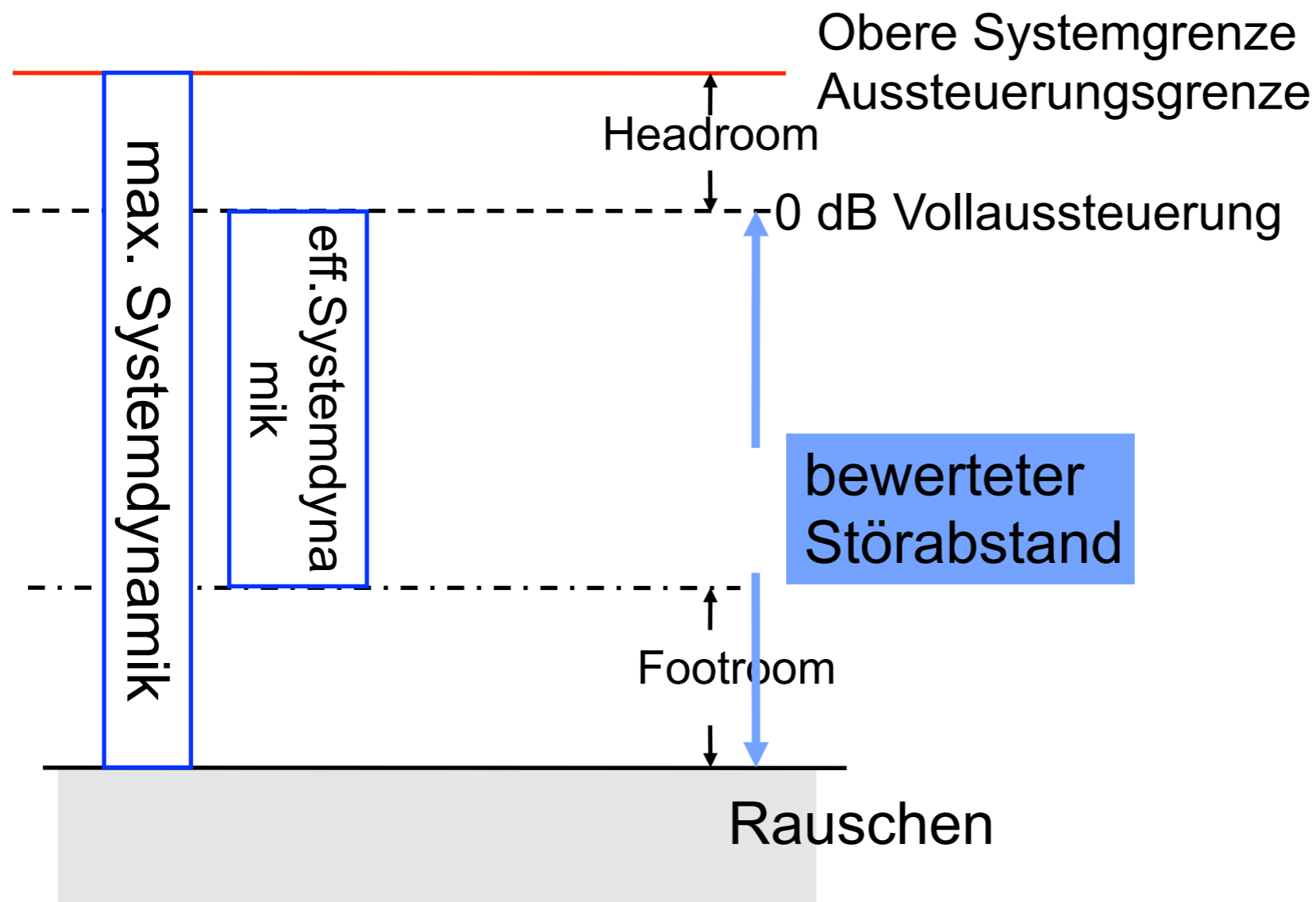
Pegel und Aussteuerung

Risiken bei Audioaufnahmen:

- *Übersteuerung* = Verzerrung
- *Untersteuerung* = zu geringer *Rauschabstand*



Peakmeter



Aussteuerungsanzeige zeigt üblicherweise in "dBVU" an, d.h. 0 dBVU = Arbeitspegel (= z.B. 6 dBu)

Arbeitsbereich abhängig von Gerätetechnologie (z.B. -40 dB VU bei analogem Bandgerät)

Quelle: Seminar E-Technik Uni Erlangen

Grundprinzipien der Schallwandlung

Generell alle Prinzipien für beide Richtungen
(d.h. Schall -> Spannung und Spannung -> Schall) anwendbar

Elektrostatisch:

Veränderliche Kapazität eines Kondensators
Membran bildet eine der Kondensatorplatten

Elektrodynamisch:

Induktionsprinzip
Entweder Membrane leitfähig und im Magnetfeld bewegt
Oder Spule an Membrane befestigt (in konstantem Magnetfeld)

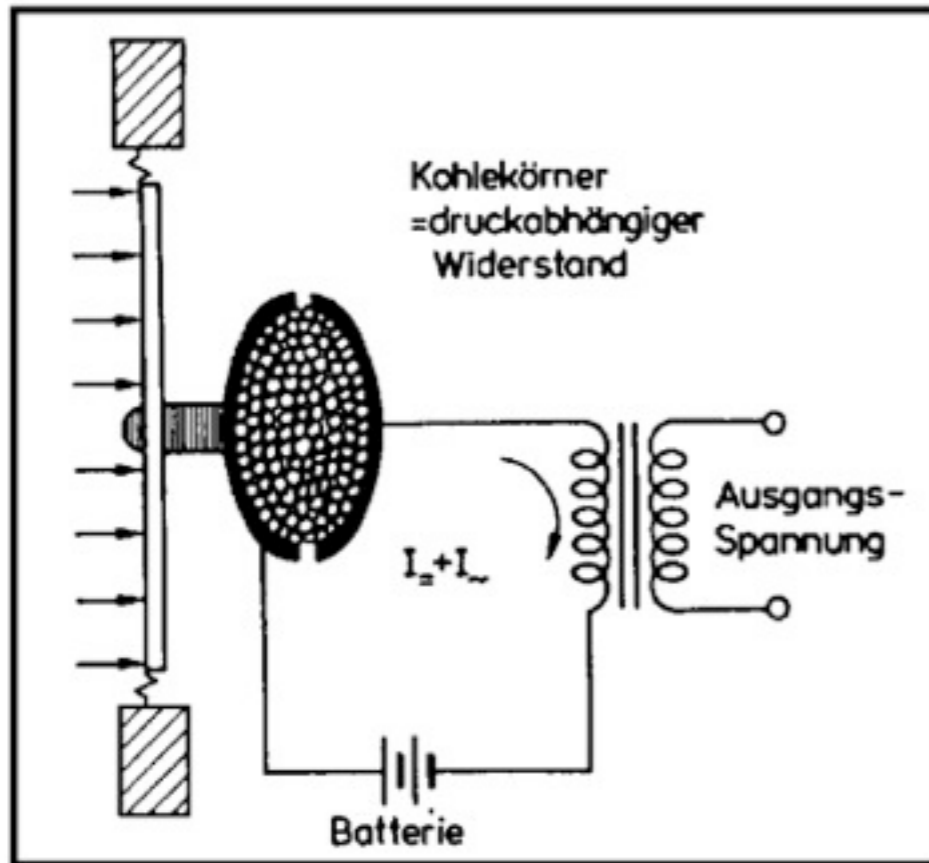
Piezoelektrisch:

Materialien (kristallin, keramisch), bei denen durch Verformung
Spannung erzeugt wird
Effekt temperaturabhängig

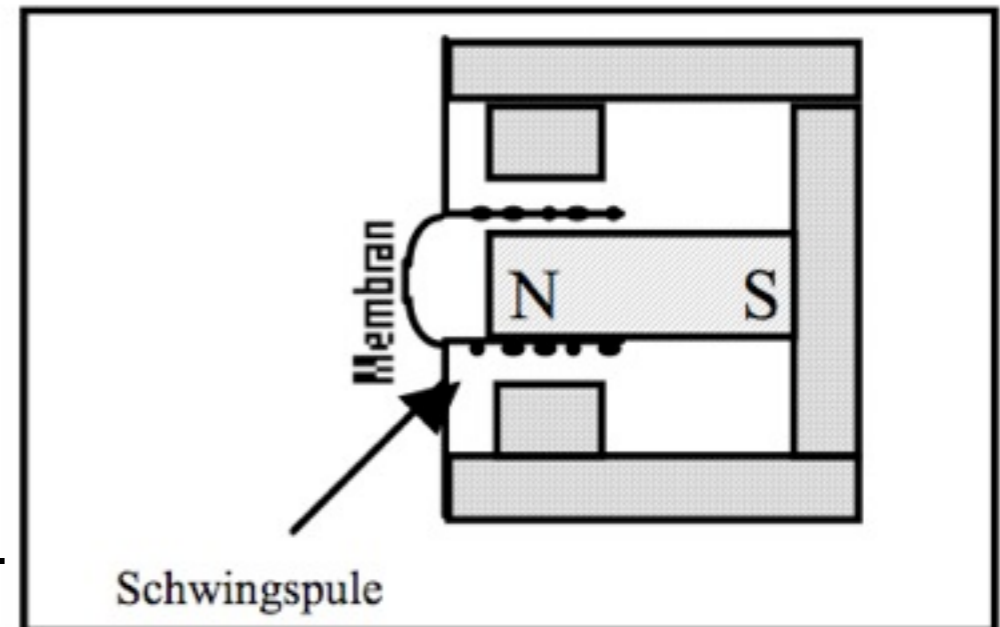
Potentiometrisch:

z.B. Kohlewandler: Membran drückt auf mit Kohlestaub gefüllte Dose
Widerstand verändert sich mit Druck

Mikrofontypen (Beispiele) (1)



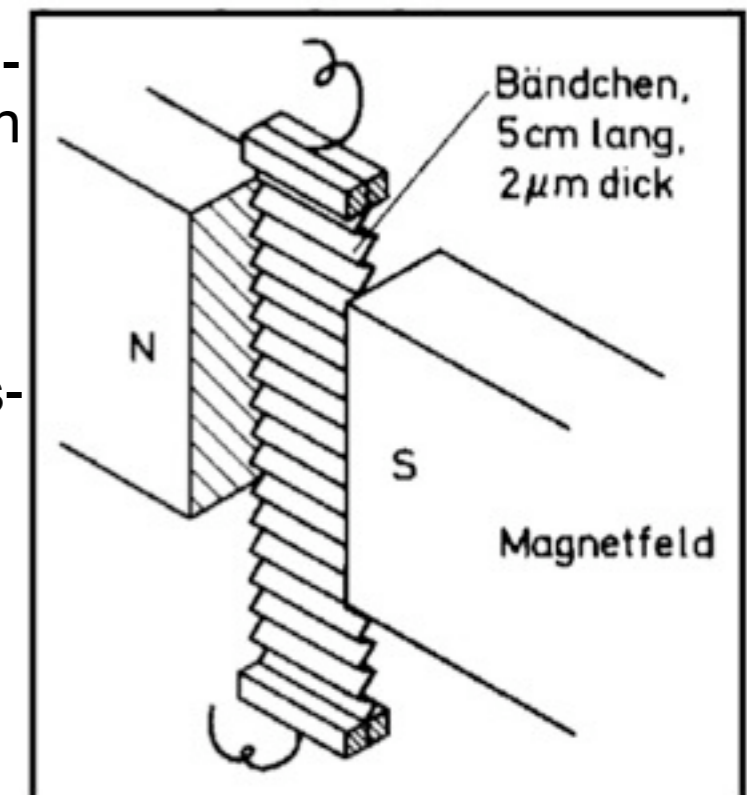
Kohlemikrofon
(preisgünstig, nicht im Studio- oder HiFi-Bereich; typische Anwendung: ältere Telefonmikrofone)



Tauchspulen-Mikrofon

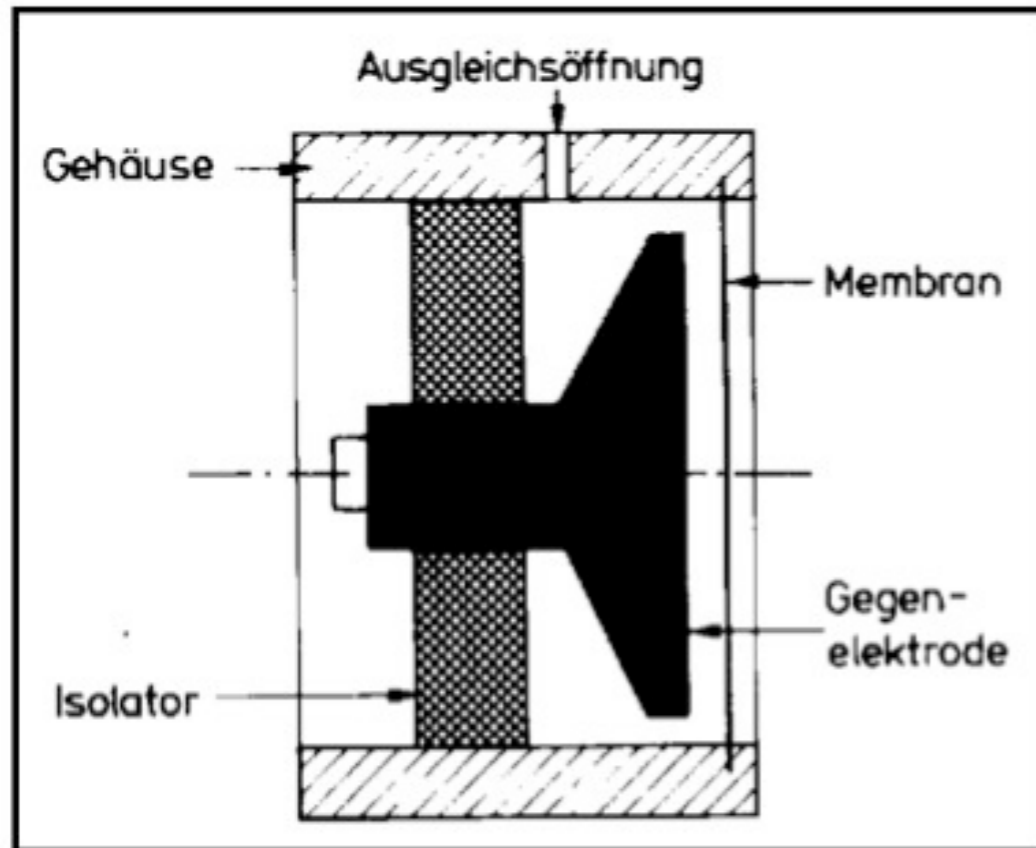
Bändchen-Mikrofon

elektrodynamische Mikrofone
(robust, gutes Preisleistungs-verhältnis; oft auf bestimmte Frequenzbereiche spezialisiert)

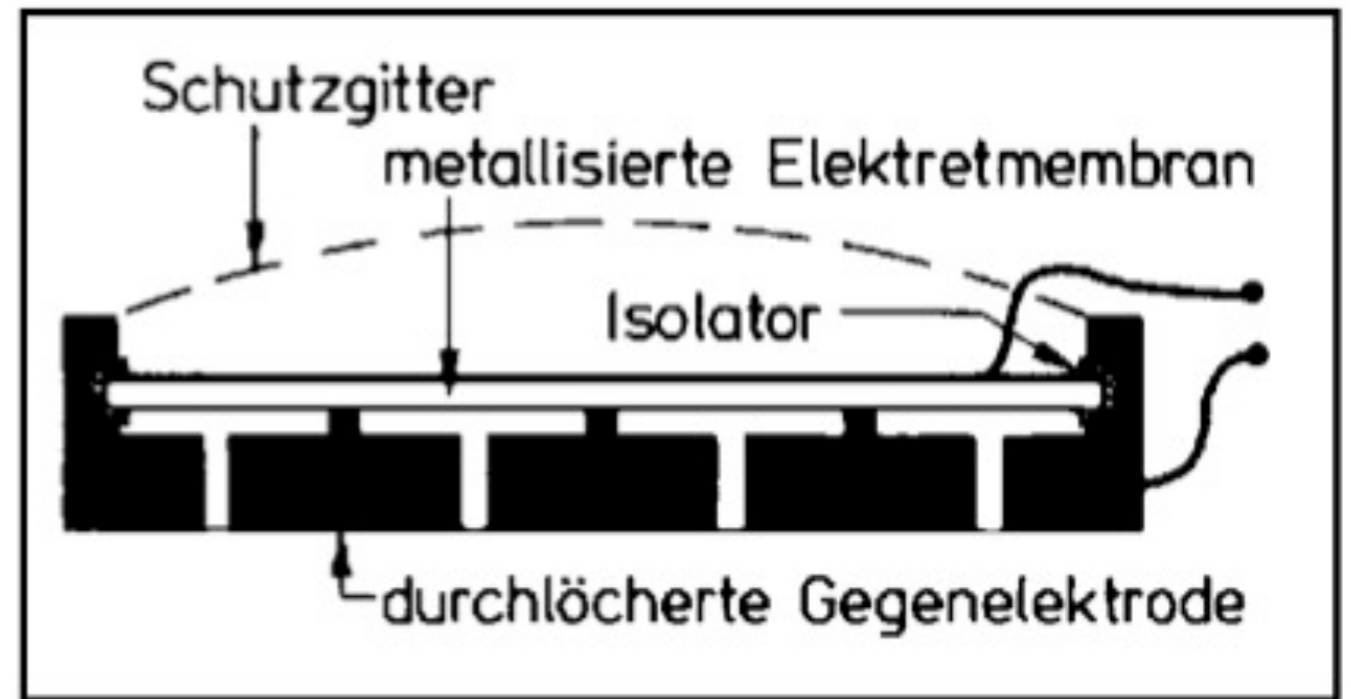


Quelle: Jürg Jecklin, Universität für Musik und darstellende Kunst Wien

Mikrofontypen (Beispiele) (2)



Kondensator-Schalldruckempfänger (hervorragend in Frequenzgang und Empfindlichkeit, teuer, benötigt Vorspannung als "Phantomeinspeisung")



Elektret-Kondensatormikrofon mit vorpolarisierter Folie (Elektret) (klein, wesentlich schlechtere Qualität, unterliegt Alterung, preisgünstiger, keine Vorspannung)

Quelle: Jürg Jecklin, Universität für Musik und darstellende Kunst Wien

Weitere Mikrofontyp Unterscheidungen

Freifeld- vs. Grenzflächen-Mikrofon

Freifeldmikrofon:

Auf Stativ oder in der Hand

Grenzflächenmikrofon: (siehe Abb.)

Direkt an Wänden, Tischen, Böden

Vermeidet Interferenzen mit Reflexionen

meist Kondensator- oder Elektretmikrofone



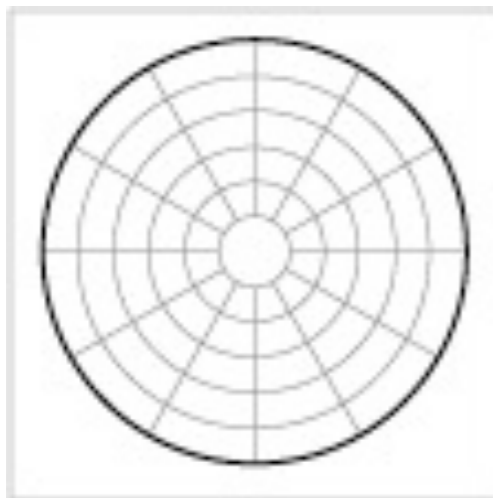
Körperschallmikrofone, Pick-Up-Mikrofone
zur Befestigung am Instrument (z.B. Gitarre)
nimmt nur Instrumententöne auf, nicht die
Umgebungsgeräusche



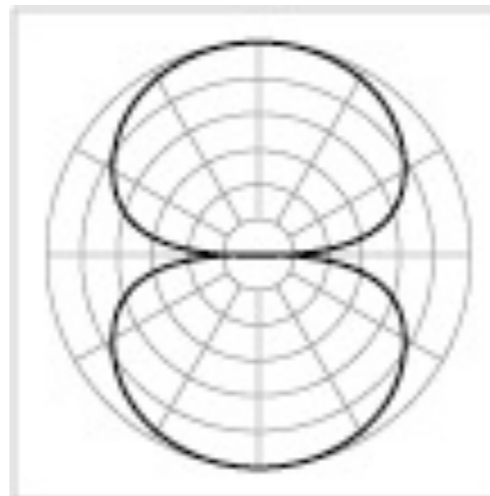
Richtcharakteristiken (1)

Polardiagramm:

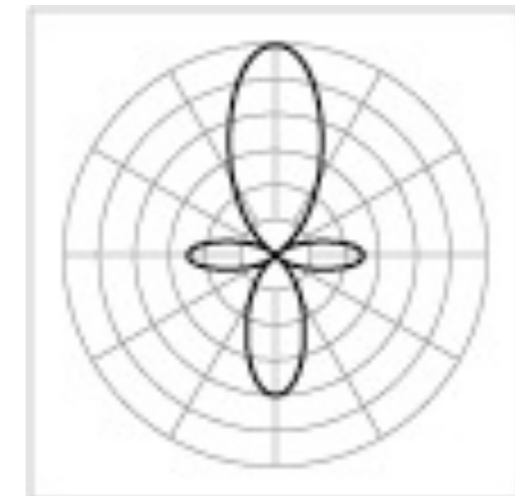
Darstellung der Empfindlichkeit für Schall aus verschiedenen Richtungen



Kugel
(Omnidirektional)



Acht
(Bidirektional)



Keule
(Direktional)

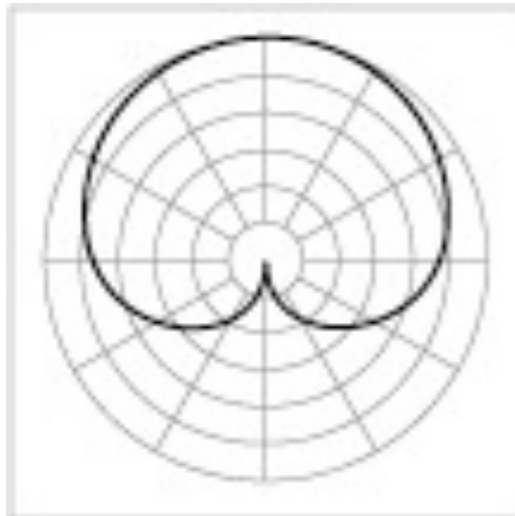
Richtmikrofon: Empfindlich v.a. in einer Richtung
(Keulencharakteristik + Bauform)

Bildquelle: Wikipedia

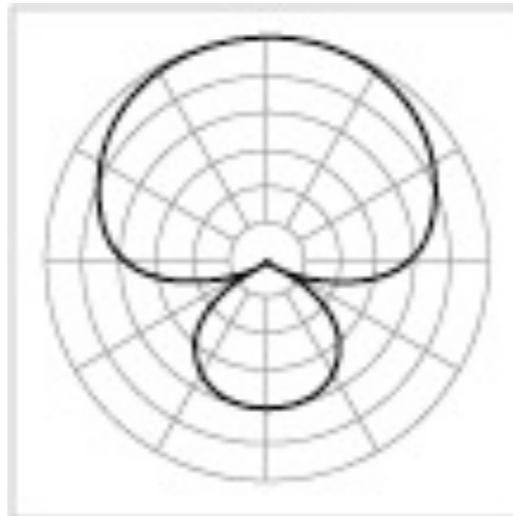
Richtcharakteristiken (2)

Polardiagramm:

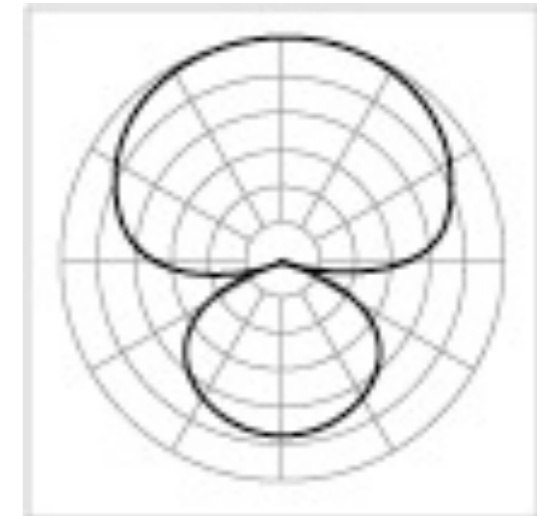
Darstellung der Empfindlichkeit für Schall aus verschiedenen Richtungen



Niere
(*Cardioid*,
unidirektional)



Superniere
(*Supercardioid*)



Hypernieren
(*Hypercardioid*)

Bildquelle: Wikipedia

Wofür welches Mikrofon?

Kugelcharakteristik: “Rundum-Mikrofone”

- Einfangen von Atmosphäre

- Nimmt auch Geräusche des Aufnehmenden mit auf

 - Laufgeräusche von Motoren, Geräusche beim Gehen etc.

- Eingebaute Kameramikrofone haben oft Kugelcharakteristik

Nieren-, Supernieren-, Keulencharakteristik

- Gezieltes Aufnehmen einer Quelle

- Kann Störgeräusche ausblenden

- Sprecher, Dialog, Interview

Charakteristik bei hochwertigen Mikrofonen oft umschaltbar

Mikrofonierung

Auswahl von

Mikrofontyp

Richtcharakteristik

Platzierung zur Schallquelle

Raummikrofone vs. Einzelmikrofone (oft beides)

Problemfelder:

Nahbesprechungseffekt (Anhebung tiefer Frequenzen)

Interferenz zwischen Direktschall und Reflexionen

Wind- und Popp-Geräusche

Poppschutz

Trittschall

Aussteuerung (Distanzen berücksichtigen)

Sprecher nahe am Mikrofon, kein Poppschutz

Sprecher unter Mikrofon, mit Poppschutz



Mikrofonierung

Auswahl von

Mikrofontyp

Richtcharakteristik

Platzierung zur Schallquelle

Raummikrofone vs. Einzelmikrofone (oft beides)

Problemfelder:

Nahbesprechungseffekt (Anhebung tiefer Frequenzen)

Interferenz zwischen Direktschall und Reflexionen

Wind- und Popp-Geräusche

 Poppschutz

Trittschall

Aussteuerung (Distanzen berücksichtigen)

Sprecher nahe am Mikrofon, kein Poppschutz

Sprecher unter Mikrofon, mit Poppschutz



Mikrofonierung

Auswahl von

Mikrofontyp

Richtcharakteristik

Platzierung zur Schallquelle

Raummikrofone vs. Einzelmikrofone (oft beides)

Problemfelder:

Nahbesprechungseffekt (Anhebung tiefer Frequenzen)

Interferenz zwischen Direktschall und Reflexionen

Wind- und Popp-Geräusche

Poppschutz

Trittschall

Aussteuerung (Distanzen berücksichtigen)

Sprecher nahe am Mikrofon, kein Poppschutz

Sprecher unter Mikrofon, mit Poppschutz



Lautsprecher

Meistverbreitete Lautsprecherbauweise:
elektrodynamisches Prinzip

Bauformen:

Konuslautsprecher

konzentrische Schwingungen
vor allem für tiefe Frequenzen

Kalottenlautsprecher

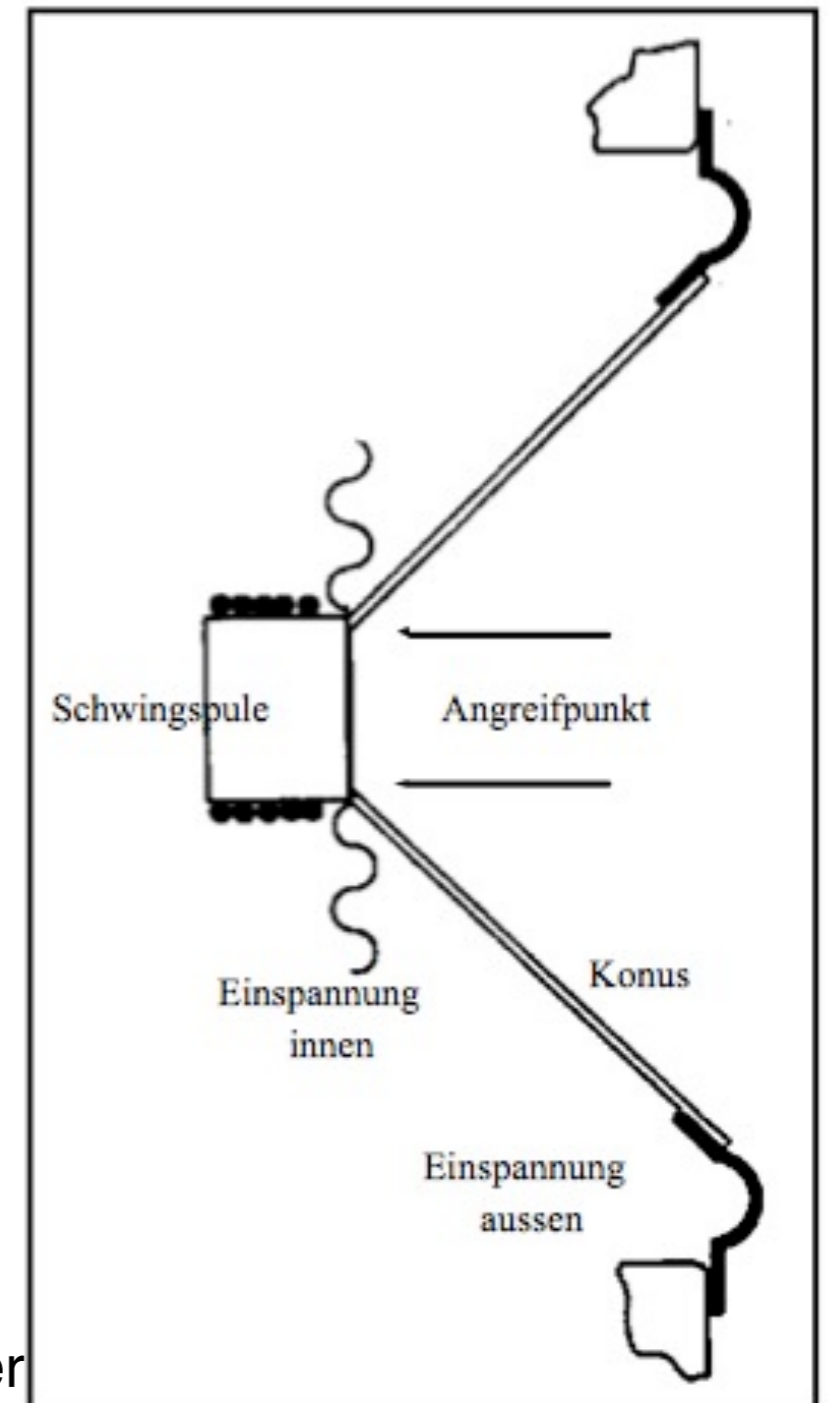
kolbenförmige Schwingung
vor allem für hohe Frequenzen

Druckkammerlautsprecher

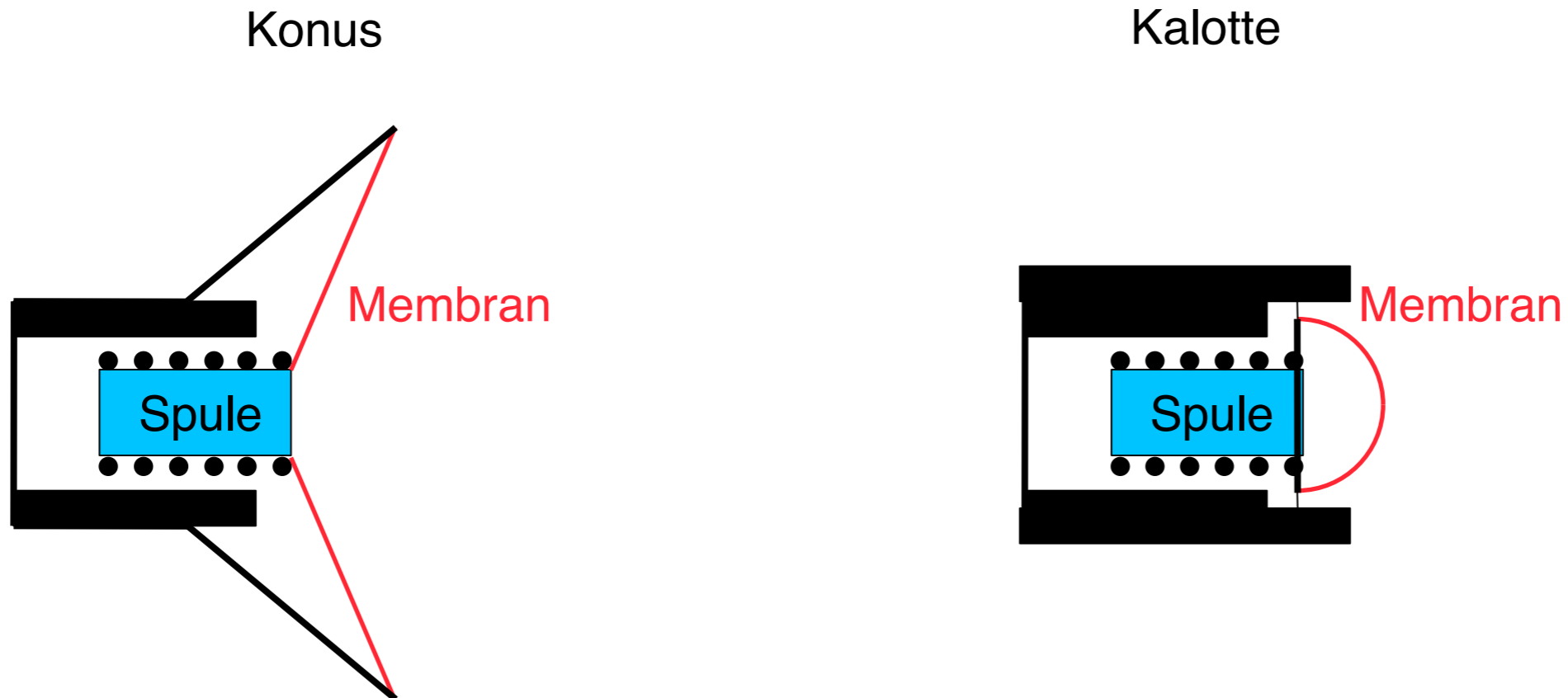
Trichter als akustischer Verstärker
("Horn")

Stark gebündelte Richtcharakteristik

Konuslautsprecher



Konus- und Kalottenlautsprecher



Typischerweise bestehen Lautsprecherboxen aus mehreren verschiedenen Einzellautsprechern mit einer "Frequenzweiche"
z.B. Hochtöner, Mitteltöner, Tieftöner

Lautsprecher werden in Boxen eingebaut, um "akustischen Kurzschluss" (sofortigen Druckausgleich) zu vermeiden

Bass-Reflexbox

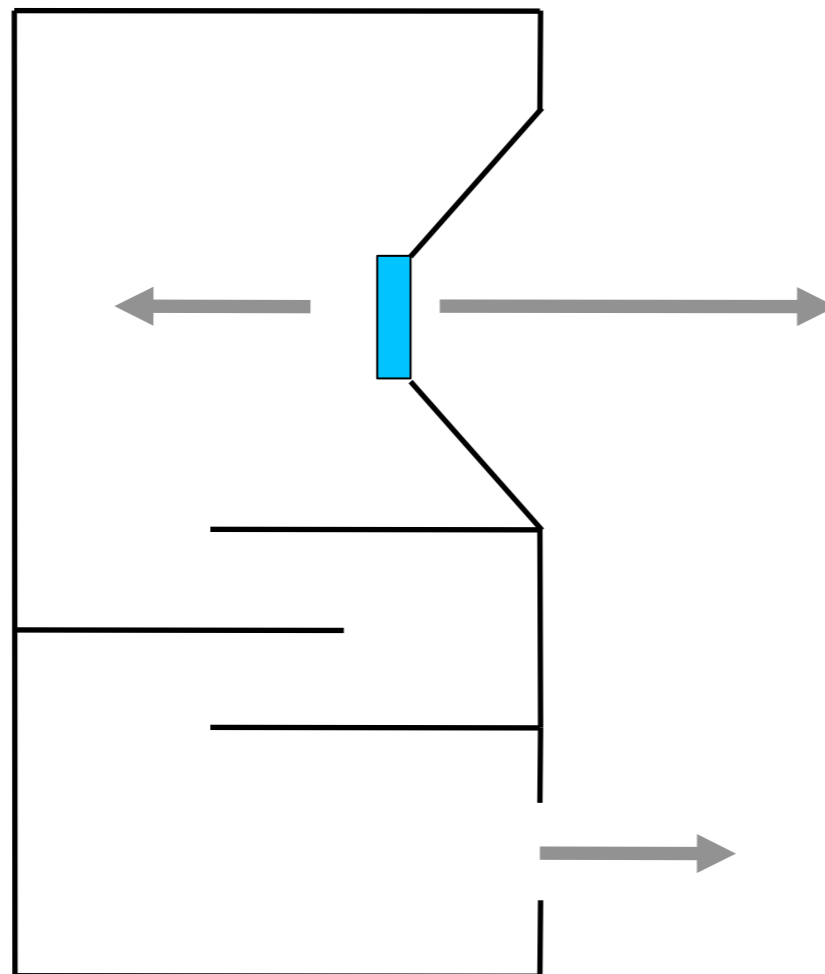
Durch Einbau in Gehäuse geht ca. 50% der Schallenergie verloren

Bei Bass-Lautsprechern lenkt man die rückwärtige Schallkompression nach vorne um, um den Wirkungsgrad zu verbessern.

Bass-Reflexbox

Durch Einbau in Gehäuse geht ca. 50% der Schallenergie verloren

Bei Bass-Lautsprechern lenkt man die rückwärtige Schallkompression nach vorne um, um den Wirkungsgrad zu verbessern.



Interferenz und Schwebung

- *Interferenz*: Überlagerung von Schallwellen exakt gleicher Frequenz

konstruktive Interferenz (*in phase*):

Übereinstimmung der Phasenlage

Addition der Amplituden

destruktive Interferenz (*out of phase*):

Gegenphasige Lage (180° verschoben)

Subtraktion der Amplituden – Auslöschung

- *Schwebung*: Überlagerung von Wellen annähernd gleicher Frequenz

konstruktive und destruktive Interferenz wechseln sich ab

Amplitudenverlauf beschreibt neues Signal

mit Frequenz = Differenz der überlagerten Frequenzen

Anschlussstechnik: Leitungen

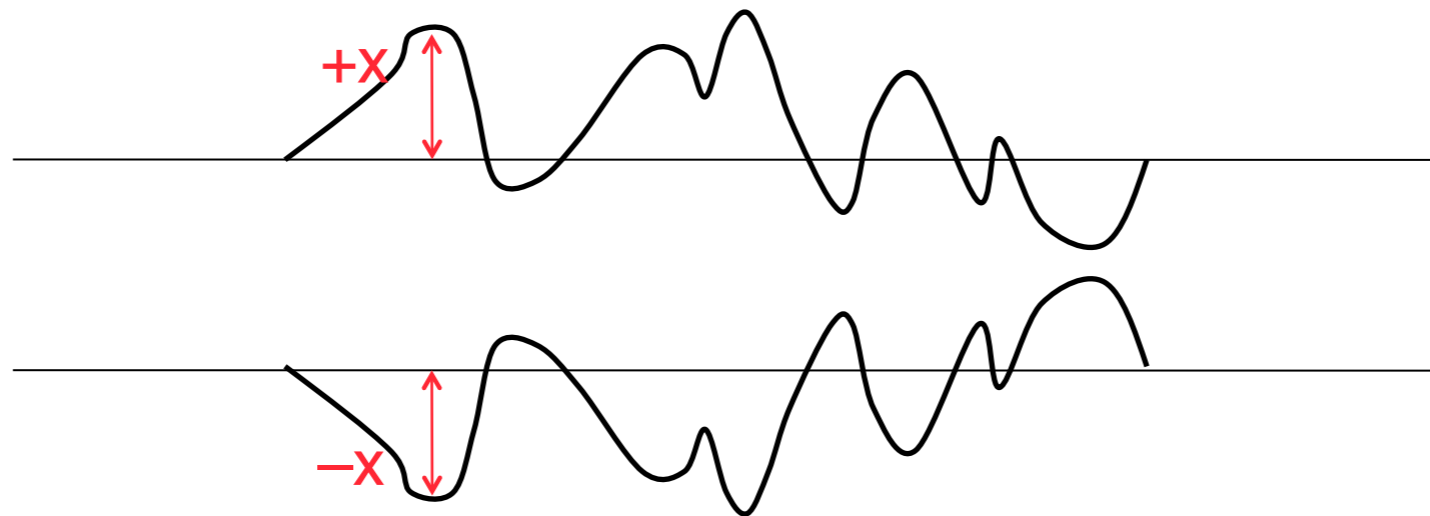
Leitungen grundsätzlich abgeschirmt
unsymmetrisch (*unbalanced*):

- » Eine signalführende Leitung
- » Abschirmung = Erdung = Nullpotential für Signal
- » geeignet für kurze Leitungslängen

symmetrisch (*balanced*):

- » Zwei signalführende Leitungen, erdfreie Signalführung
- » Signal auf der zweiten Leitung um 180° phasenverschoben
- » Evtl. Störeinkopplungen heben sich durch Interferenz auf

In der Studio- und Bühnentechnik *nur symmetrische* Leitungen
d.h. dreipolige Stecker



Anschlussstechnik: Steckernormen

Klinkenstecker, zweipolig (6,3 mm)

symmetrische Beschaltung (dann nur Mono-Signal!)

unsymmetrische Beschaltung (dann Stereo)

XLR-Stecker

symmetrische Beschaltung

vor allem für (Kondensator-)Mikrofone verbreitet

unsymmetrische Beschaltung

digitale Variante: AES/EBU

Cinch-Stecker (RCA)

nur unsymmetrische Beschaltung

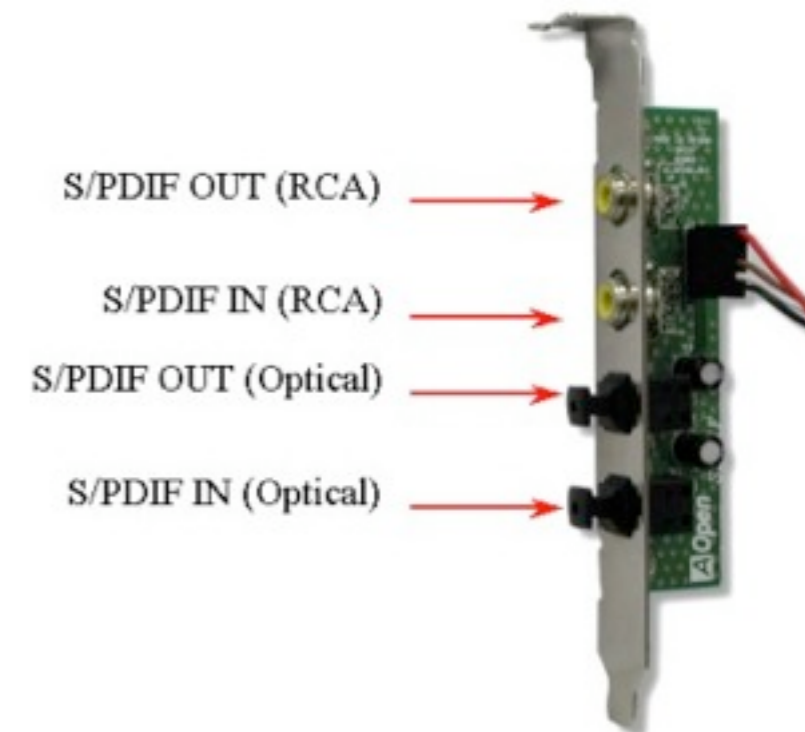
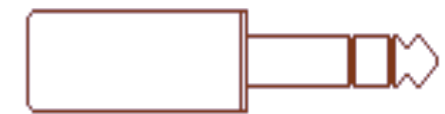
selten im professionellen Einsatz

S/PDIF

Sony/Philips Digital Interface

Digitalschnittstelle, verwendet entweder Cinch-kompatible Verbinder (elektrisch) oder optische Schnittstelle

Einsatz für digitale Signalweitergabe (z.B. CD-Spieler zu D/A-Wandler) und für Raumklangsysteme



Kompander/Dynamikkompressor

Typische Komponente für Analogtechnik

Analoge Komponenten führen zu störendem Rauschen

vor allem "Eigenrauschen" bei Magnetbandaufzeichnung

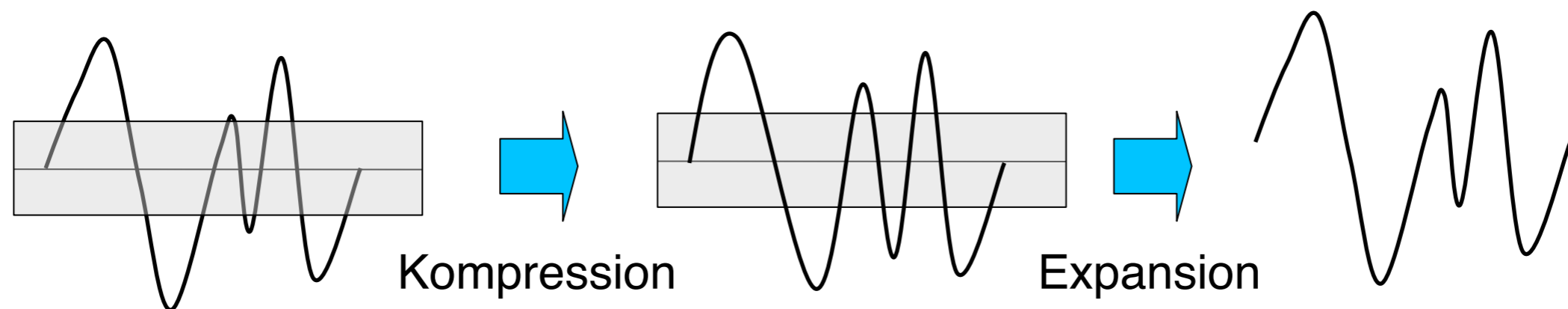
Bei Tonbandaufnahmen mit grosser "Dynamik" (d.h. großem Unterschied zwischen höchstem und niedrigstem Signalpegel) stört das Bandrauschen die leisen Passagen

Abhilfe: Kompressor – Expander (= Kompander)

Signal wird auf kleineren Dynamikumfang "komprimiert" (leise Passagen angehoben, laute abgesenkt) und später wieder "expandiert"

» Kompressor und Expander auch als separate Klangeffekte, sh. später

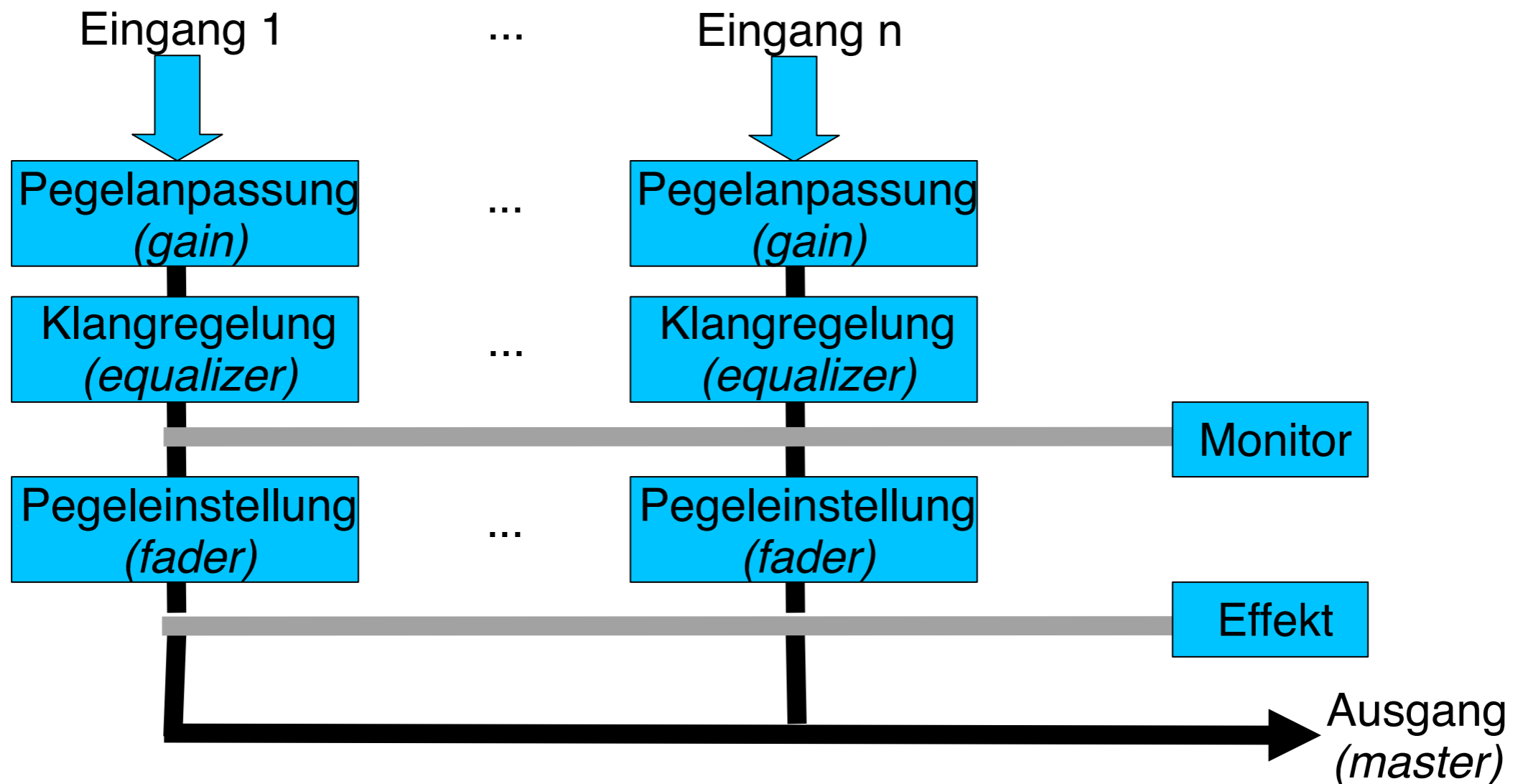
Bekannte Produktstandards: Dolby A/B/C/SR, dbx



Mischpult

Tonregieanlage: Herzstück eines Tonstudios

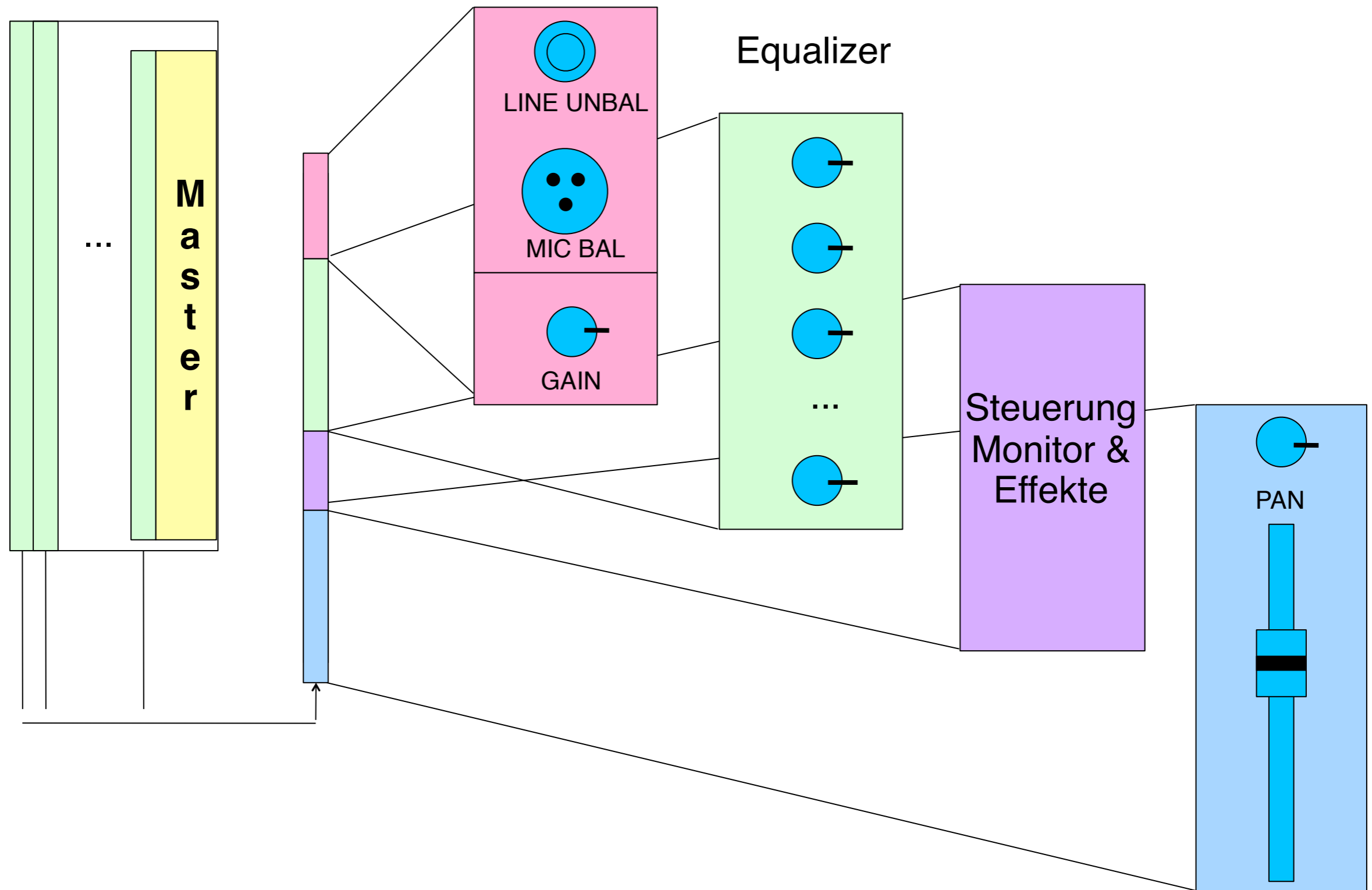
Pegelanpassung
Klangbearbeitung
Signalverteilung



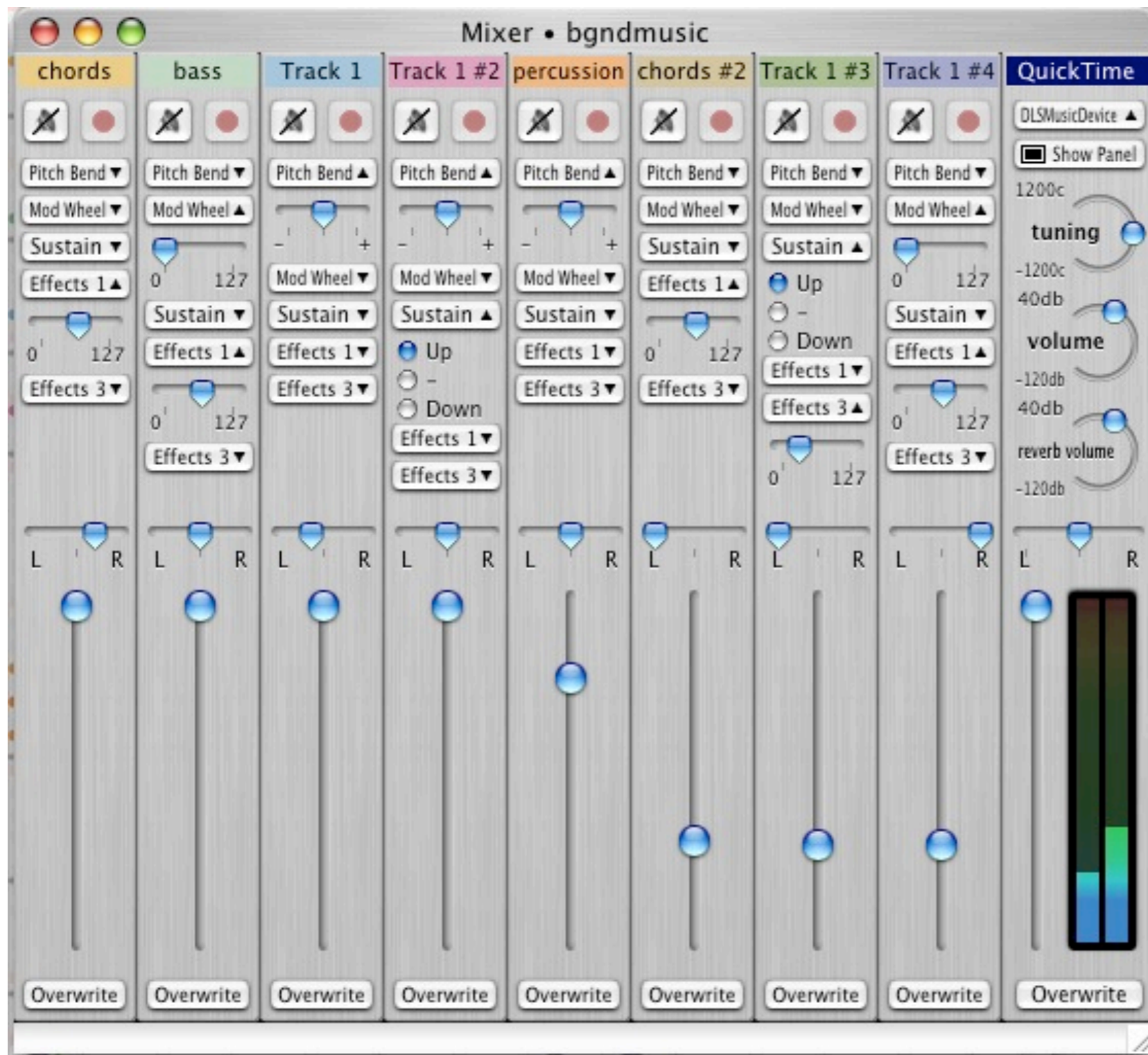
Reale Audio-Mischpulte



Bedienungselemente eines Mischpults (Prinzip)



Ein virtuelles Mischpult



Software:
Intuem 2.1.0

Frequenzfilter

Frequenzfilter sind Schaltungen oder Algorithmen, die ein von der Frequenz abhängiges Übertragungsverhalten von Eingang zu Ausgang aufweisen.

Klassische Analogtechnik:

Filter aus Elektronik-Bauelementen
(Widerstände, Kondensatoren, Spulen)

Digitaltechnik:

Filter als digitaler Signalverarbeitungsbaustein (digitale Hardware)
Software-Filter

Einfache Standard-Filterformen:

Hochpass, Tiefpass
Bandpass, Bandsperre

Komplexe Spezialfilter:

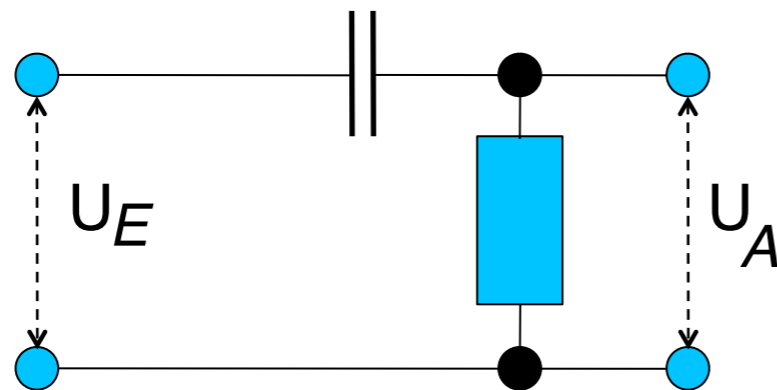
In aufwändigen Effektgeräten in Hardware realisiert
Relativ einfach in Software zu realisieren

Hochpass

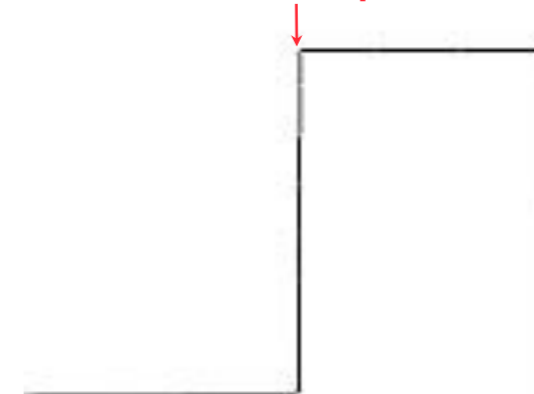
Hochpass: lässt hohe Frequenzen durch, blockiert niedrige Frequenzen

Elektrotechnische Realisierung

"RC-Hochpass erster Ordnung"

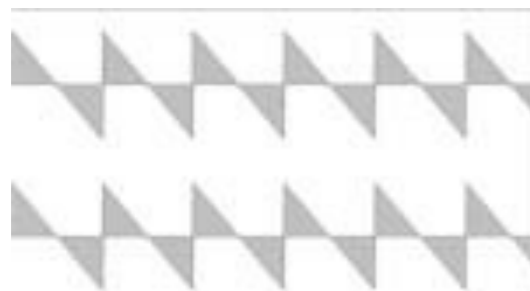


Grenzfrequenz

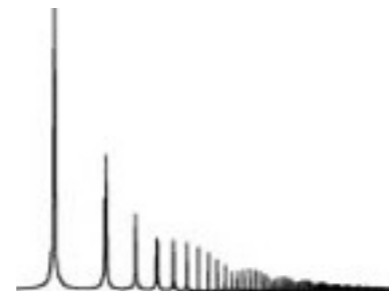


Frequenzgang für Hochpass

Eingangssignal:
Sägezahnswingung

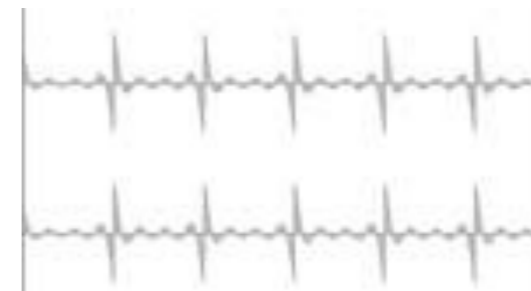


Signalverlauf

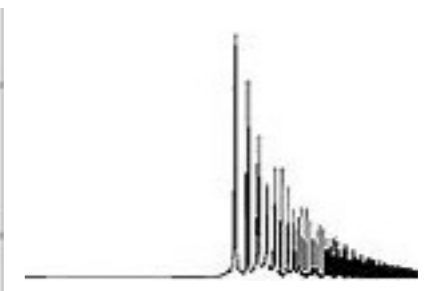


Spektrum

Resultat nach Hochpass:



Signalverlauf



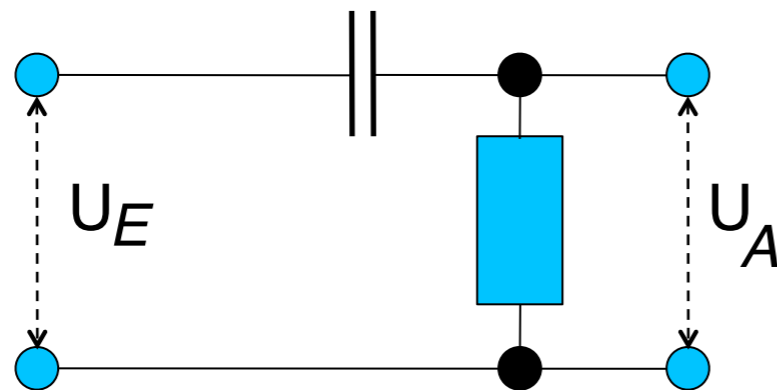
Spektrum

Hochpass

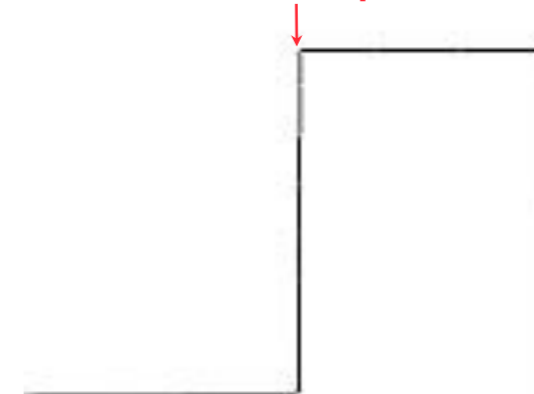
Hochpass: lässt hohe Frequenzen durch, blockiert niedrige Frequenzen

Elektrotechnische Realisierung

"RC-Hochpass erster Ordnung"

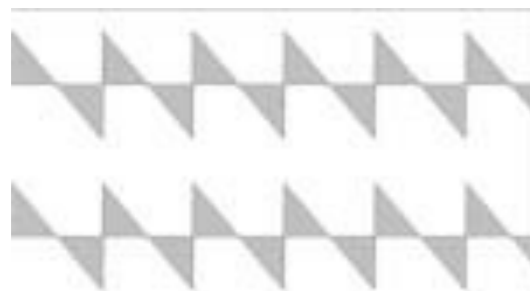


Grenzfrequenz

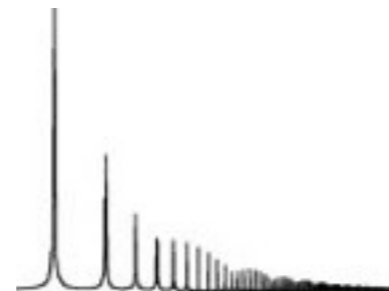


Frequenzgang für Hochpass

Eingangssignal:
Sägezahnswingung

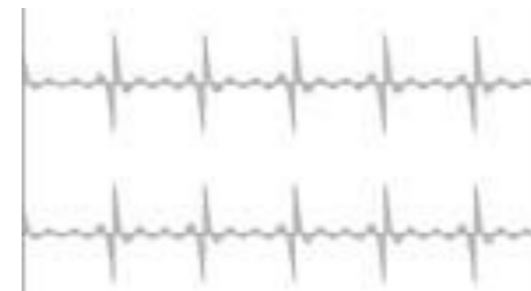


Signalverlauf

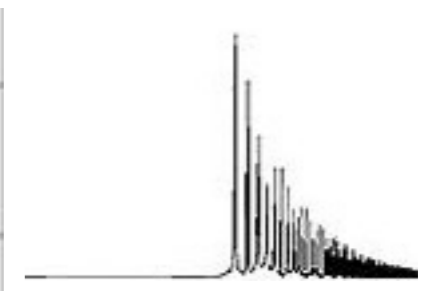


Spektrum

Resultat nach Hochpass:



Signalverlauf



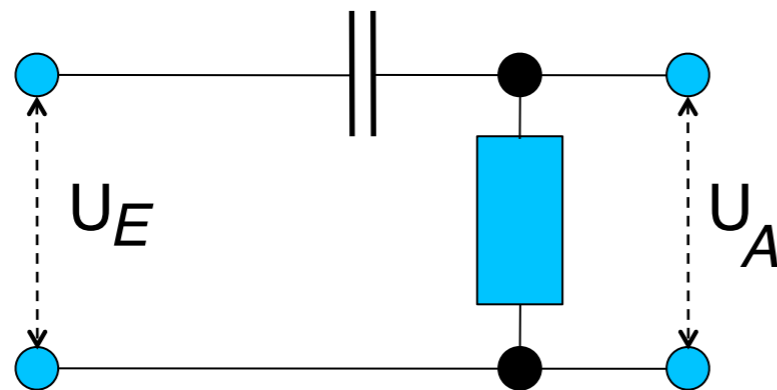
Spektrum

Hochpass

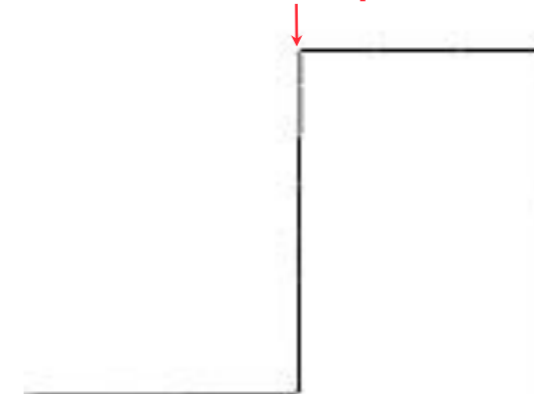
Hochpass: lässt hohe Frequenzen durch, blockiert niedrige Frequenzen

Elektrotechnische Realisierung

"RC-Hochpass erster Ordnung"



Grenzfrequenz

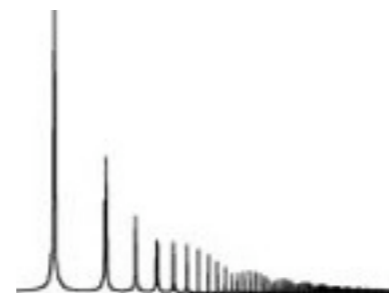


Frequenzgang für Hochpass

Eingangssignal:
Sägezahnswingung

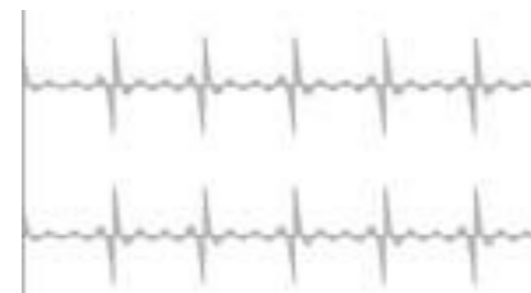


Signalverlauf

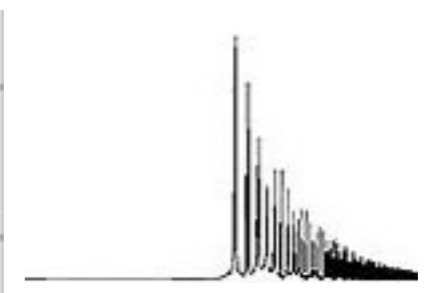


Spektrum

Resultat nach Hochpass:



Signalverlauf



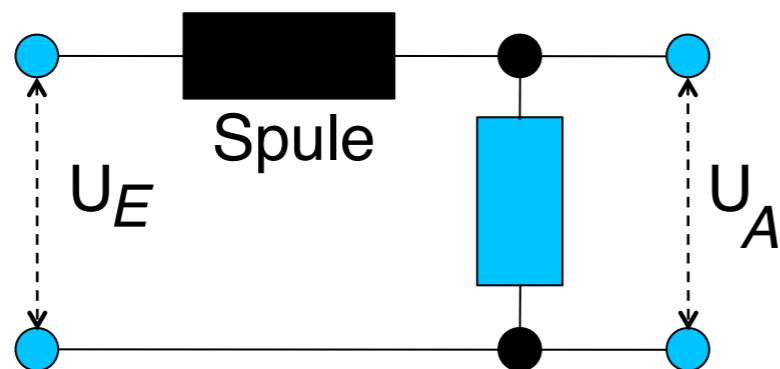
Spektrum

Tiefpass

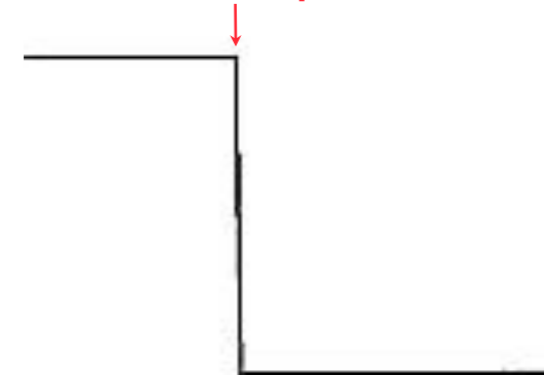
Tiefpass: lässt tiefe Frequenzen durch, blockiert hohe Frequenzen

Elektrotechnische Realisierung

"RL-Tiefpass erster Ordnung"

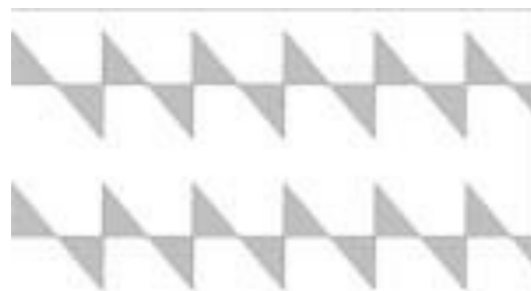


Grenzfrequenz

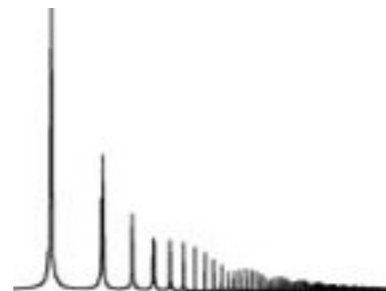


Frequenzgang für Tiefpass

Eingangssignal:
Sägezahnschwingung

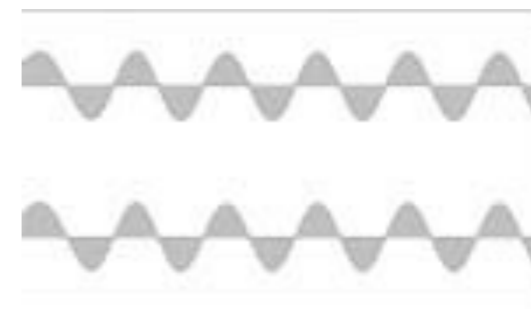


Signalverlauf



Spektrum

Resultat nach Tiefpass:



Signalverlauf



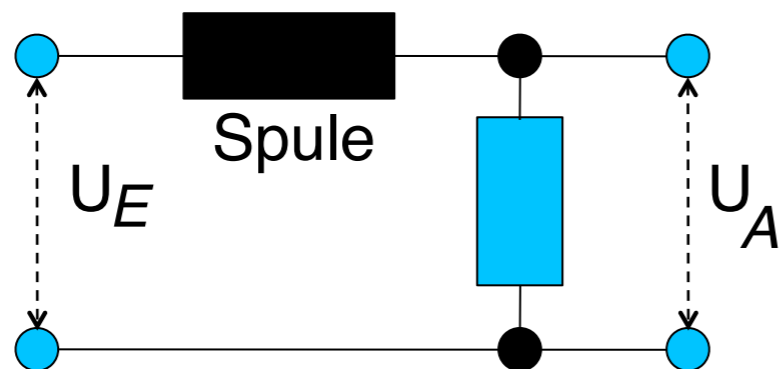
Spektrum

Tiefpass

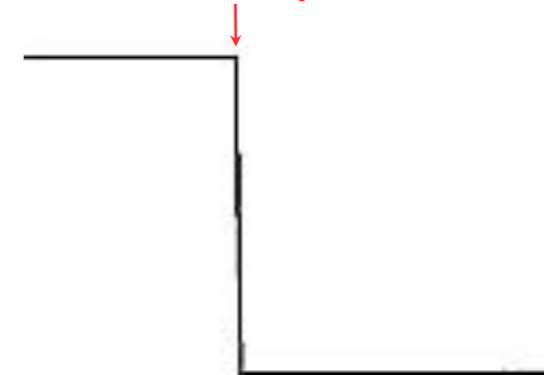
Tiefpass: lässt tiefe Frequenzen durch, blockiert hohe Frequenzen

Elektrotechnische Realisierung

"RL-Tiefpass erster Ordnung"

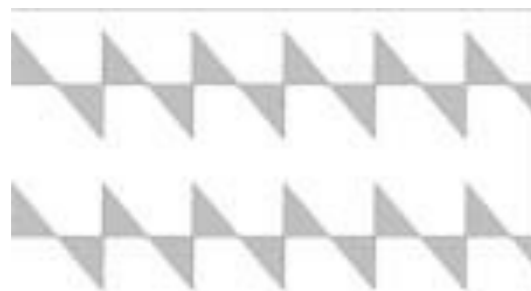


Grenzfrequenz

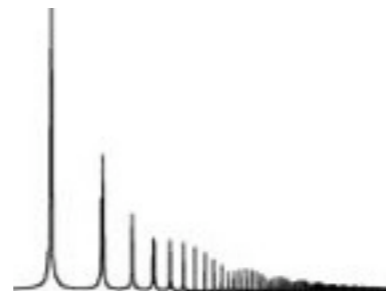


Frequenzgang für Tiefpass

Eingangssignal:
Sägezahnschwingung

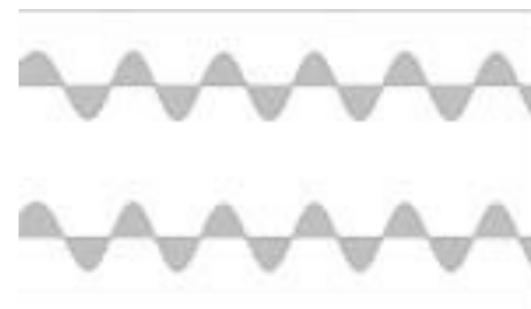


Signalverlauf



Spektrum

Resultat nach Tiefpass:



Signalverlauf



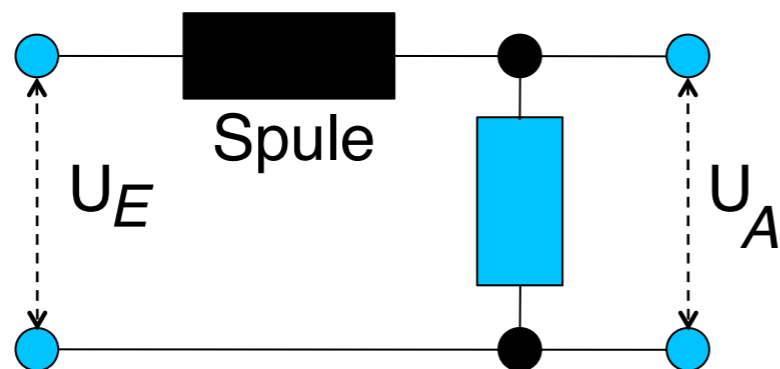
Spektrum

Tiefpass

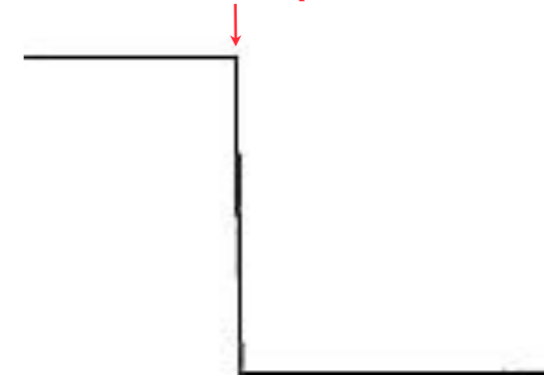
Tiefpass: lässt tiefe Frequenzen durch, blockiert hohe Frequenzen

Elektrotechnische Realisierung

"RL-Tiefpass erster Ordnung"

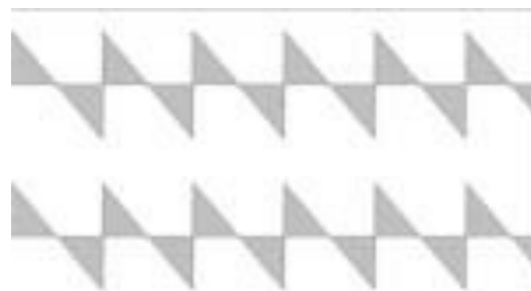


Grenzfrequenz

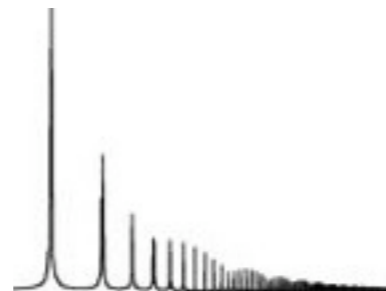


Frequenzgang für Tiefpass

Eingangssignal:
Sägezahnsschwingung

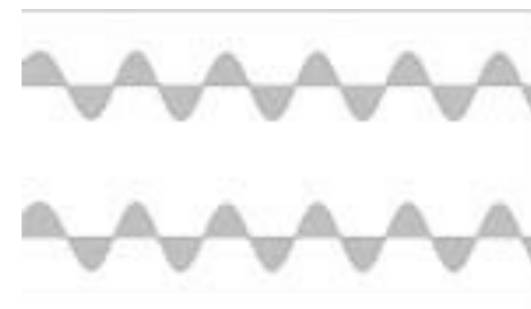


Signalverlauf

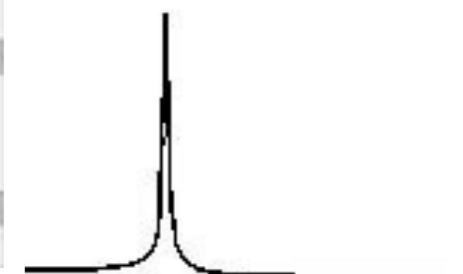


Spektrum

Resultat nach Tiefpass:



Signalverlauf

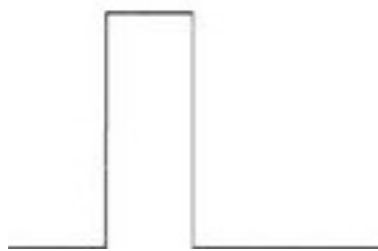


Spektrum

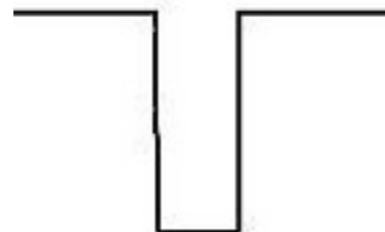
Bandpass, Bandsperre

Bandpass: lässt Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, blockiert andere Frequenzen

Bandsperre: blockiert Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, lässt andere Frequenzen durch

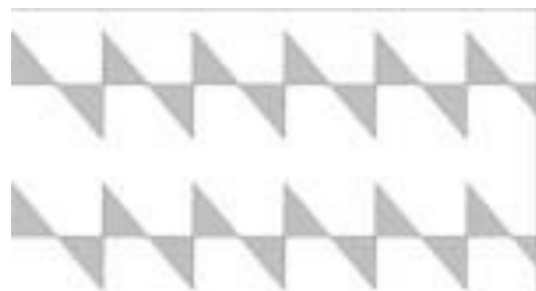


Frequenzgang Bandpass

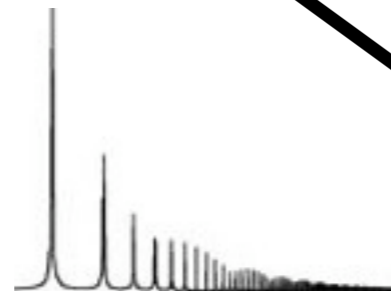


Frequenzgang Bandsperre

Eingangssignal:
Sägezahnswingung

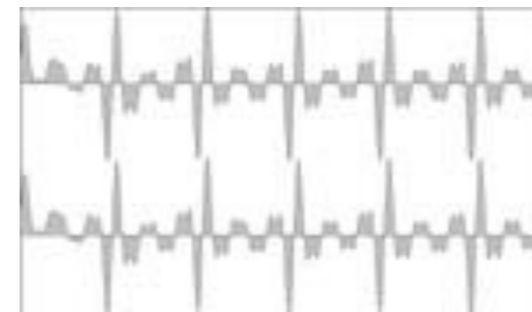


Signalverlauf

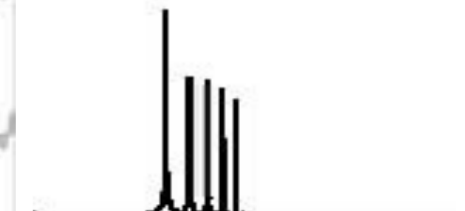


Spektrum

Bandpass:

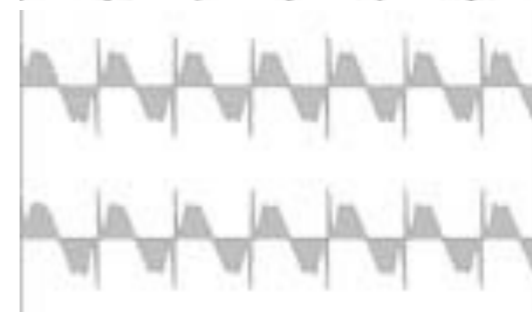


Signalverlauf

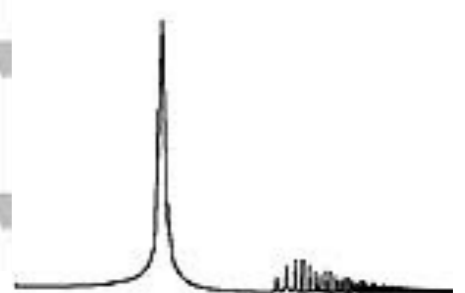


Spektrum

Bandsperre:



Signalverlauf

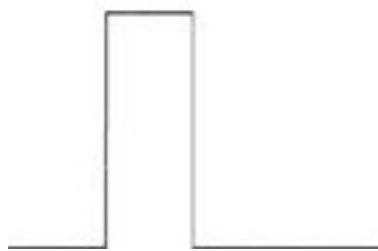


Spektrum

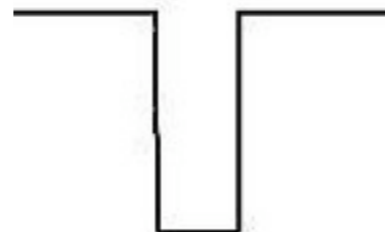
Bandpass, Bandsperre

Bandpass: lässt Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, blockiert andere Frequenzen

Bandsperre: blockiert Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, lässt andere Frequenzen durch

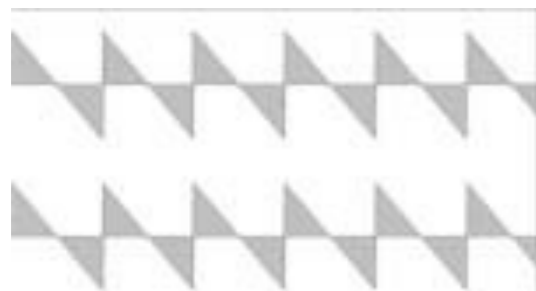


Frequenzgang Bandpass

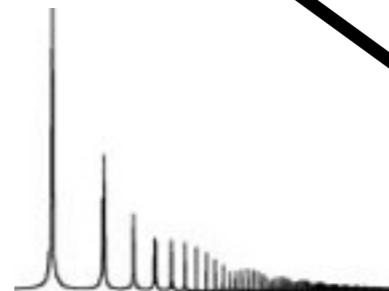


Frequenzgang Bandsperre

Eingangssignal:
Sägezahnswingung

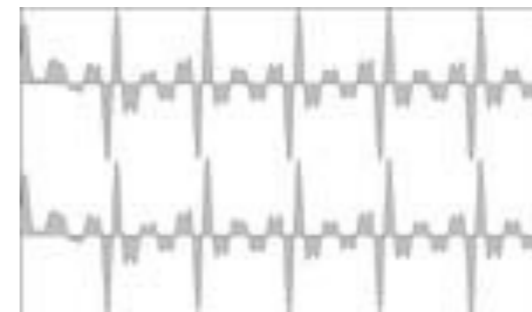


Signalverlauf

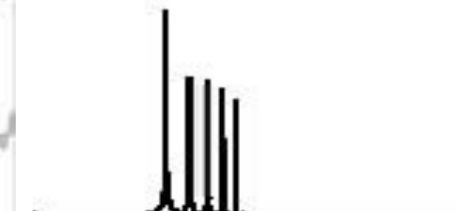


Spektrum

Bandpass:

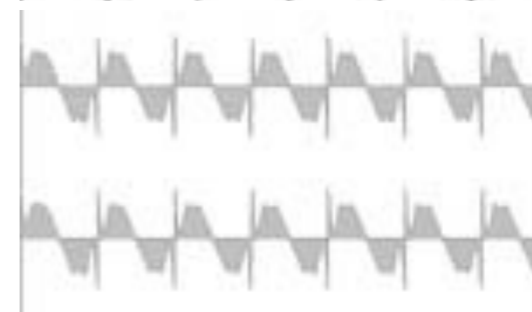


Signalverlauf

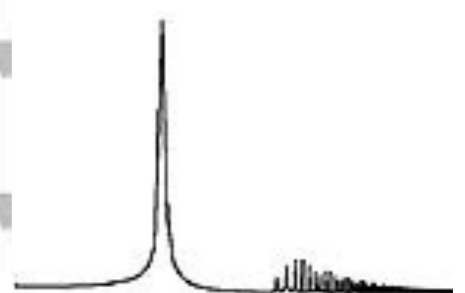


Spektrum

Bandsperre:



Signalverlauf

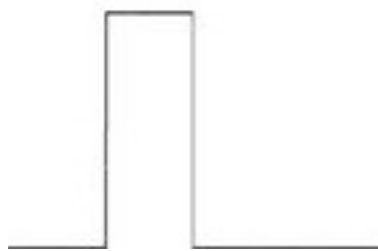


Spektrum

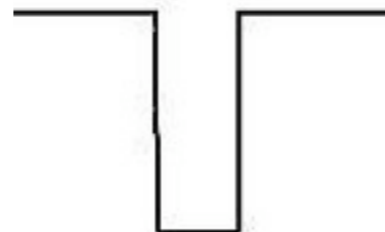
Bandpass, Bandsperre

Bandpass: lässt Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, blockiert andere Frequenzen

Bandsperre: blockiert Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, lässt andere Frequenzen durch

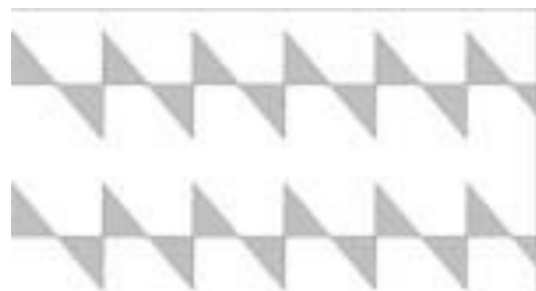


Frequenzgang Bandpass

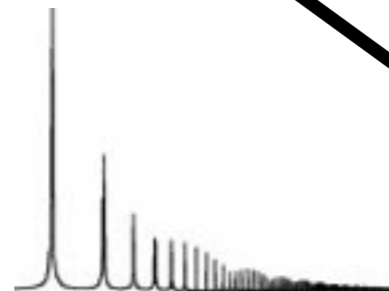


Frequenzgang Bandsperre

Eingangssignal:
Sägezahnswingung

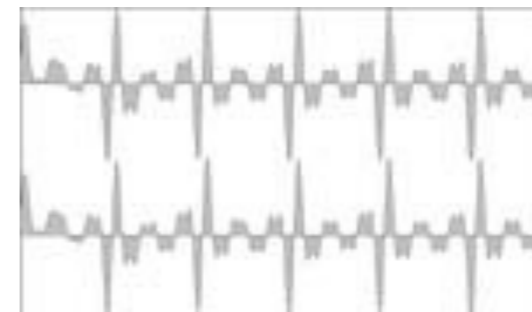


Signalverlauf

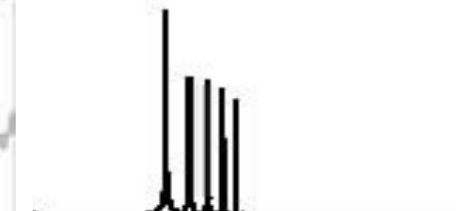


Spektrum

Bandpass:

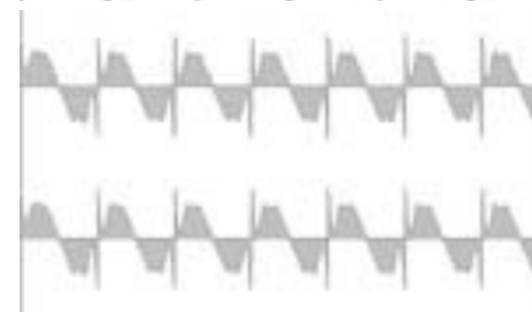


Signalverlauf

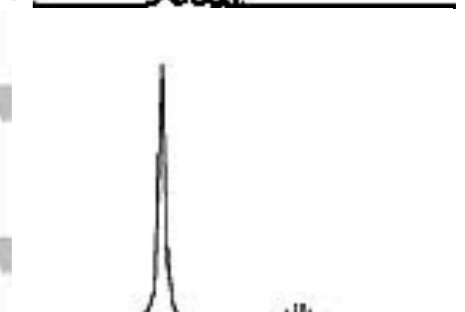


Spektrum

Bandsperre:



Signalverlauf

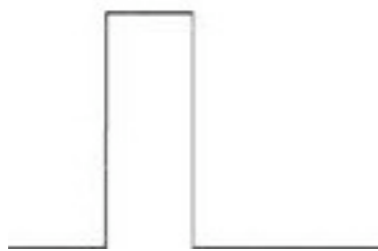


Spektrum

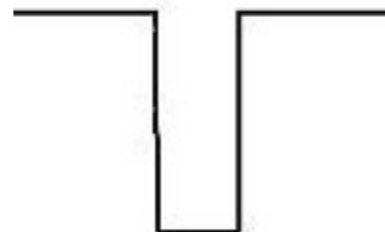
Bandpass, Bandsperre

Bandpass: lässt Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, blockiert andere Frequenzen

Bandsperre: blockiert Frequenzen in bestimmtem Intervall durch, lässt andere Frequenzen durch

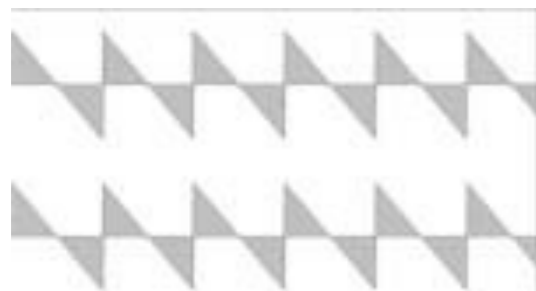


Frequenzgang Bandpass

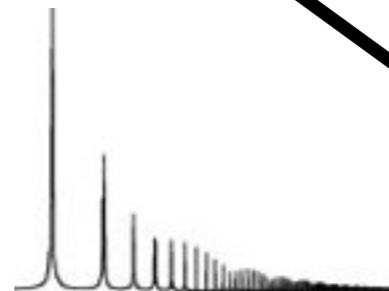


Frequenzgang Bandsperre

Eingangssignal:
Sägezahnswingung

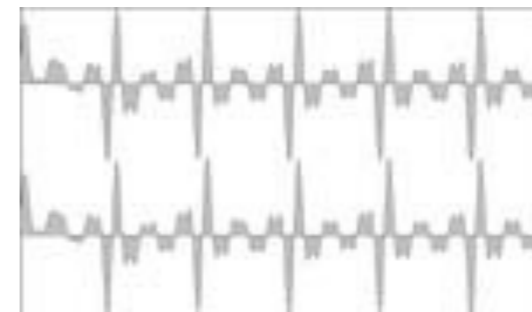


Signalverlauf

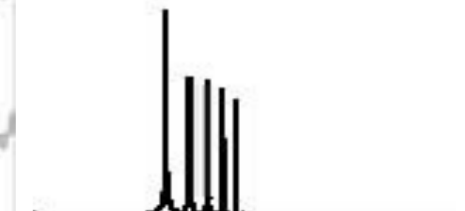


Spektrum

Bandpass:

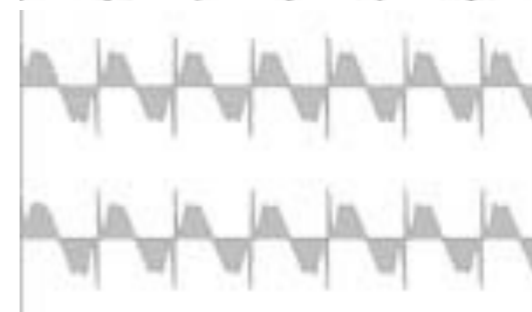


Signalverlauf

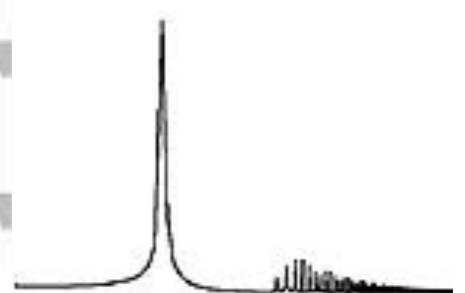


Spektrum

Bandsperre:



Signalverlauf



Spektrum

Equalizer

Ursprung:

Ausgleichen von Frequenzgang-Unterschieden zwischen verschiedenen Mikrofonen (Linearisierung)

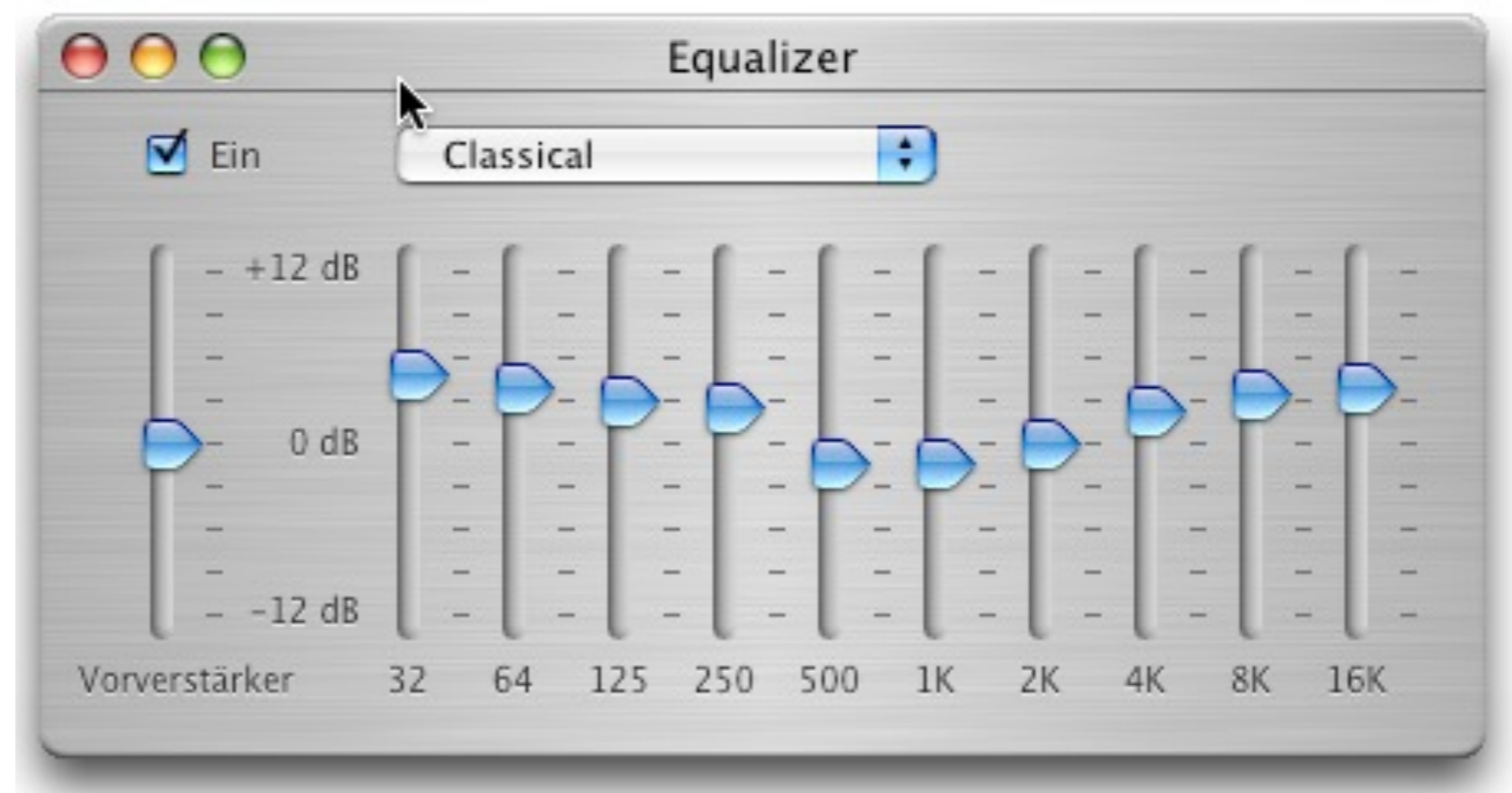
Heutzutage:

Generelles Instrument zur frequenzselektiven Klangveränderung

Ausdruck von Künstler und Produzent optimieren

Musikstil optimal umsetzen (Klassik, Pop, Rock, ...)

Häufiger "Missbrauch":
Höhen und Tiefen anheben
um Klang subjektiv
wirkungsvoller zu machen
("Badewannenkurve")



Grafischer Equalizer

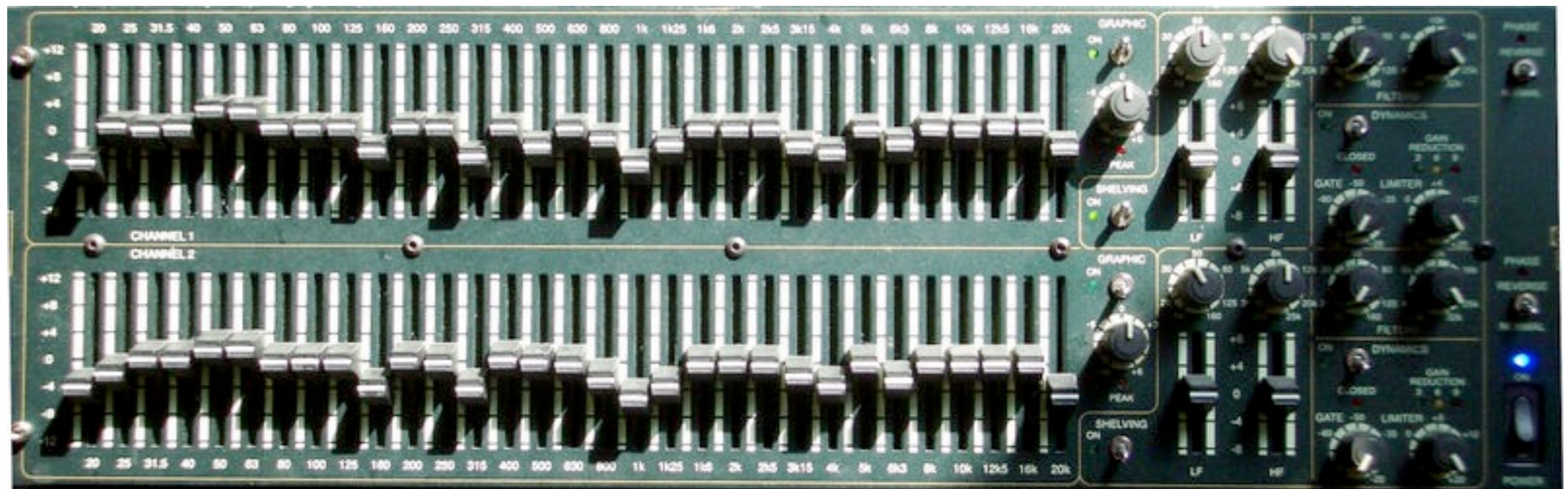
Grafischer Equalizer:

Frequenzbänder fester Bandbreite

Individuelle Pegelregelung je Frequenzband

Bei professionellen Geräten 26 bis 33 Frequenzbänder je 1/3 Oktave

Einfache optische Kontrolle der Einstellung



Parametrischer Equalizer

Parametrischer Equalizer:

Reihe von Frequenzfiltern, jeweils einstellbar:

Mittelfrequenz

Bandbreite

Verstärkung bzw. Dämpfung

Filtergüte Q:

Bandbreite relativ zur Mittenfrequenz

Großes Q: enges Band

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$



Gestaltung durch Equalizing

(nach B. Owsinski, The Mixing Engineer's Handbook)

Einzelne Instrumente klarer machen

Einzelne Instrumente oder den Mix „überlebensgroß“ machen

Jedem Instrument seinen Frequenzbereich zuweisen, in dem es dominiert.

Faustregeln:

„If it sounds muddy, cut some at 250 Hz.

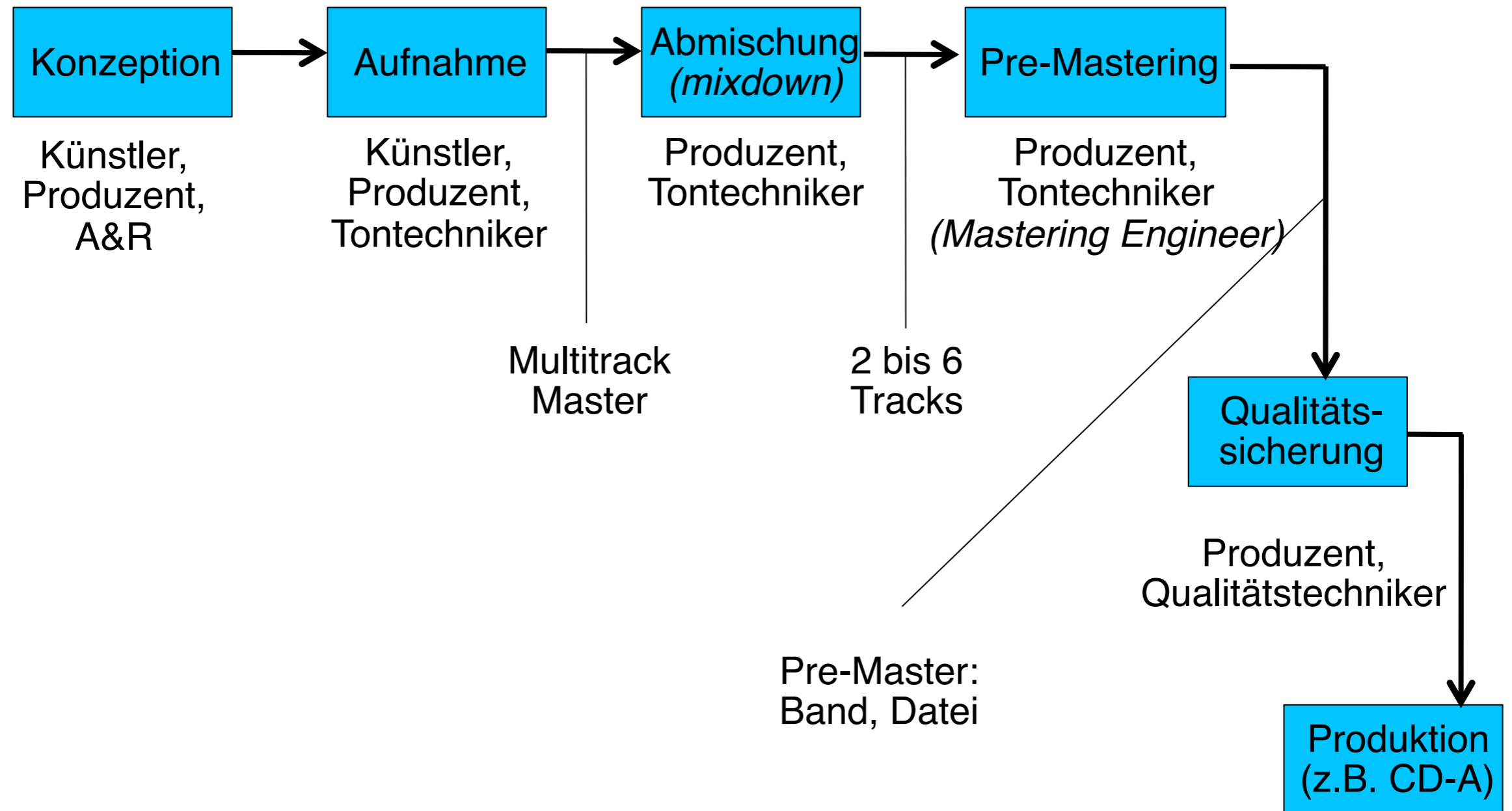
If it sounds honky, cut some at 500 Hz.

Cut if you're trying to make things sound better.

Boost if you're trying to make things sound different.

You can't boost anything that's not there in the first place.“

Produktionsprozess eines Musikalbums



Aus: Bob Katz: Mastering Audio

Loudness Wars

Psychoakustische Tatsache:

Spontan wird eine lautere Audio-Darbietung bei sonst gleicher Qualität als „besser“ empfunden

Eindruck ändert sich bei längerem Hören!

„Lautstärke“ ist psychoakustisch mit geringem Dynamikumfang (geringe Pegelunterschiede) assoziiert (Schutzmechanismus)

Digital vs. Analog:

Digitales Audio (CD) tendenziell „leiser“

Hochwertiges digitales Audio noch leiser

wegen Ausnutzung des verfügbaren Dynamikbereichs

Tendenz:

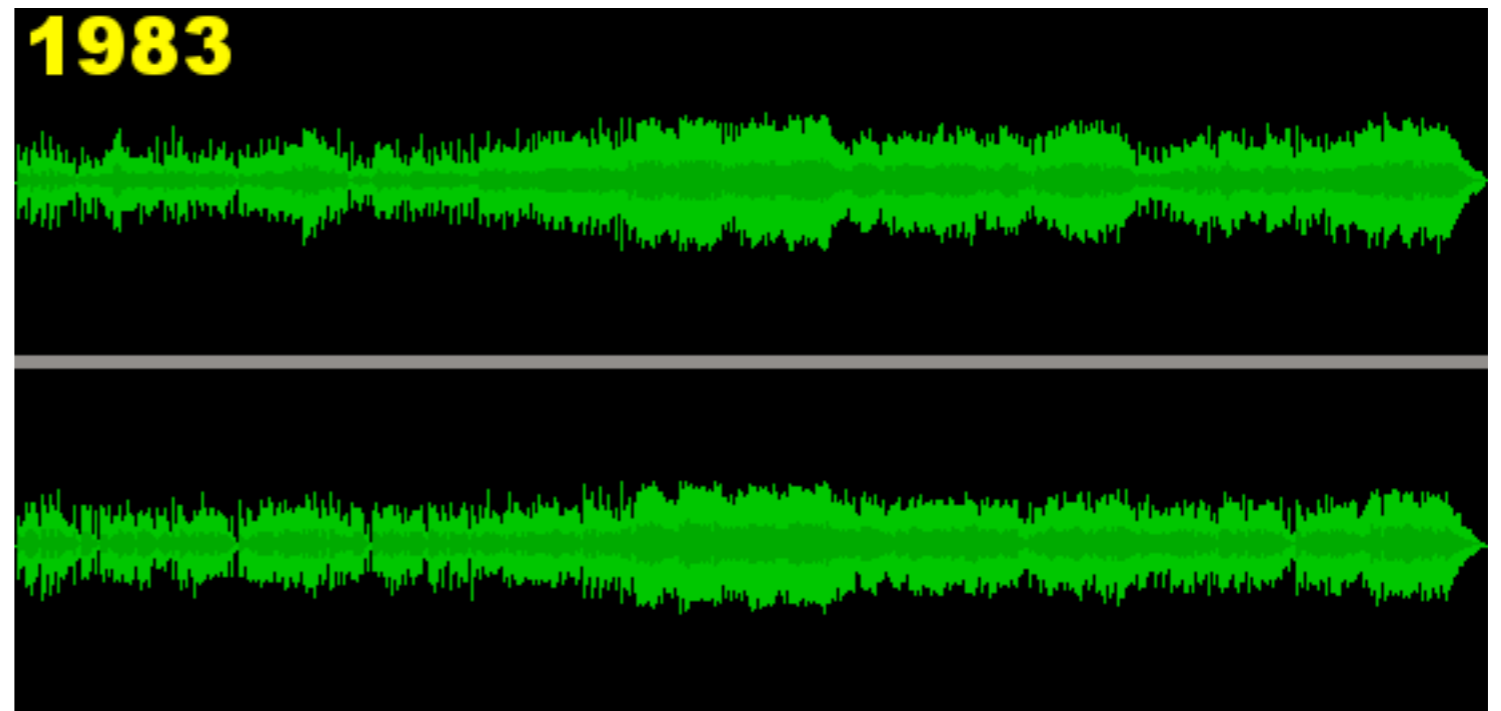
Digitale Audio-Aufnahmen werden oft zu hoch ausgesteuert (sollen lauter klingen)

Kompression wird oft zu stark angewandt

„Loudness Wars“: Welche Aufnahme klingt besonders „stark“?

Rolling Stone (Dec. 2007): „The death of high fidelity“

Weniger Dynamik, mehr Kompression



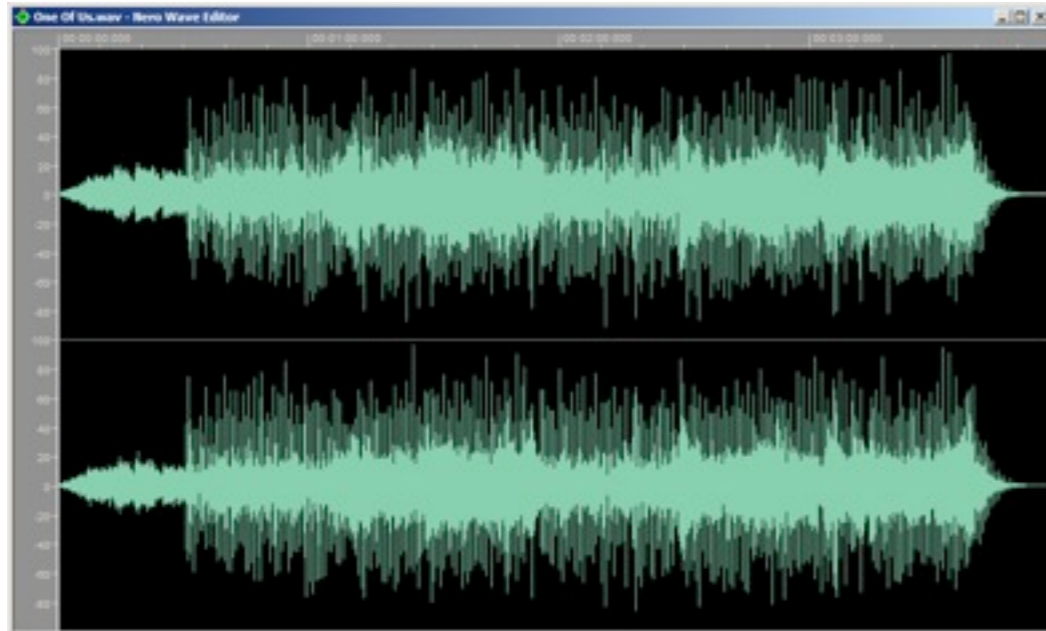
The Beatles: Something (Wikipedia: Loudness War)

Für laute Umgebungen (Auto, Arbeitsplatz) kann geringer Dynamikumfang sinnvoll sein

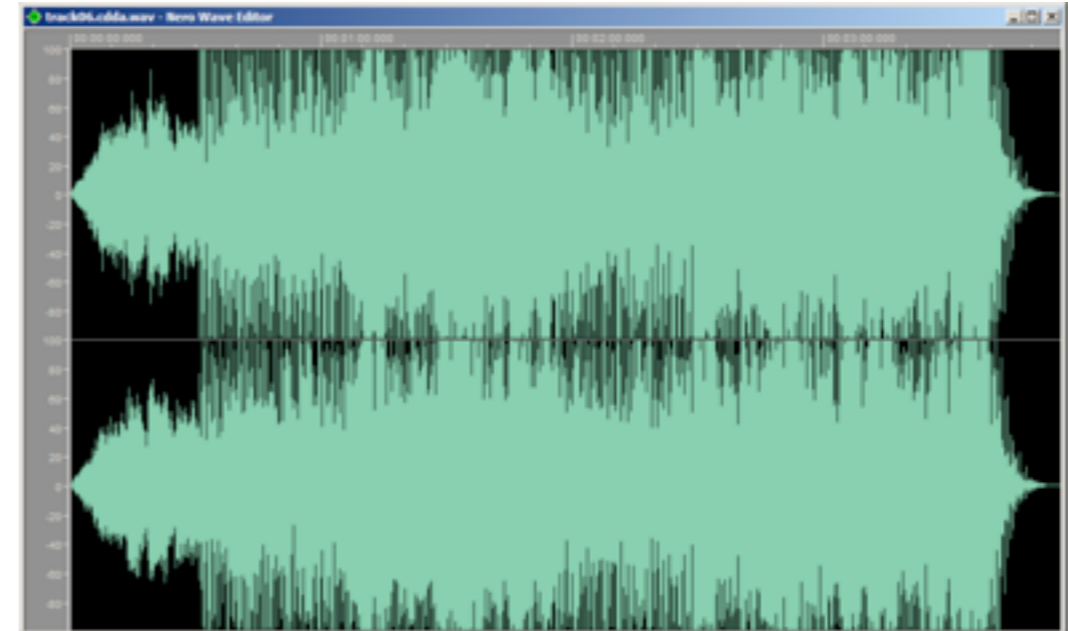
Bei Neuausgaben von Musik (im Pop-Segment) wird Dynamik oft reduziert

Ergebnis: Hohe Aufmerksamkeit, abspielbar auf schlechten Geräten, Musik geht teilweise verloren ...

Musik mit hoher und niedriger Dynamik



Abba: One of Us, 1981



Abba: One of Us, 2005
(Re-Mastered)

Dynamikumfang = Unterschied zwischen lauten und leisen Anteilen

Beispiele:

Guns'n'Roses, Appetite for Destruction, 1987: 15 dB Dynamikumfang

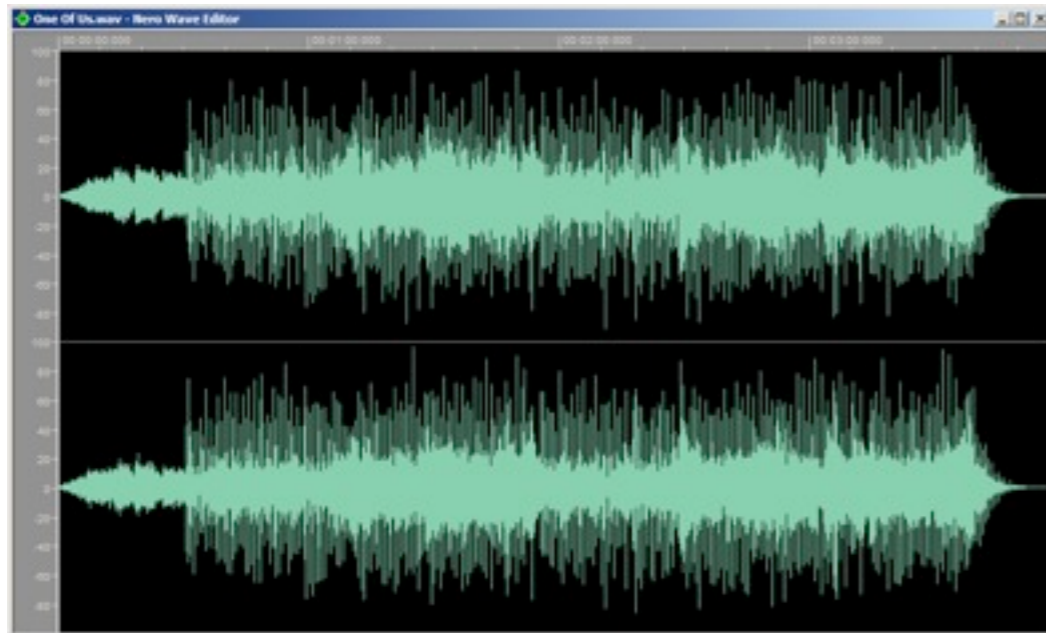
Oasis, (What's the Story) Morning Glory, 1995: 8 dB Dynamikumfang

Iggy Pop, Raw Power, remastered 1997: 4 dB Dynamikumfang

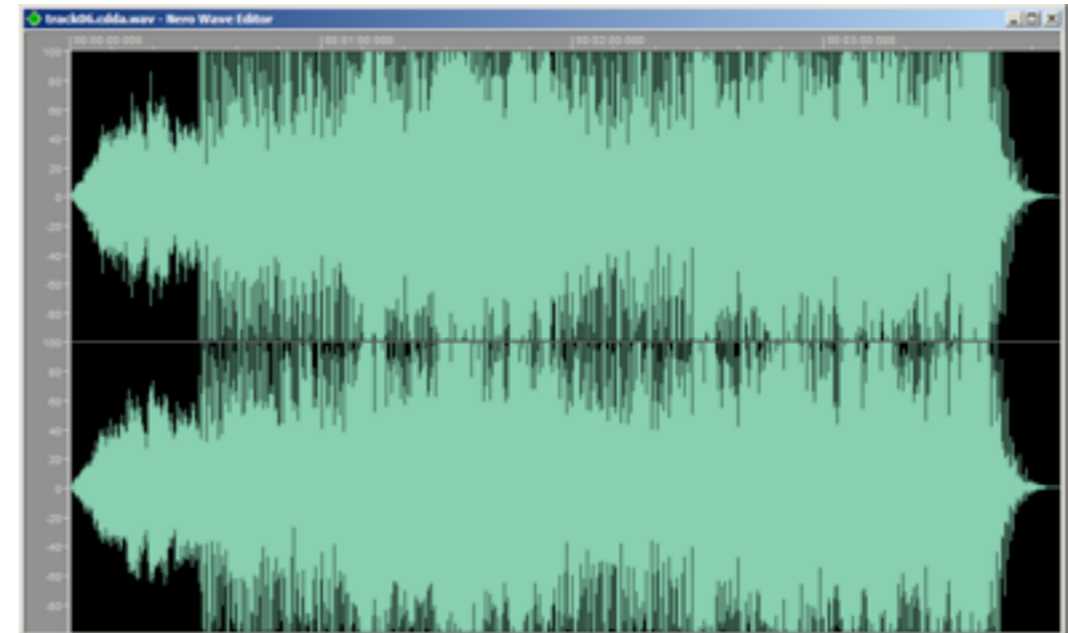
Arctic Monkeys, 2008 („dynamikfrei“)

Quelle: Süddeutsche Zeitung v. 18.01.08, „Was nicht knallt, hat keine Chance“

Musik mit hoher und niedriger Dynamik



Abba: One of Us, 1981



Abba: One of Us, 2005
(Re-Mastered)

Dynamikumfang = Unterschied zwischen lauten und leisen Anteilen

Beispiele:

Guns'n'Roses, Appetite for Destruction, 1987: 15 dB Dynamikumfang

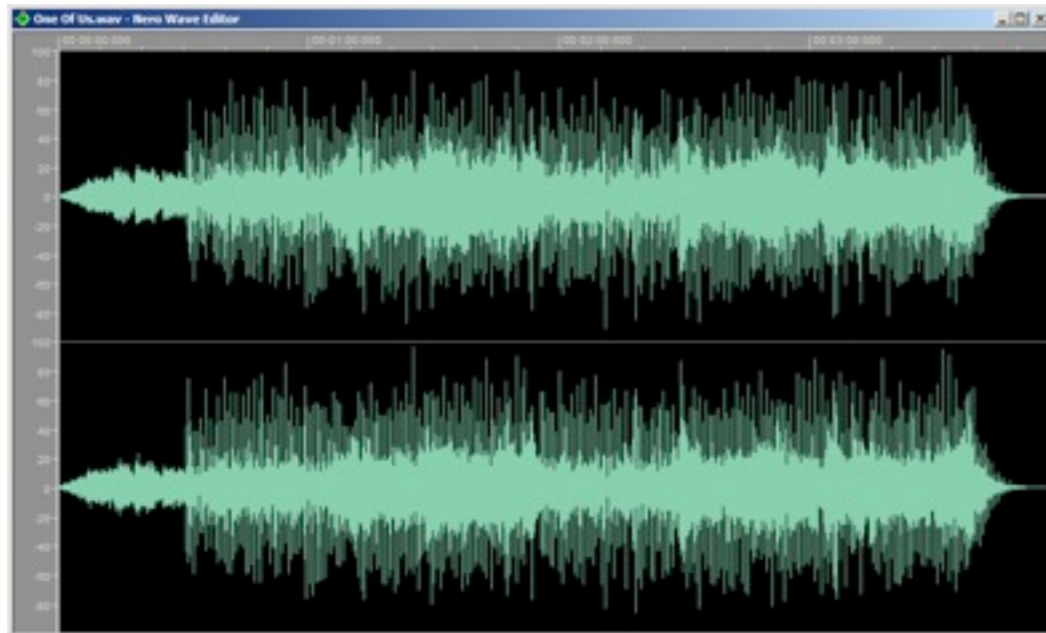
Oasis, (What's the Story) Morning Glory, 1995: 8 dB Dynamikumfang

Iggy Pop, Raw Power, remastered 1997: 4 dB Dynamikumfang

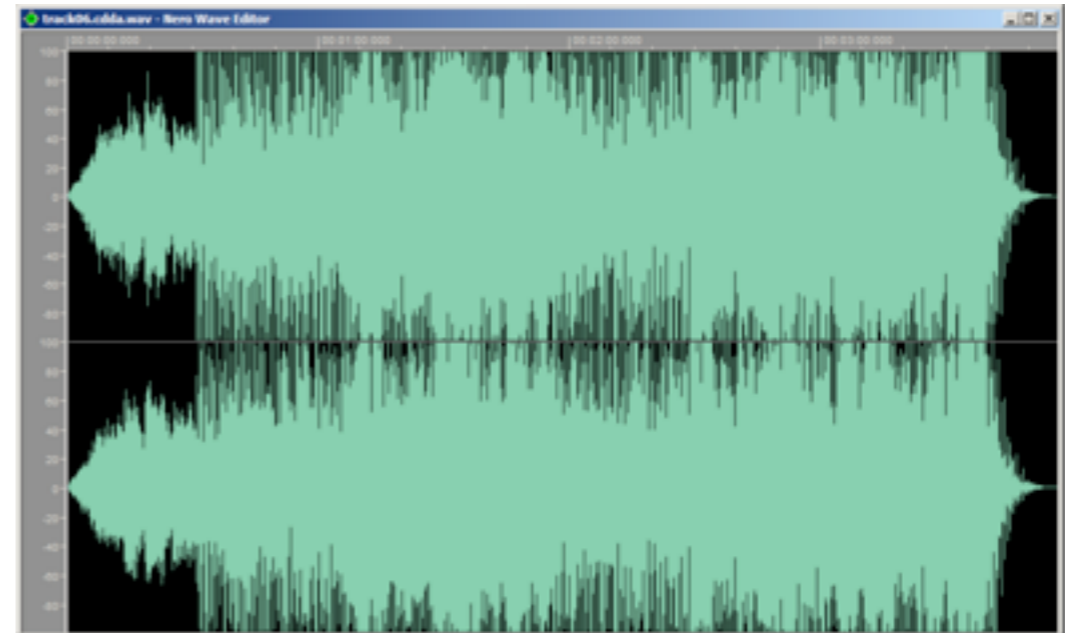
Arctic Monkeys, 2008 („dynamikfrei“)

Quelle: Süddeutsche Zeitung v. 18.01.08, „Was nicht knallt, hat keine Chance“

Musik mit hoher und niedriger Dynamik



Abba: One of Us, 1981



Abba: One of Us, 2005
(Re-Mastered)

Dynamikumfang = Unterschied zwischen lauten und leisen Anteilen

Beispiele:

Guns'n'Roses, Appetite for Destruction, 1987: 15 dB Dynamikumfang

Oasis, (What's the Story) Morning Glory, 1995: 8 dB Dynamikumfang

Iggy Pop, Raw Power, remastered 1997: 4 dB Dynamikumfang

Arctic Monkeys, 2008 („dynamikfrei“)

Quelle: Süddeutsche Zeitung v. 18.01.08, „Was nicht knallt, hat keine Chance“


4. Audiotechnik und Tonbearbeitung

- 4.1 Grundlagen der Audiotechnik
- 4.2 Analoge Audiotechnik
- 4.3 Mehrkanaltechnik
- 4.4 Digitale Audiotechnik
- 4.5 CD und verwandte Speichertechnologien

Literatur:

Th. Görne: Tontechnik, 2. Auflage, Hanser-Verlag 2008

4. Audiotechnik und Tonbearbeitung

- 4.1 Grundlagen der Audiotechnik
- 4.2 Analoge Audiotechnik
- 4.3 Mehrkanaltechnik 
- 4.4 Digitale Audiotechnik
- 4.5 CD und verwandte Speichertechnologien

Literatur:

Th. Görne: Tontechnik, 2. Auflage, Hanser-Verlag 2008

Stereofonie

Geschichte:

Alan Dower Blumlein, England: Patent 1931

Verbreitet seit den 50er Jahren

Anfangs oft Links/Rechts-Quellen statt Ortung von Phantomschallquellen
("Beatles-Stereo")

Laufzeitstereofonie:

Differenzen in der Laufzeit der beiden Kanäle wahrgenommen

Intensitätsstereofonie:

Differenzen im Pegel der beiden Kanäle wahrgenommen

Äquivalenzstereofonie:

Kombination der beiden Verfahren

Links/Rechts- (LR-) und Mitten/Seiten- (MS-) Stereofonie

LR überträgt Information für linken und rechten Lautsprecher auf 2 Kanälen

MS überträgt Mono-Mittensignal und Seiteninformation in getrennten Kanälen

Links = Mitte + Seite, Rechts = Mitte – Seite (mit Faktor $1/\sqrt{2}$)

Matrizierung

Raumklang (*Surround Sound*) (1)

Stereo:

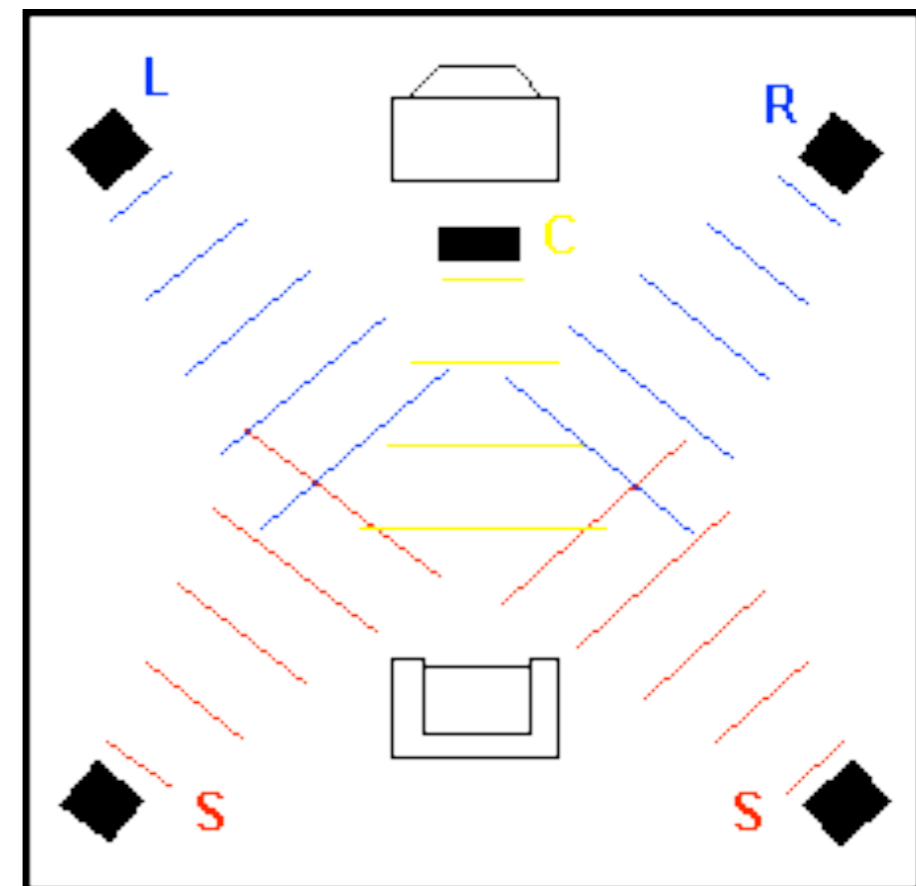
Einfachste Art der Klangverteilung mit 2 Kanälen und zwei Boxen.
Einfacher ist nur noch Mono mit nur einem Kanal.

Dolby Pro-Logic (Dolby Surround):

4 Kanäle, in den 2 Stereokanälen enkodiert (Matrizierung)

Bei Wiedergabe 5 Boxen:

Zwei Frontlautsprecher
Zwei Surround-Boxen
(dasselbe Mono-Signal)
Center-Lautsprecher

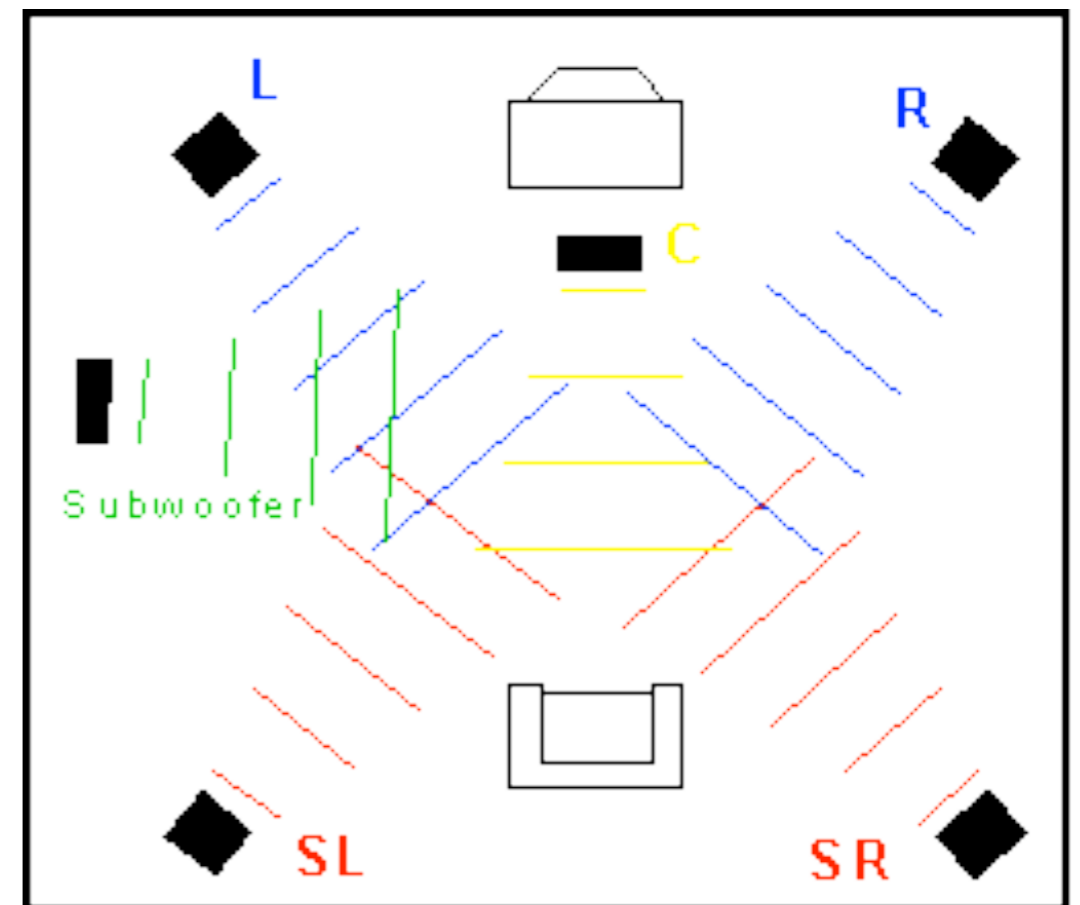


Raumklang (2)

6-Kanalverfahren ("5.1")

- Frontboxen (links und rechts)
- 2 Surround-Boxen hinter dem Zuhörer, (separat angesteuert)
- Center-Speaker
- Subwoofer.

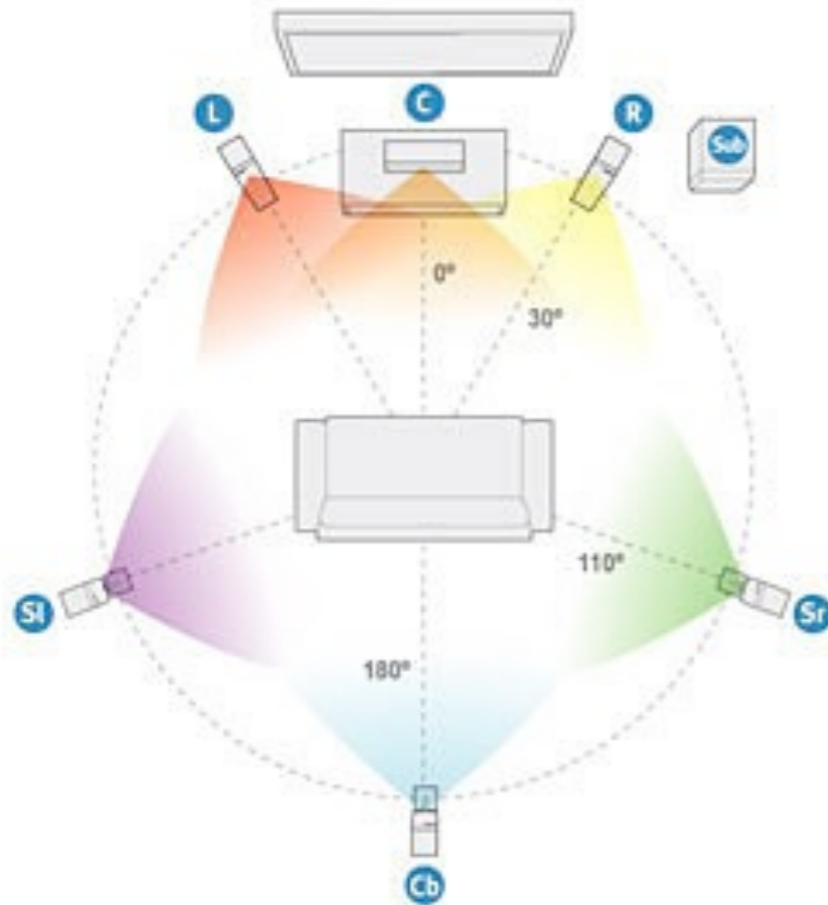
Da das menschliche Ohr tiefe Töne nicht orten kann, ist der Standort des Subwoofers egal.



Siehe auch: <http://www.dolby.com/consumer/technology/>

Raumklang (3)

7- und 8-Kanal-Systeme:

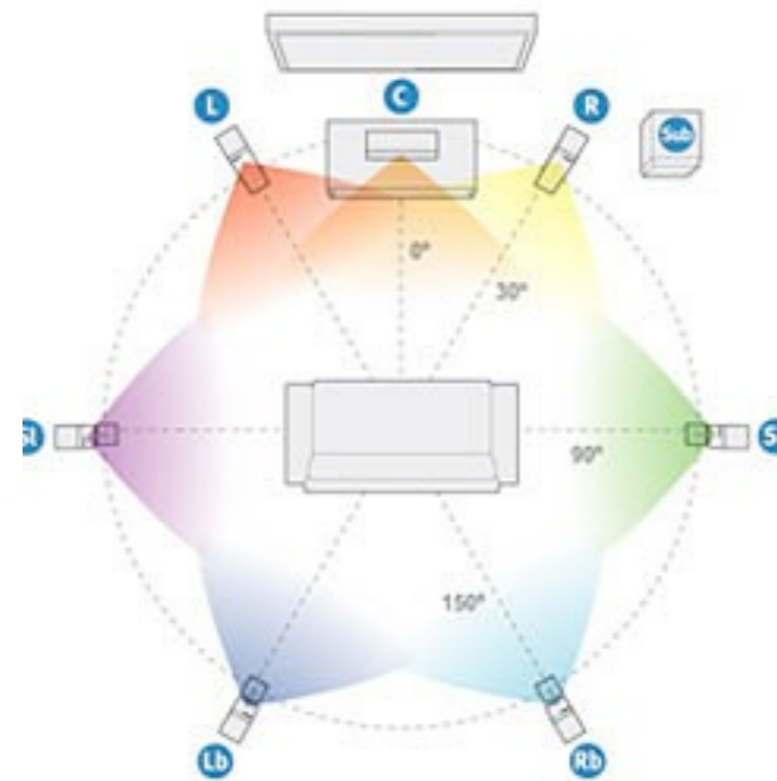


6.1

Schlüssel

- L** Links
- C** Center
- R** Rechts
- S** Subwoofer
- Sl** Surround Links
- Sr** Surround Rechts
- Cb** Center Hinten

7.1



Schlüssel

- L** Links
- C** Center
- R** Rechts
- S** Subwoofer
- Sl** Surround Links
- Sr** Surround Rechts
- Lb** Links Hinten
- Rb** Rechts Hinten

Wellenfeldsynthese (WFS)

Entwickelt Ende der 1980er Jahre, TU Delft, Berkhout

Huygens'sches Prinzip:

Zerlegung beliebiger Wellenformen in Elementarwellen

Kleine Schallstrahler
(über 100) im Raum
generieren großes
Klangfeld

Riesige "Sweet Spots"
(Orte korrekter Ortung)
Akustische Holografie
("Holografie")



Bild: TU Berlin

Produktreif: Firma IOSONO (Ilmenau),
Installation z.B. bei Bavaria Film ("4D-Kino"), 432 Schallstrahler

Stereo-Mikrofonverfahren

Stereoempfinden durch:

Intensitätsunterschiede

Laufzeit- und Phasenunterschiede

Zwei Mikrofone nehmen dasselbe Signal auf

Intensitätsstereofonie:

z.B. XY-Anordnung: Zwei Mikrofone mit Nierencharakteristik um 90° oder 120° gegeneinander verdreht

Hohe "Präsenz", Richtwirkung, gut für bewegte Quellen

Laufzeitstereofonie:

z.B. AB-Anordnung: Zwei (Kondensator-)Mikrofone mit Kugelcharakteristik in min. 17, meist 50 cm Abstand

Hohe "Räumlichkeit", Abstand wirkt als "Zoom"

Äquivalenzstereofonie:

Naturgetreue Nachbildung des menschlichen Hörens

z.B. mittels Kunstkopf (Kopfnachbildung mit Mikrofon-"Ohren")

z.B. mittels Ohrmikrofonen ("Originalkopf")

auch Äquivalenzmikrofonieverfahren ORTF und NOS

Stereo-Mikrofonverfahren

Stereoempfinden durch:

Intensitätsunterschiede

Laufzeit- und Phasenunterschiede

Zwei Mikrofone nehmen dasselbe Signal auf

Intensitätsstereofonie:

z.B. XY-Anordnung: Zwei Mikrofone mit Nierencharakteristik um 90° oder 120° gegeneinander verdreht

Hohe "Präsenz", Richtwirkung, gut für bewegte Quellen

Laufzeitstereofonie:

z.B. AB-Anordnung: Zwei (Kondensator-)Mikrofone mit Kugelcharakteristik in min. 17, meist 50 cm Abstand

Hohe "Räumlichkeit", Abstand wirkt als "Zoom"

Äquivalenzstereofonie:

Naturgetreue Nachbildung des menschlichen Hörens

z.B. mittels Kunstkopf (Kopfnachbildung mit Mikrofon-"Ohren")

z.B. mittels Ohrmikrofonen ("Originalkopf")

auch Äquivalenzmikrofonieverfahren ORTF und NOS



XY, AB, ORTF

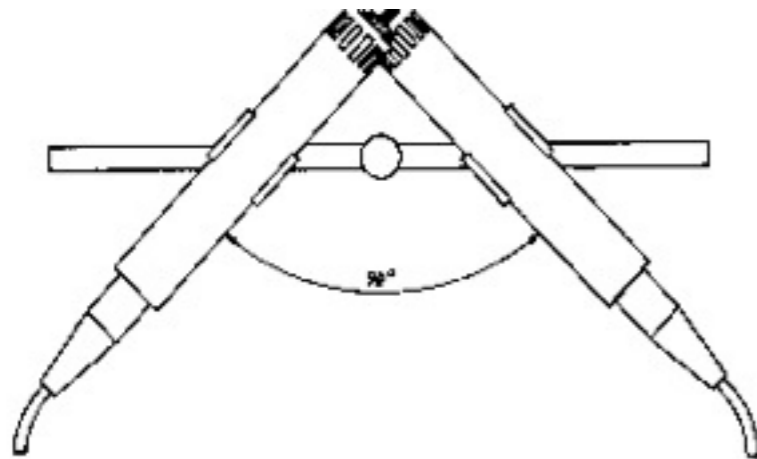
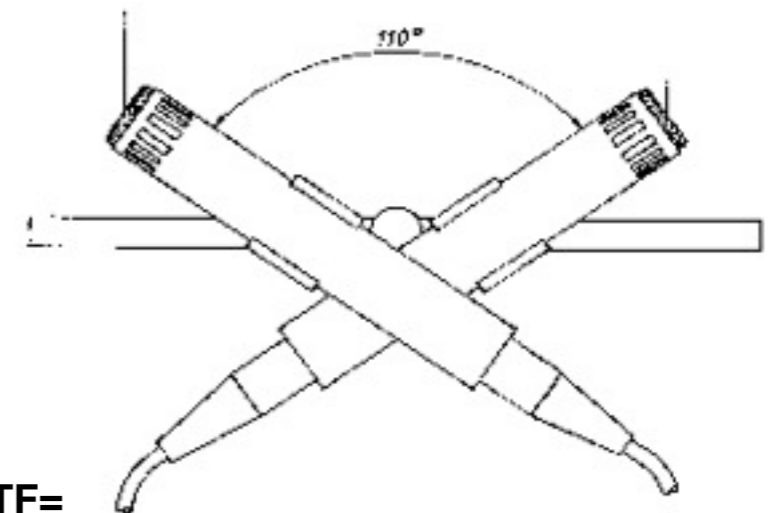
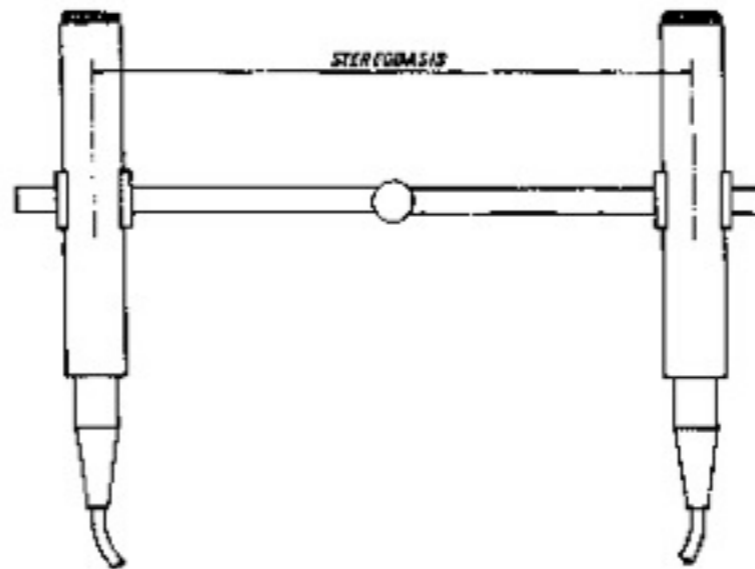


Abb. 16: Eine XY-Stereoanordnung kann auch mit zwei einzelnen Nierenmikrofonen aufgebaut werden, die man auf eine Schiene montiert.

XY ("*coincident pair*")

AB ("*spaced pair*")

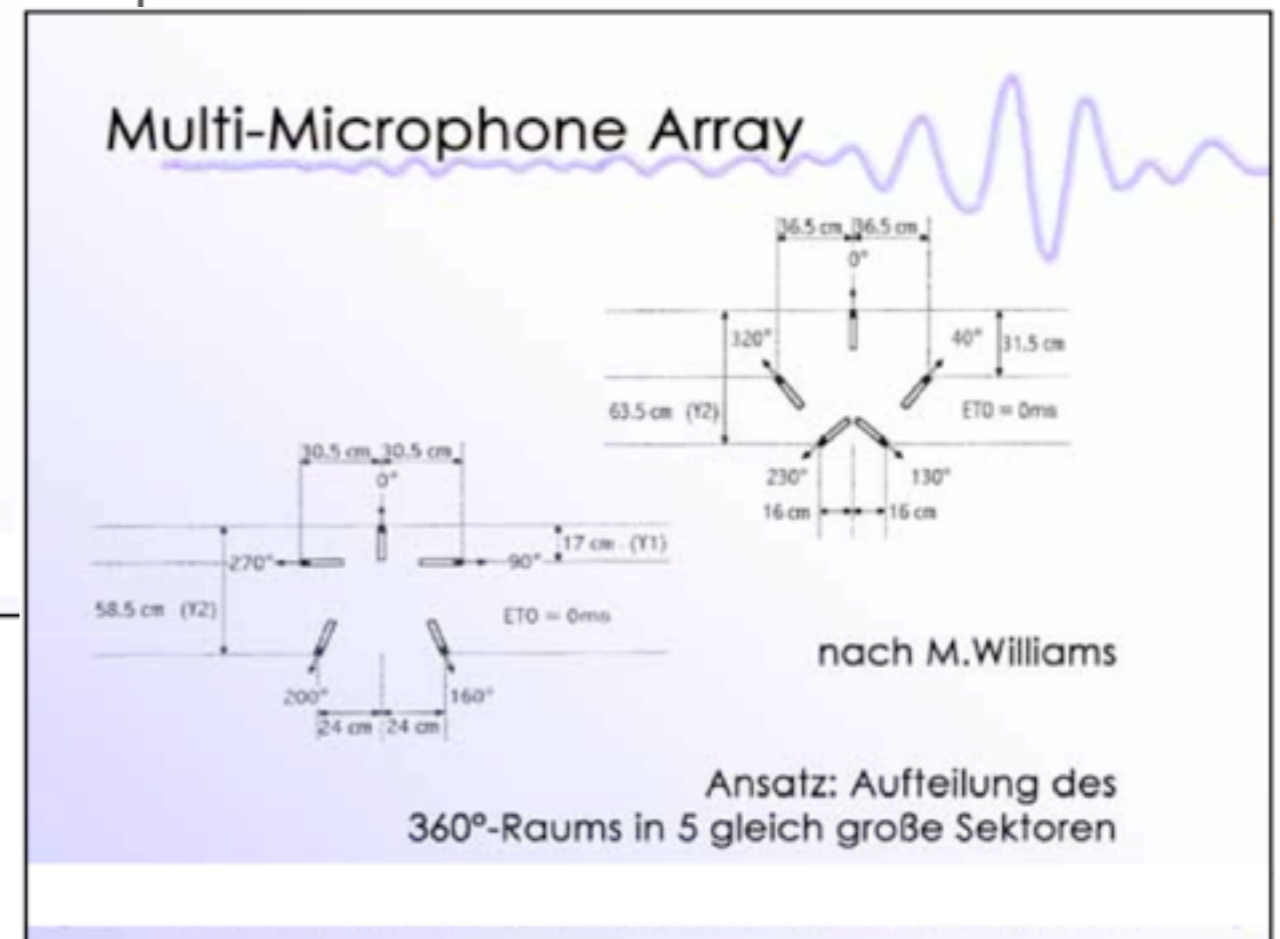
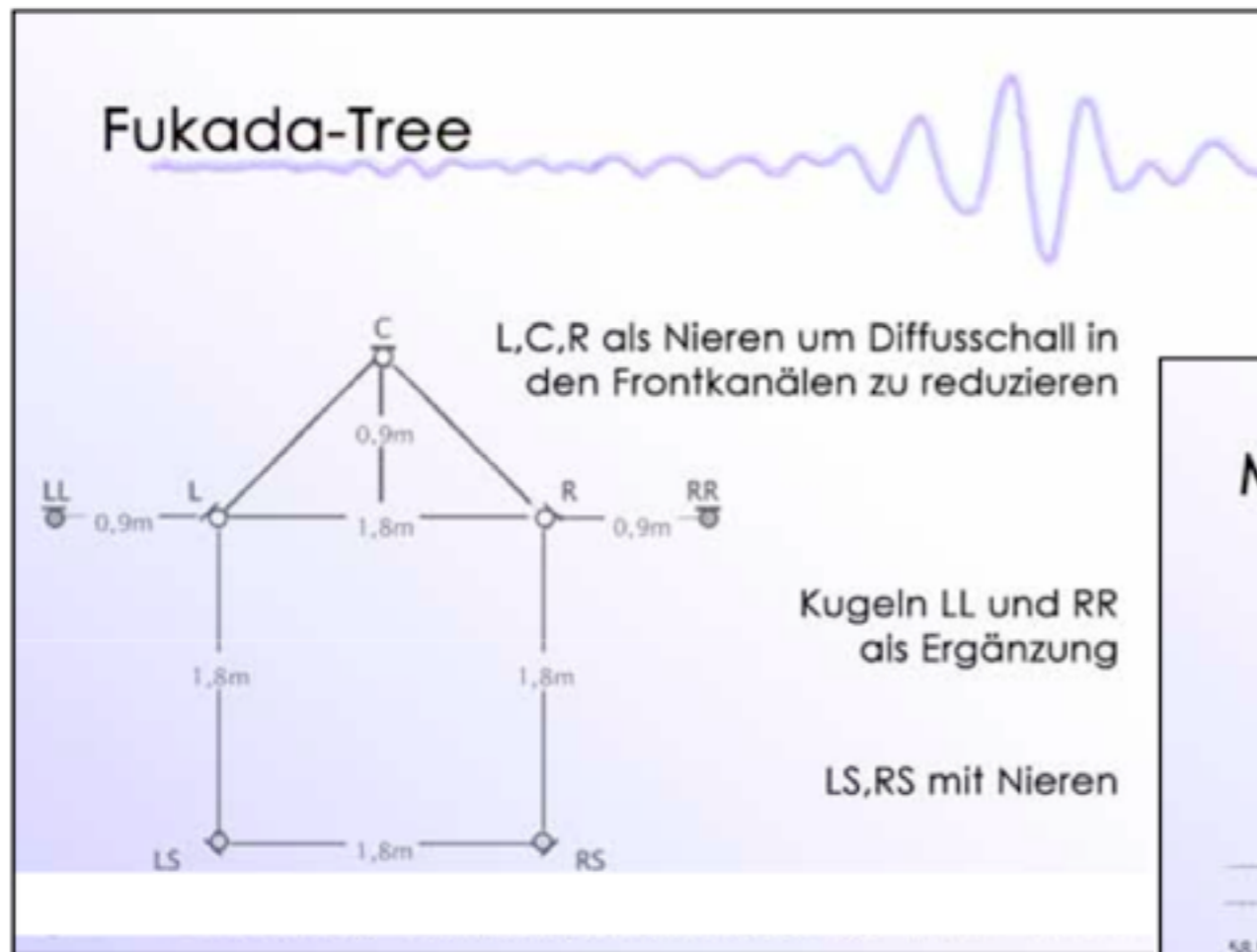


ORTF=
Office de Radiodiffusion Télévision Française

http://www.mediaculture-online.de/fileadmin/bibliothek/rein_akustischeraeume/rein_akustischeraeume.html

Mikrofonierung für Surround Sound

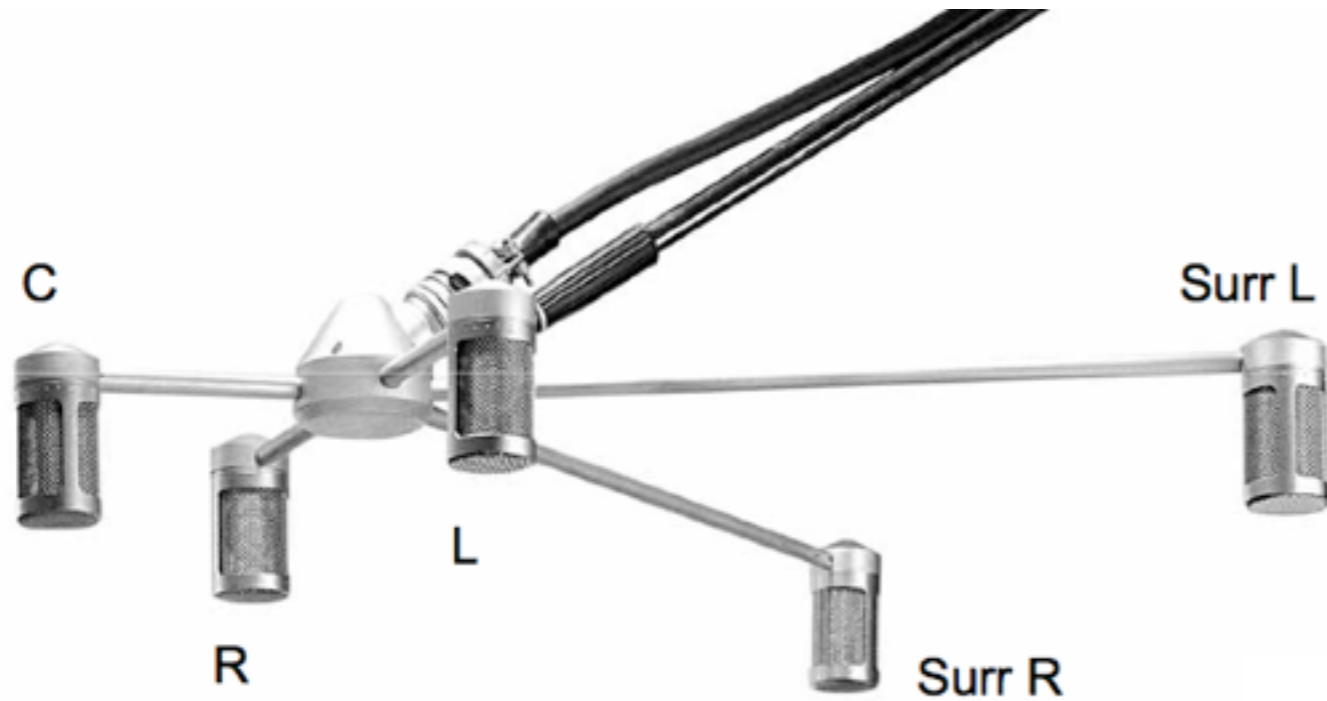
Kombination der aus der Stereo-Mikrofonierung bekannten Ideen zu komplexen Konfigurationen



Quelle:

<http://www.hdm-stuttgart.de/~curdt/surround-aufnahmetechnik.pdf>

Spezielle Surround-Mikrofone (Beispiele)



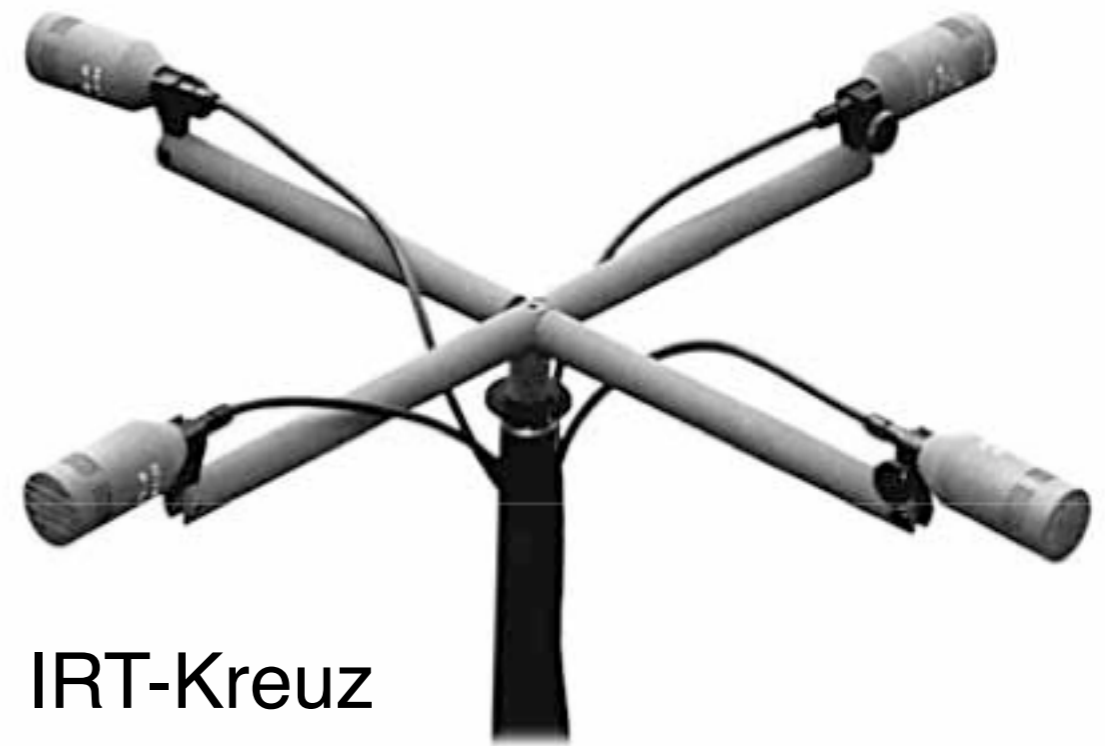
Adjustable Surround Microphone



Surround-Kugelflächen-Mikro



Doppel-MS

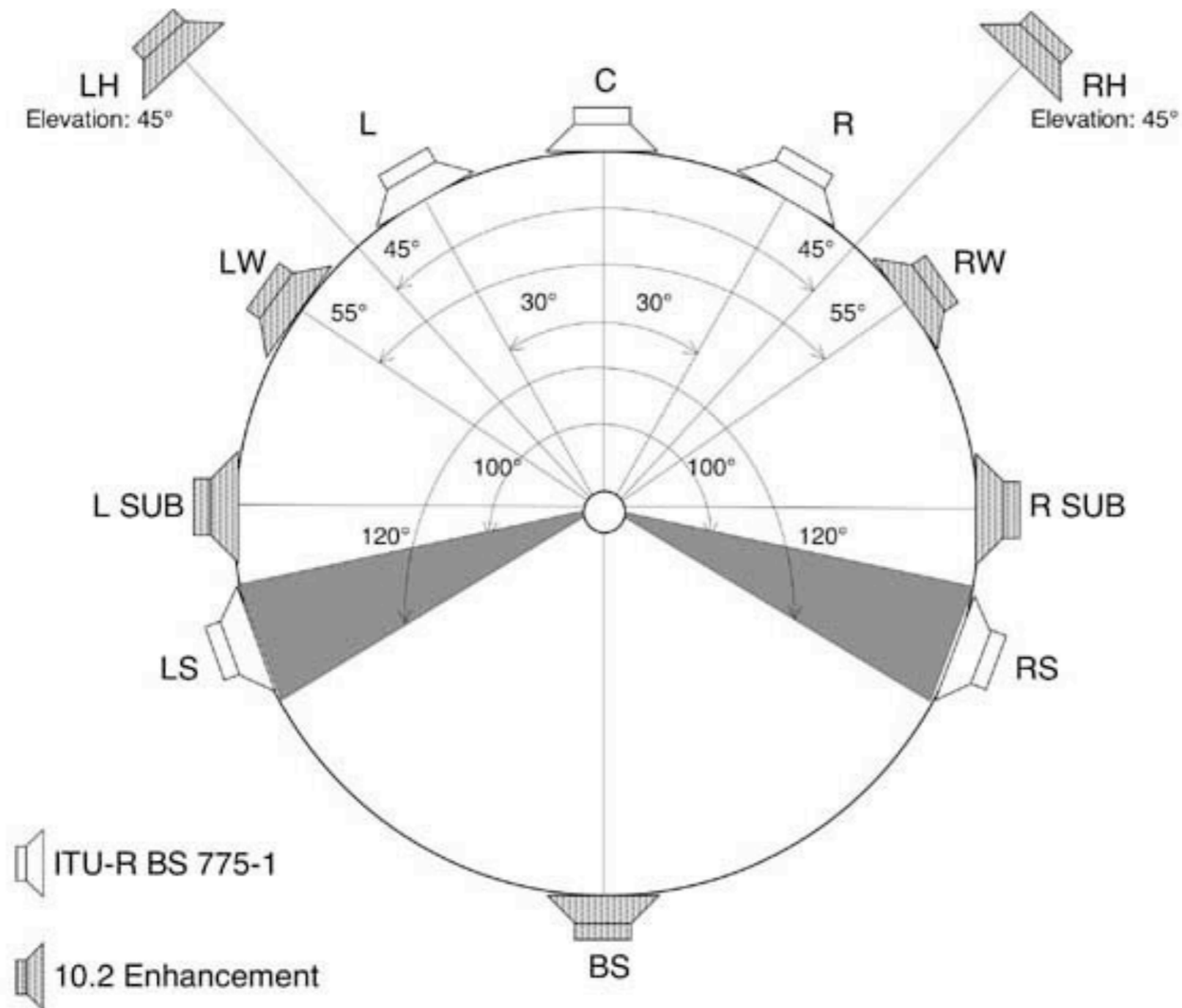


IRT-Kreuz

Weiterentwicklung von Surround Sound

Tomlinson Holman, University of Southern California, 2007:

10.2 und 12.2



Erhöhte Lautsprecher
(LH, RH)
Zwei Subwoofer
(L SUB, R SUB)

Bei 12.2:
Zwei "Diffuse Surround"
Kanäle (an den
Wänden reflektiert)