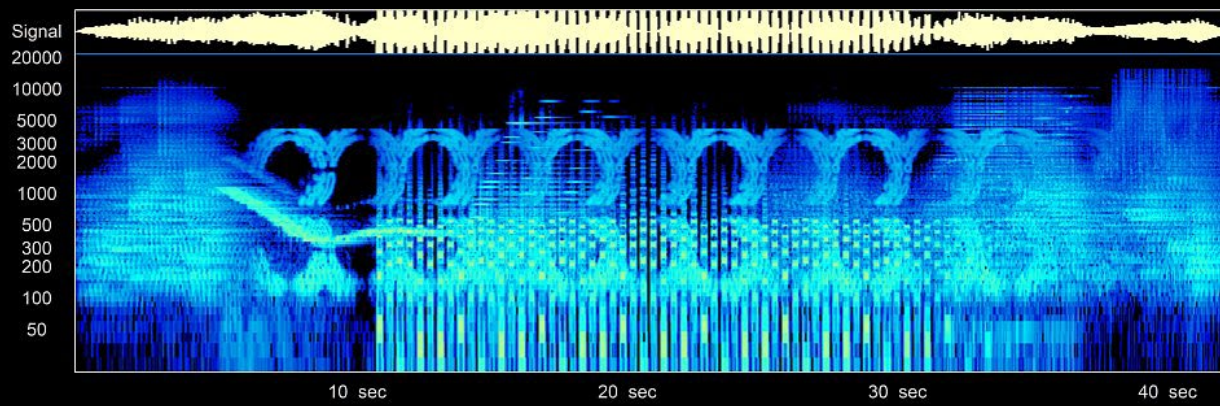


Audiotechnik

V 2023.1 Pi



Inhaltsverzeichnis

1	EINFLUSSFAKTOREN UND AUDIOTECHNISCHE GRÖßEN.....	4
1.1	AKUSTIK: SCHALLAUSBREITUNG	4
1.1.1	<i>Reflexion und Hall.....</i>	5
1.1.2	<i>Absorption</i>	8
1.1.3	<i>Räumliche Wahrnehmung.....</i>	12
1.2	FILTER, HÜLLKURVE, PHASE UND SCHWINGUNGSARTEN	12
1.2.1	<i>Filtercharakteristik</i>	13
1.2.2	<i>Die Hüllkurve</i>	14
1.2.3	<i>Klangsynthese.....</i>	15
1.2.4	<i>Simple Synthese.....</i>	18
1.2.5	<i>Phasenlage</i>	19
1.3	SCHALLDRUCK, AUDIOPEGEL UND DYNAMIK.....	20
1.3.1	<i>Der Pegel in der Audiotechnik</i>	21
1.3.2	<i>Nennpegel</i>	25
1.3.3	<i>Der digitale Pegel</i>	25
1.3.4	<i>Dynamik.....</i>	27
2	DIE AUDIOTECHNISCHE SIGNALKETTE	29
2.1	ANALOGUE UND DIGITALE AUDIOSIGNALE.....	29
2.1.1	<i>SPDIF/AES3/AESEBU.....</i>	29
2.1.2	<i>ADAT.....</i>	31
2.1.3	<i>MADI.....</i>	31
2.1.4	<i>DC-Offset</i>	32
2.1.5	<i>Thermisches Rauschen</i>	33
2.1.6	<i>Frequenzgang.....</i>	33
2.2	KABEL UND STECKER.....	34
2.2.1	<i>Symmetrische und unsymmetrische Übertragung</i>	34
2.2.2	<i>Steckverbindungen</i>	36
2.3	MIKROFONE	37
2.3.1	<i>Bauform und Richtcharakteristik.....</i>	38
2.3.2	<i>Polardiagramm.....</i>	42
2.3.3	<i>Frequenzgang.....</i>	42
2.3.4	<i>Empfindlichkeit.....</i>	43
2.3.5	<i>Äquivalenter Geräuschpegel</i>	44

2.3.6	Verzerrung THD	44
2.3.7	Maximaler SPL (Übersteuerung).....	45
2.3.8	Nennimpedanz	45
2.3.9	Kapazität des Kabels.....	45
2.3.10	Wahl des passenden Mikrofons	45
2.3.11	Positionieren von Mikrofonen	46
2.4	STEREOMIKROFONIE.....	47
2.4.1	XY-Aufbau.....	48
2.4.2	AB-Aufbau	48
2.4.3	ORTF-Aufbau	49
2.5	MISCHPULTE.....	50
2.5.1	Exkurs: Einrichten einer Talkbackschaltung	52
2.5.2	Exkurs: Einschleifen von Signal-Prozessoren	53
2.6	PROCESSING DER SIGNALKETTE MIKROFON - MISCHPULT - SOUNDKARTE	54
2.6.1	Audioprocessing	54
2.6.2	Noise Reduction.....	59
2.6.3	Kompressor.....	61
2.6.4	Normalisierung.....	67

1 EINFLUSSFAKTOREN UND AUDIOTECHNISCHE GRÖßEN

Basierend auf den Inhalten des 2. Jahrgangs MEDT und NAWI, werden in diesem Skript thematische Ergänzungen, sowie punktuelle medientechnische Bezüge zum Thema hergestellt.

In der Schalllehre (Akustik) werden 4 Bereiche unterschieden: **Raumakustik, Bauakustik, Psychoakustik, Elektroakustik.**

Arbeitsbereiche, in denen Akustik wichtig ist:

- Tonstudioplaner, Studioplaner, Raumakustiker
- Toningenieure, Tonmeister
- Veranstaltungsmeister, Bühnenmischer, Live-Mischer
- Veranstaltungstechniker, Bühnentechniker, Tontechniker
- Medienbearbeitung, Tonkorrektur, Foley, Effekte, Vertonung, Aufnahme...

1.1 AKUSTIK: SCHALLAUSBREITUNG

Schall breitet sich in verschiedene Richtungen aus und wird von Oberflächen reflektiert.

Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium Luft: $c = 343 \text{ m/s}$

1.1.1 REFLEXION UND HALL

Schall wird, je nach Oberfläche, unterschiedlich **reflektiert**. Das spielt eine Rolle bei der Raumgestaltung (Raumakustik) und der Wahrnehmung des Raumhalls.

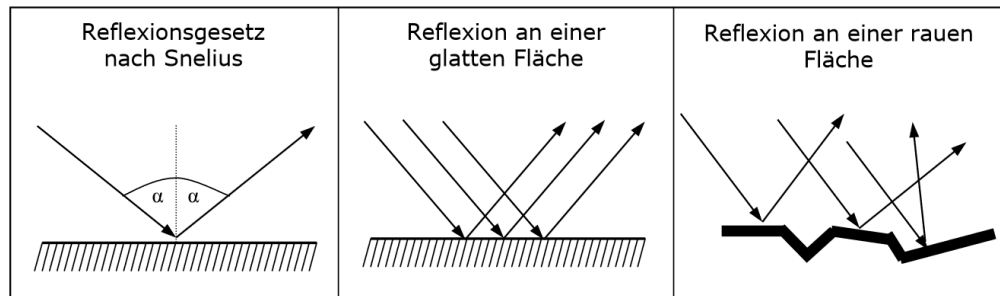


Abbildung 1: Schall-Reflexion

Sind die **Unebenheiten einer Fläche kleiner als die Wellenlänge**, ist die Fläche als glatt zu betrachten. Reflexionen definieren das räumliche Empfinden eines Raumes, dh. des Halls.

Es werden **3 Arten von Schall und Reflexion** unterschieden:

- Direktschall,
- Frühe Reflexionen
- Diffusschall/späte Reflexionen

Direktschall: Dämpfung des Schalldrucks in dB SPL¹ in Abhängigkeit von der Entfernung **r**.

$$L_2 = L_1 - |20 * \log(\frac{r_1}{r_2})|$$

Beachte die Betragsstriche in der Formel.

¹ dB Schalldruckpegel (Sound Pressure Level)

Schallpegel ist eine Feldgröße², **Schallintensität** ist eine Energiegröße³. Mit der Verdopplung der Entfernung zwischen Hörer und Schallquelle nimmt der Schallpegel um 6 dB ab.

Beispiel: Bezugsentfernung r_1 von der Schallquelle: 1 m; Schallpegel L_1 70 dB SPL; Wie hoch ist der Schalldruckpegel L_2 bei 3 m Abstand? $L_2 = 60,46$ dB SPL, der Unterschied beträgt somit - 9,54 dB.

Frühe Reflexionen: Diese treffen zunächst auf Objekte und erst danach auf den Hörer.

Diffusschall/Späte Reflexionen: Schallwellen, die mehrfach im Raum reflektiert werden und zu unterschiedlichen Zeitpunkten auf das Ohr des Hörers treffen.

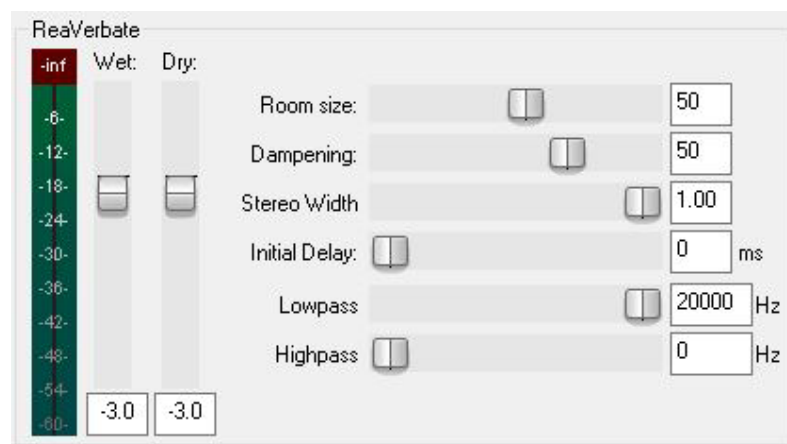


Abbildung 2: Reaverbate in Reaper

In der obigen Abbildung wird die Konfiguration eines **Hall-Effekts in Reaper** demonstriert, mit dem Hall simuliert werden kann.

² Leistungswurzelgrößen, deren Quadrat proportional zu Einer Leistungsgröße sind, wie Spannung, elektrische Stromstärke, Schalldruck, ...

³ Leistungsgrößen, die proportional zu einer Leistung sind, wie Schallleistung, Schallintensität, elektrische Energie, ...

- Dry: Direktschall
- Room size: Reflexionen
- Dampening: Dämpfung durch Raumcharakteristik/Absorption. Je höherer, umso mehr werden hohe Frequenzen abgesenkt.
- Stereo width: 0 ist mono, -1 eine Umkehrung des Panoramas.
- Initial delay: Wie lange es dauert, bis der Hall beginnt.
- Low/Highpass: Absenkung der hohen/tiefen Frequenzen im Hall.

Die Nachhallzeit ist jene Zeit, die ein Schallereignis nachhallt, bis es ein Millionstel des Pegels der Schallquelle erreicht (- 60 dB). Diese wird in Sekunden angegeben und ist abhängig von Raumvolumen und Absorptionsgrad.

$$\text{Nachhallzeit in Sekunden: } T/s = 0,163 * V/A$$

A = gesamte äquivalente Absorptionsfläche (Material x Absorptionsgrad) in m^2

V = Raumvolumen in m^3

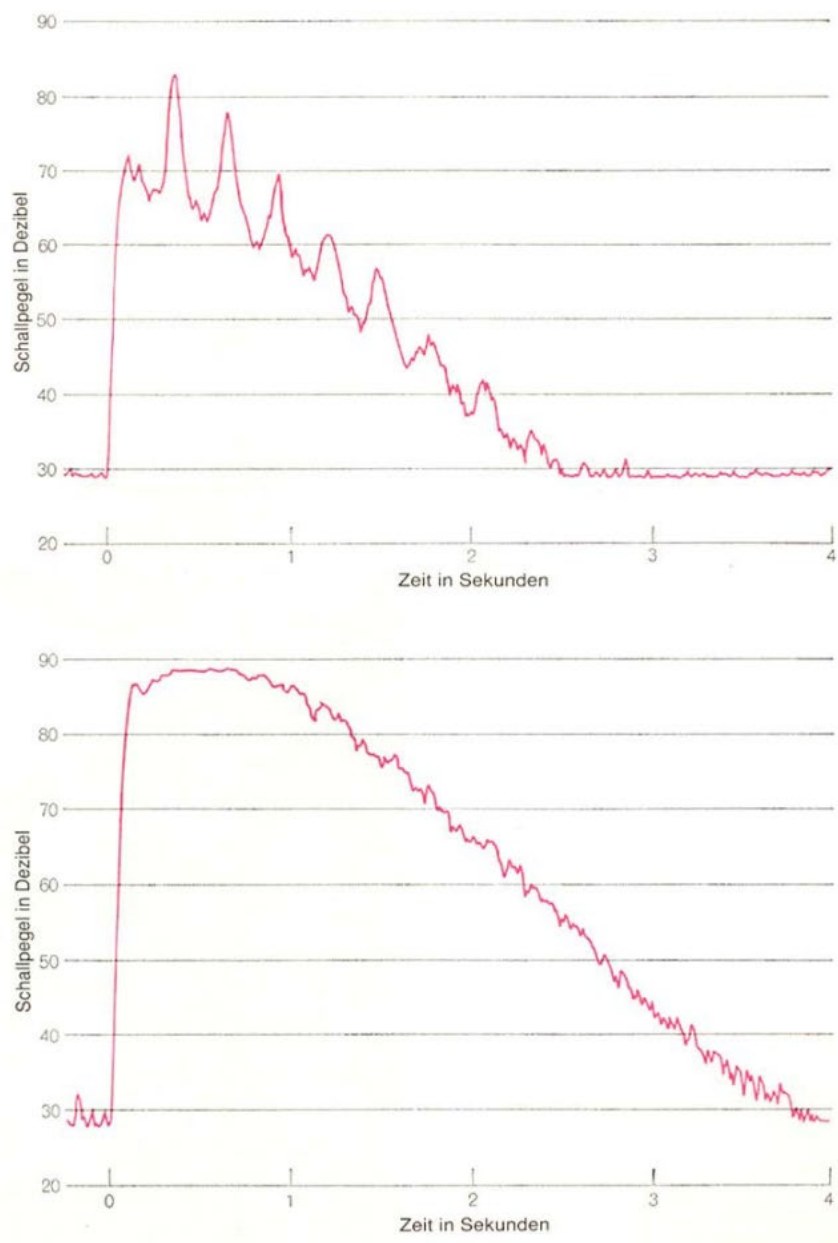


Abbildung 3: Ungleichmäßiger und gleichmäßiger Nachhall-Verlauf

1.1.2 ABSORPTION

Schallintensität wird abhängig vom Material absorbiert. Die **Absorption** ist frequenzabhängig und hängt vom **Absorptionsgrad** ab. Der **Schallabsorptionsgrad α** gibt an, wieviel vom einfallenden Schall absorbiert wird.

0 = keine Absorption, 1 = 100 % Absorption.

Bodenbeläge	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Beton oder Fliesen	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02
Holz auf Balken	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Parkett auf Beton	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Teppich auf Beton	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
Teppich auf Schaumgummi	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73

Sitzplatzmaterialien	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
voll besetzt - gepolstert	0,60	0,74	0,88	0,96	0,93	0,85
besetzte hölzerne Bänke	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86
leer - Gewebe gepolstert	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70
leer - Metall/Holz-Sitze	0,15	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30

Wandmaterialien	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ziegelstein: unlasert	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Ziegel: unlasert	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Grob-Beton - rau	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Grob-Beton - gestrichen	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Vorhang: 340 g/m ² Stoff (Molton)	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Vorhang: 470 g/m ² Stoff	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Vorhang: 610 g/m ² Stoff	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
Fiberglas: 2" 703 ohne Zwischenraum	0,22	0,82	0,99	0,99	0,99	0,99
Fiberglas: spray 5"	0,05	0,15	0,45	0,70	0,80	0,80
Fiberglas: spray 1"	0,16	0,45	0,70	0,90	0,90	0,85
Fiberglas: 2" Rollen	0,17	0,55	0,80	0,90	0,85	0,80
Schaumstoff: Sonex 2"	0,06	0,25	0,56	0,81	0,90	0,91
Schaumstoff: SDG 3"	0,24	0,58	0,67	0,91	0,96	0,99
Schaumstoff: SDG 4"	0,33	0,90	0,84	0,99	0,98	0,99
Schaumstoff: Polyurethan 1"	0,13	0,22	0,68	1,00	0,92	0,97
Schaumstoff: Polyurethan 1/2"	0,09	0,11	0,22	0,60	0,88	0,94
Glas: 1/4" Platte groß	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Glas: Fenster	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Mörtel: glatt Fliese/Ziegel	0,013	0,015	0,02	0,03	0,04	0,05
Mörtel: rau auf Latten	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Porenbeton unbehandelt	0,03	0,09	0,11	0,19	0,19	0,17
Marmor/Fliese	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Rigips 1/2" 16" on center	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Holz: 3/8" Furnierholzpanel	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11

Deckenmaterialien	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Akustische Fliesen	0,05	0,22	0,52	0,56	0,45	0,32
Akustische Deckenfliesen	0,70	0,66	0,72	0,92	0,88	0,75
Fiberglas: 2" 703 ohne Zwischenraum	0,22	0,82	0,99	0,99	0,99	0,99
Fiberglas: Spray 5"	0,05	0,15	0,45	0,70	0,80	0,80
Fiberglas: Spray 1"	0,16	0,45	0,70	0,90	0,90	0,85
Fiberglas: 2" Rollen	0,17	0,55	0,80	0,90	0,85	0,80
Holz	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Schaumgumm: Sonex 2"	0,06	0,25	0,56	0,81	0,90	0,91

Schaumgummi: SDG 3"	0,24	0,58	0,67	0,91	0,96	0,99
Schaumgummi: SDG 4"	0,33	0,90	0,84	0,99	0,98	0,99
Schaumgummi: Polyurethan 1"	0,13	0,22	0,68	1,00	0,92	0,97
Schaumgummi: Polyurethan 1/2"	0,09	0,11	0,22	0,60	0,88	0,94
Mörtel: glatt Fliese/Ziegel	0,013	0,015	0,02	0,03	0,04	0,05
Mörtel: rau auf Latten	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Holz: 3/8" Furnierholzpanel	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11

Verschiedenes Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Wasser oder Eis Oberfläche	0,008	0,008	0,013	0,015	0,020	0,025
Geschlossen sitzendes Publikum	0,25	0,35	0,42	0,46	0,5	0,5

Die obige Tabelle wird bei der akustischen Planung von Räumen verwendet, damit die Raumakustik mittels Absorbern gesteuert werden kann. Dabei wird oft der **NRC**⁴ als Kenngröße angegeben. Dieser gibt den Mittelwert der Schallabsorption der Terzwerte⁵ 250, 500, 1000, 2000 Hz auf 0,05 gerundet an. Ein NRC von 0,80 bedeutet also eine durchschnittliche Schallabsorption von 80 % in den Frequenzen 250, 500, 1000 und 2000 Hertz.

Thomann Akustikelemente: <https://www.thomann.de/at/studioakustik-elemente.html>

Beispiel: https://www.thomann.de/at/t.akustik_pet_wall_absorber_120_sgr.htm

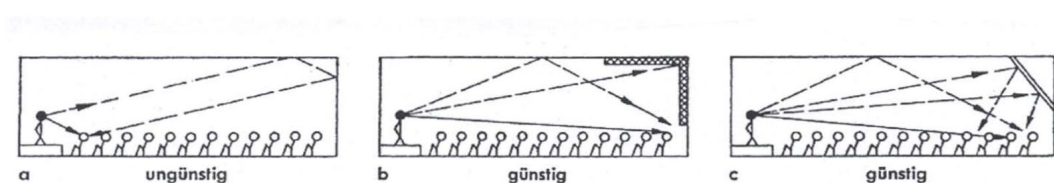


Abbildung 4: Raumakustik in mittelgroßen Räumen, Skizze G. Kubanek

⁴ Noise Reduction Coefficient

⁵ Auch α -S genannt, ist die genaueste Kennzahl für Schallabsorption

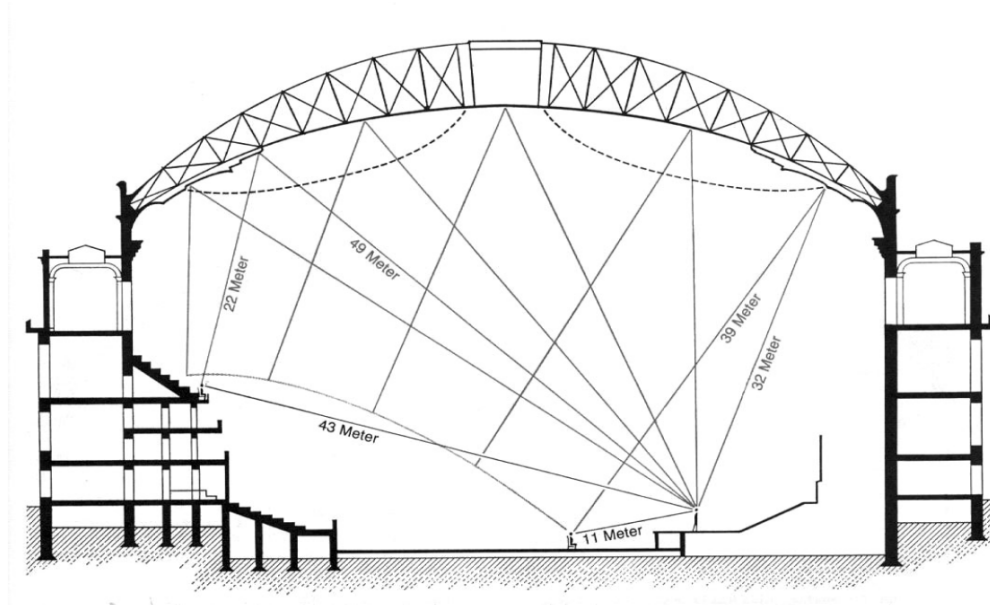


Abbildung 5: Kuppeldach der Royal Albert Hall, Skizze: Spektrum der Wissenschaft

Geometrischer Problemfall: Das hohe Kuppeldach der Royal Albert Hall erzeugte ursprünglich Reflexionen, starken Nachhall und Echos. Die Linien zeigen Schallwege gleicher Laufzeit. Hörer in den vordersten Reihen hört das Echo ca. eine fünftel Sekunde nach dem direkten Schall. Durch Absorber aus schwerem Stoff (gestrichelte Linien) wurde die Akustik stark verbessert.

1.1.3 RÄUMLICHE WAHRNEHMUNG

Das **räumliche Wahrnehmungsvermögen** des Menschen hängt ua. von folgenden Einflussfaktoren der akustischen Wahrnehmung ab:

- **Tiefenwahrnehmung** durch Lautstärke, Verhältnis von Direktschall zu Erstreflexion und Nachhall, sowie hochfrequenten Anteilen
- **Richtungswahrnehmung** durch interaurale⁶ Intensitätsunterschiede, Laufzeit- und Phasenunterschiede

*Achtung: Die **Panorama**-Regler am Mixer bzw. in der Software ergeben nur unterschiedliche Intensitäten der Richtungswahrnehmung. Räumliche Wirkung wird ua. durch Verzögerungen der Stereokanäle erreicht!*

1.2 FILTER, HÜLLKURVE, PHASE UND SCHWINGUNGSARTEN

Periodische Luftdruckschwankungen hören wir als **Ton/Grundton**. **Periodische** Schwingungen sind solche, die sich in derselben Form wiederholen. Man unterscheidet zB. **Sägezahn-, Rechteck-, Dreieck- und Sinusschwingungen**.

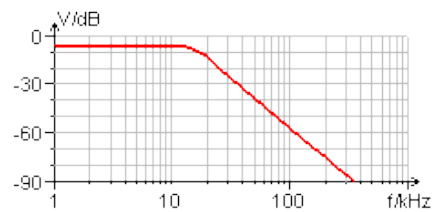
Eine **Oktave** entspricht einer Verdoppelung oder Halbierung der Frequenz.

Obertöne: Ein Grundton, zB. eine Sinusschwingung, kann durch zusätzliche Schwingungen überlagert werden, die dann als Obertöne bezeichnet werden (zB. Gitarrenseite und Korpus). Die Gesamtheit bildet den Klang bzw. die Klangfarbe. Reale Schallerzeuger erzeugen meist auch Obertöne.

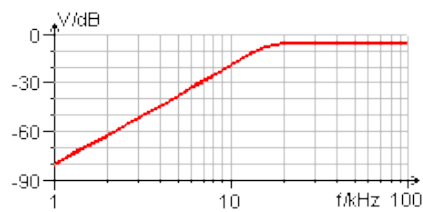
⁶ Zwischen den Ohren; auf beide Ohren bezogen

1.2.1 FILTERCHARAKTERISTIK

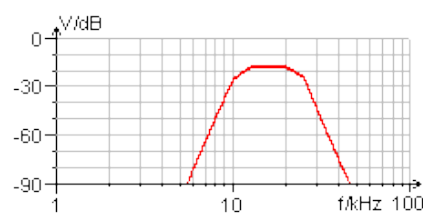
Audiofilter (Equalizer, Dynamikprozessoren, Effekte, ...) und Klangerzeuger können oft durch die Filtercharakteristik konfiguriert werden.



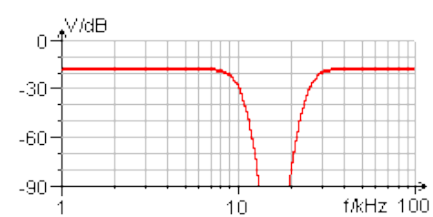
Tiefpass



Hochpass



Bandpass



Bandsperre

Abbildung 6: Filtercharakteristika

Eine Abfolge von Pass- und Sperrfiltern wird als **Kammfilter** bezeichnet.

1.2.2 DIE HÜLLKURVE

Eine Hüllkurve definiert verschiedene **Phasen** eines Signals.

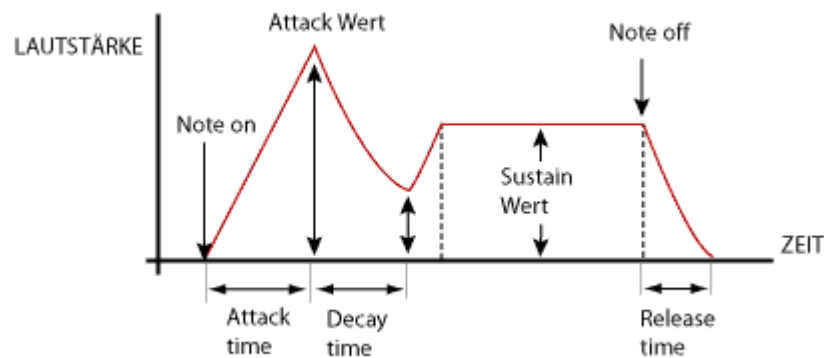


Abbildung 7: Phasen einer ADSR-Hüllkurve

Hüllkurven haben großen Einfluss darauf, wie ein Signal wahrgenommen wird. Bei Synthesizern⁷ sind Hüllkurven wichtige Gestaltungselemente.

Denke an einen **Sirenen-sound**, der bei Tastendruck (Note on) am Synthesizer leise beginnt, seinen Höhepunkt erreicht (Attack), leicht im Pegel abfällt (Decay) und danach gehalten wird (Sustain), solange die Taste gedrückt ist. Nach Loslassen der Taste wird der Sound ausgefadet (Release). Die Pitchänderung im Sirenen-sound kann mit einem **LFO**⁸ angestellt werden.

⁷ Klangerzeugern

⁸ Low Frequency Oscillator

1.2.3 KLANGSYNTHESE

Klangsynthese: Ein **Grundton** wird mit **Obertönen** **additiv oder subtraktiv überlagert**, um einen gewünschten Klang zu generieren. Dazu nutzt man Synthesizer, zB. simple Synthese (additive, subtraktive) Synthesizer. Wir nutzen zB. TALnoisemaker als Software Synth.

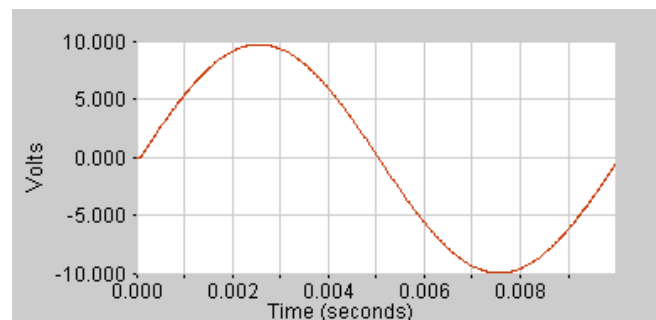


Abbildung 8: Sinus-Schwingung

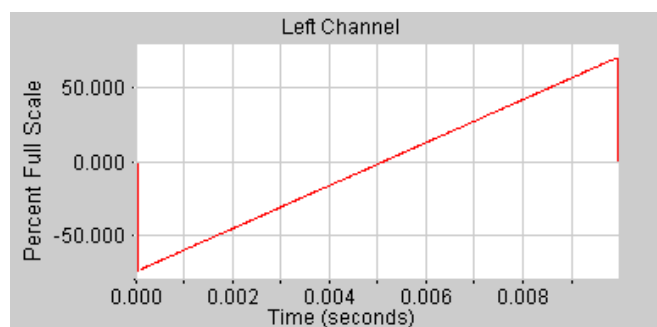


Abbildung 9: Sägezahn-Schwingung

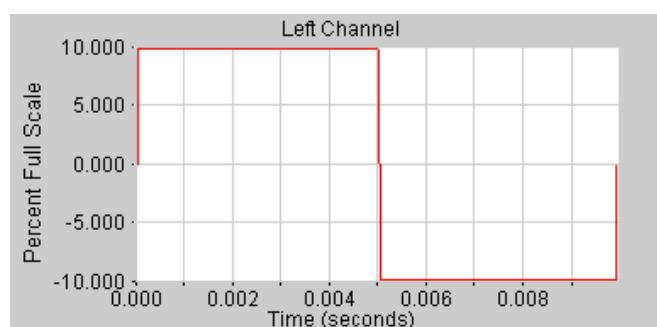


Abbildung 10: Rechteck-Schwingung

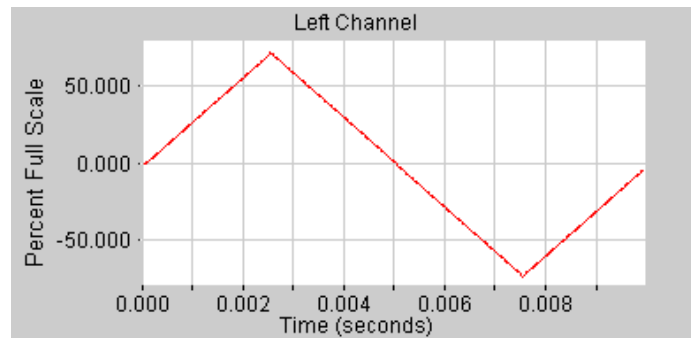


Abbildung 11: Dreieck-Schwingung



Abbildung 12: Kawai additiver Synthesizer

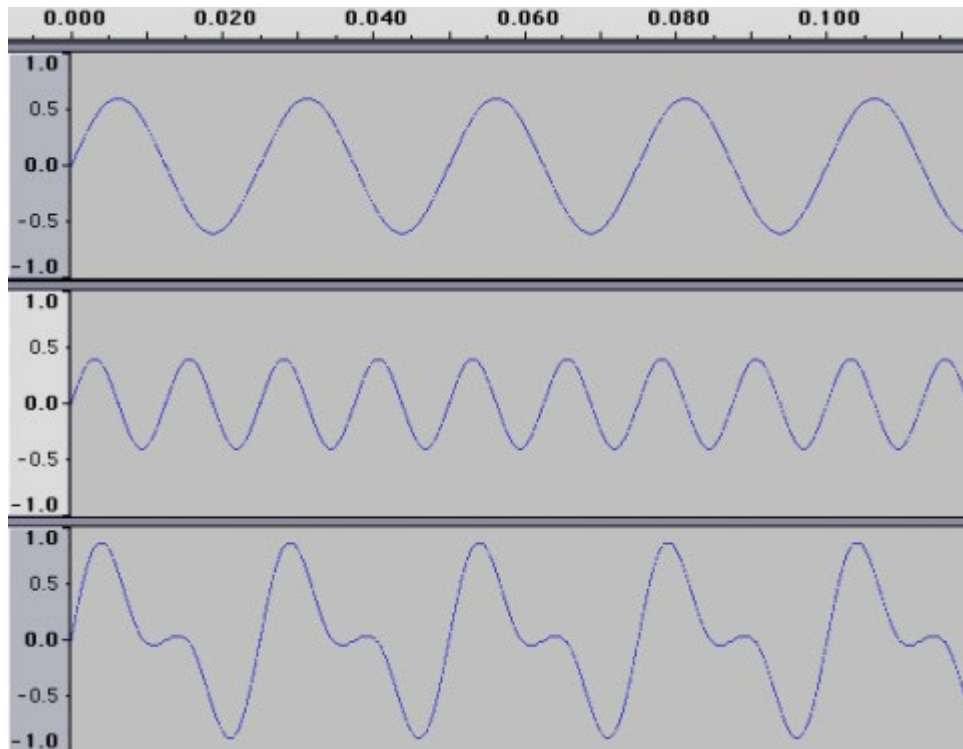


Abbildung 13: Additive Synthese

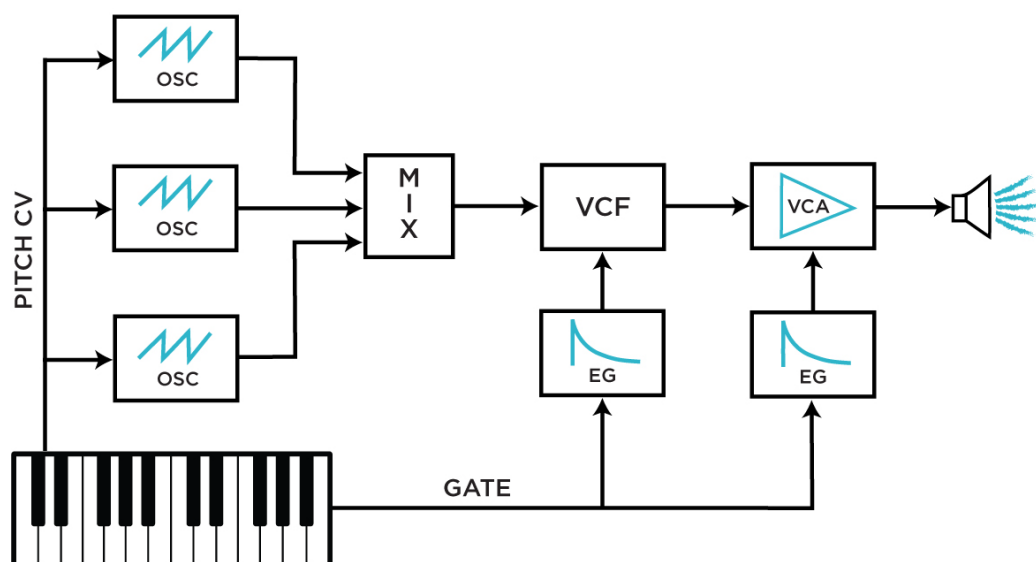


Abbildung 14: Simple Synthese (subtraktiv)

- VCF: Spannungsgesteuerter Filter
- VCA: Spannungsgesteuerter Verstärker
- EG: Gate oder Hüllkurve

1.2.4 SIMPLE SYNTHESIS

Wird auch als subtraktive oder analoge Synthese bezeichnet. Funktionsprinzip: Der **Oszillator** erzeugt eine Schwingung (Wellenform) mit der Tonhöhe der gedrückten Taste. Die Schwingung wird dann an ein **Filter** geleitet wo die Klangfarbe und Lautstärke geregelt werden. Die Hüllkurve ist ein zeitlicher Verlauf der über die Parameter **Attack, Decay, Sustain und Release** gesteuert wird. Ein einfacher Synth hat somit 3 Bausteine: **Oszillator, Filter und Amplifier**. Die anderen Bausteine dienen zum einstellen und steuern der genannten Grundbausteine.

Der **LFO** erzeugt eine sehr langsame Schwingung die aber nichts zum Signal beiträgt, sondern als automatische Reglerbewegung (die Tonhöhe, Klangfarbe oder Lautstärke) zu verstehen ist.

Das Muster hinter der Synth-Programmierung sieht folgendermaßen aus

1. **Rohklangfarbe** variieren: Oscillator 1 und Mixer
2. **Schwebungen, Oscillator-Modulation** einfügen: Oscillator 2, Mixer, LFO
3. **Filtercharakteristik programmieren**: Filter
4. **Filterverlauf programmieren**: Filter Hüllkurve
5. **Lautstärkeverlauf programmieren**: Amp Hüllkurve
6. **Effekte**: Stereo Delay

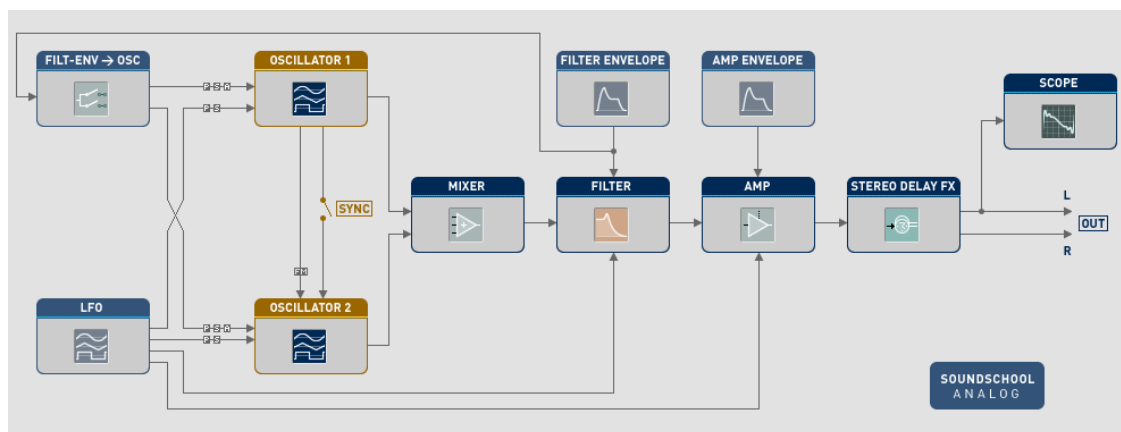


Abbildung 15: Blockdiagramm eines digitalen Synthesizers

1.2.5 PHASENLAGE

Als **Phase** bezeichnet man die aktuelle Position im Ablauf eines periodischen Vorgangs, welche bei Sinusschwingungen von der Winkelfunktion abhängt.

Erreichen zwei Wechselgrößen gleicher Frequenz zu verschiedenen Zeitpunkten ihre Spitzenwerte, so sind sie **phasenverschoben** (zeitlich verschoben), die zeitliche Verschiebung ist proportional zur **Phasenverschiebung (phase shift)**. Der **Phasenverschiebungswinkel** ist die Differenz der Phasenwinkel.

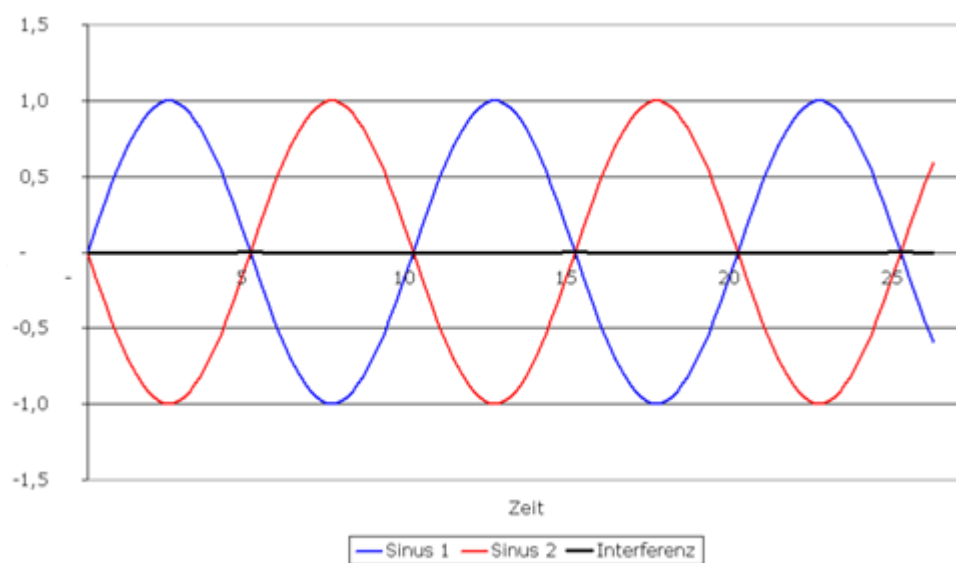


Abbildung 16: 2 Schwingungen in recht ungünstiger Phase ;)

1.3 SCHALLDRUCK, AUDIOPEGEL UND DYNAMIK

Schall ist der Wechsel des Schalldrucks p , der in Pascal gemessen wird.

Schalldruck p als Schallfeldgröße: Die Hörschwelle wurde als Bezugsschalldruck $p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ festgelegt. Sie entspricht bei $f = 1 \text{ kHz}$ einem Schalldruckpegel L_p von 0 dB.

Schallintensität I als Schallenergiegröße: Die Hörschwelle wurde auch als Bezugsschallintensität $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ berechnet. Sie entspricht bei $f = 1 \text{ kHz}$ dem Schallintensitätspegel $LW = 0 \text{ dB}$.

Vermeide, in der Audiotechnik von **Lautstärke** oder **Lautheit** zu sprechen. Diese Begriffe gehören zur **Psychoakustik** und werden in der Einheit **Phon** oder **Sone** angegeben. Unser Gehör ist ein Schalldruck-Empfänger und kein Energie-Empfänger.

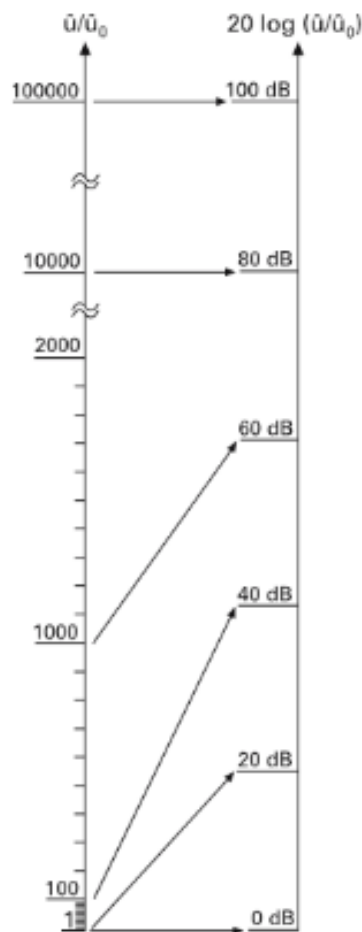
Der SPL ist eine gemittelte Angabe **ohne Bewertungsfilter**.

Lärm - Schallquellen Beispiele mit Abstand	Schalldruckpegel L_p in dB	Schalldruck p in $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ als Schallfeldgröße	Schallintensität I in W/m^2 als Schallenergiegröße
Düsenflugzeug in 30 m Entfernung	140	200	100
Schmerzschwelle	130	63,2	10
Unwohlseinsschwelle	120	20	1
Kettensäge in 1 m Entfernung	110	6,3	0,1
Disco, 1 m vom Lautsprecher	100	2	0,01
Dieselmotor, 10 m entfernt	90	0,63	0,001
Rand einer Verkehrsstraße 5 m	80	0,2	0,000 1
Staubsauger in 1 m Entfernung	70	0,063	0,000 01
Normale Sprache in 1 m Abstand	60	0,02	0,000 001
Normale Wohnung, ruhige Ecke	50	0,006 3	0,000 000 1
Ruhige Bücherei, allgemein	40	0,002	0,000 000 01
Ruhiges Schlafzimmer bei Nacht	30	0,000 63	0,000 000 001
Ruhegeräusch im TV-Studio	20	0,000 2	0,000 000 000 1
Blätterrauscheln in der Ferne	10	0,000 063	0,000 000 000 01
Hörschwelle	0	0,000 02	0,000 000 000 001

Abbildung 17: Schallpegel

1.3.1 DER PEGEL IN DER AUDIOTECHNIK

Das Weber-Fechner-Gesetz sagt aus, dass wir den Lautstärkeunterschied zwischen z.B. einer und zwei Mücken (subjektiv) ebenso stark empfinden wie den Lautstärkeunterschied zwischen ein und zwei Düsenjets. Unser Ohr arbeitet **also nicht linear, sondern ungefähr logarithmisch**. Beim Vergleich der beiden folgenden Skalen fällt auf, dass durch die logarithmische Achsenteilung ein sehr großer Zahlenbereich dargestellt werden kann:



Das **Dezibel** dient also zur Kennzeichnung des dekadischen Logarithmus des Verhältnisses zweier gleichartiger Größen. Dezibel wird häufig mit **Zusätzen** angegeben, die die definieren, was die **Bezugsgröße** ist.

Einheit mit Suffix (ITU)	Bedeutung
dBu	Spannungspegel mit der Bezugsgröße 0,775 V
dBV	Spannungspegel mit der Bezugsgröße 1 V
dBA	A-bewerteter Schalldruckpegel mit der Bezugsgröße 20 μPa
dBm	Leistungspegel mit der Bezugsgröße 1 mW
dBW	Leistungspegel mit der Bezugsgröße 1 W

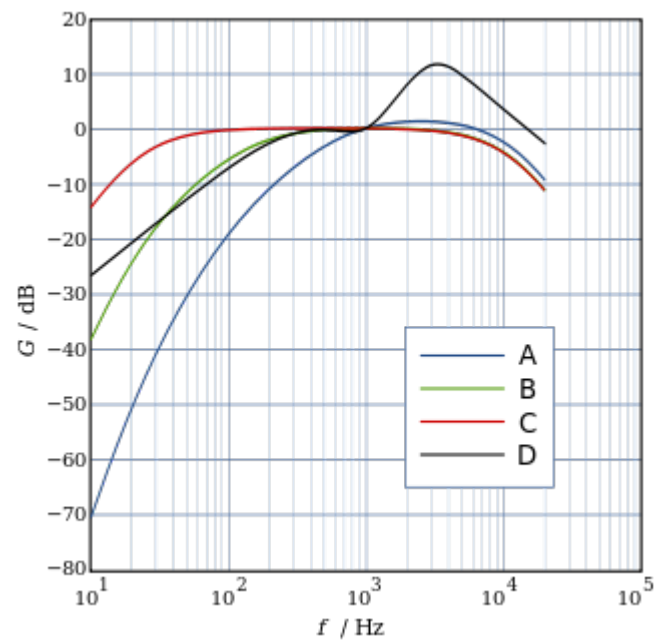


Abbildung 18: Bewertungsfilter A, B, C, D für Schalldruckpegel

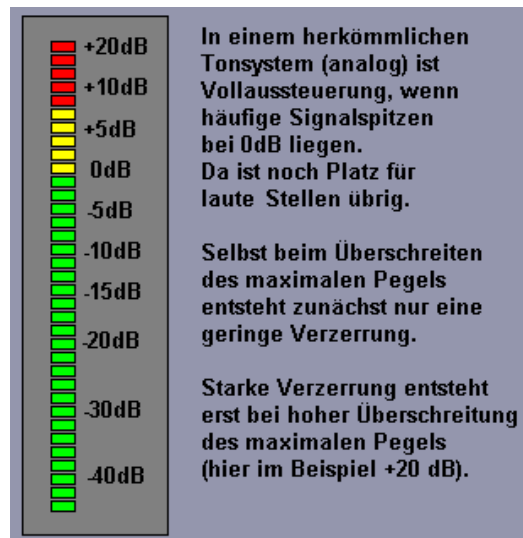


Abbildung 19: Analoge Pegelanzeige bei analogen Systemen, wie Mischpulten

Pegel-Änderung	Lautstärke Lautheit	Spannung Schalldruck	Schallleistung Schallintensität
+60 dB	64	1 000	1 000 000
+50 dB	32	316	100 000
+40 dB	16	100	10 000
+30 dB	8	31,6	1 000
+20 dB	4	10	100
+10 dB	2,0 = Verdopplung	3,16 = $\sqrt{10}$	10
+6 dB	1,52 fach	2,0 = Verdopplung	4,0
+3 dB	1,23 fach	1,414 fach = $\sqrt{2}$	2,0 = Verdopplung
--- ±0 dB ---	--- 1,0 ---	--- 1,0 ---	--- 1,0 ---
-3 dB	0,816 fach	0,707 fach	0,5 = Halbierung
-6 dB	0,660 fach	0,5 = Halbierung	0,25
-10 dB	0,5 = Halbierung	0,316	0,1
-20 dB	1/4 = 0,25	0,100	0,01
-30 dB	1/8 = 0,125	0,031 6	0,001
-40 dB	1/16 = 0,062 5	0,010 0	0,000 1
-50 dB	1/32 = 0,031 2	0,003 2	0,000 01
-60 dB	1/64 = 0,015 6	0,001 0	0,000 001
Log. Größe	Psychogröße	Feldgröße	Energiegröße
dB-Änderung	Lautstärke-faktor	Amplituden-faktor	Leistungs-faktor

Abbildung 20: Vergleich von Schallpegeln

Das Verhältnis zweier Spannungen, Ströme oder Leistungen wird grundsätzlich als Pegel bezeichnet.

- Rechnet man 1 mW Leistung an einem Widerstand von 600 Ohm (kommt vom alten Standard Telefonanlagen), so erhält man **775 mV**.
- Oft meint man bei der Angabe **dB** diese 0,775 V, das ist aber nur dann richtig, wenn der Widerstand 600 Ohm beträgt.
- **Mit dBu stellt man sicher, dass die Bezugsspannung 0,775 V gemeint ist, was sich in Europa eingebürgert hat.**
- In den USA verwendet man hauptsächlich **dBV**, mit einem Bezugswert von 1 V.
Man kann also umrechnen: 0 dBV = + 2,2 dBu
- Manchmal wird auch (unnötigerweise) dBv im Sinne von dBu verwendet.

$$\text{Spannungspegel: } a \text{ in dB} = 20 * \log \left(\frac{U_1}{U_2} \right)$$

Anmerkung: U1 ist die Amplitude, U2 ist die konstante Bezugsgröße

$$\text{Spannung gesucht: } U_1 = U_2 * 10^{\frac{\text{Spannungspegel}}{20}}$$

$$\text{Leistungspegel: } P \text{ in dB} = 10 * \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

$$\text{Leistung: } P_1 = P_2 * 10^{\frac{\text{Leistungspegel}}{10}}$$

Beispiele mit obigen Formeln gerechnet:

$$+ 6 \text{ dBu} = 1,546 \text{ V (bei } 0,775 \text{ V Bezugsgröße)}$$

$$0,5 \text{ V} = -3,8 \text{ dBu (bei } 0,775 \text{ V Bezugsgröße)}$$

$$+ 10 \text{ dBm} = 0,01 \text{ W (bei } 0,001 \text{ W} = 1 \text{ mW Bezugsgröße)}$$

$$0,5 \text{ W} = + 27 \text{ dBm (bei } 0,001 \text{ W} = 1 \text{ mW Bezugsgröße)}$$

1.3.2 NENNPEGEL

Jener Pegel, für den ein Audiogerät **konstruktionsbedingt** ausgerichtet ist.

- **Studiotechnik** Europa: + 4 dBu (1,23 V).
- **Consumer** Linepegel: - 10 dBV (0,316 V)

1.3.3 DER DIGITALE PEGEL

Das Maximum beim digitalen Pegel, der auch als **dBFS (Full Scale)** bezeichnet wird, ist 0 dBFS. Dies ist beim Aussteuern von digitalen Audioaufnahmen besonders von Bedeutung, da eine Überpegelung (Clipping) fatale Folgen für das aufgezeichnete Signal hat.

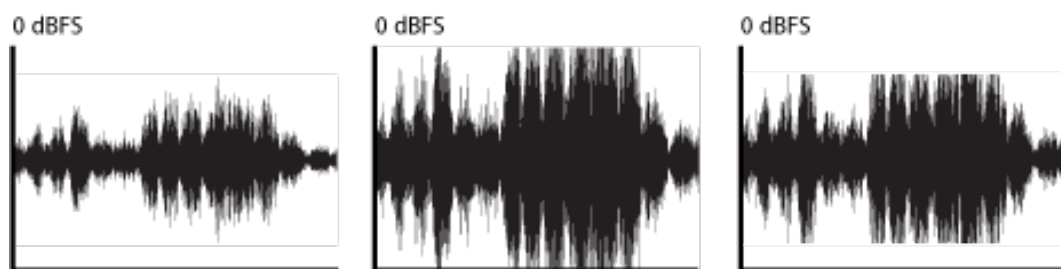


Abbildung 21: Clipping bei digitaler Aufnahme (links normaler Pegel, Mitte Clipping, rechts geclipptes Signal auf Normalpegel – Clipping bleibt erhalten). X-Achse: t

Audioclipping kann mit dem Clipping der Lichter in der Fototechnik verglichen werden und äußert sich durch Knack-Geräusche oder Verzerrungen.

Achte deshalb besonders bei der **digitalen Aufnahme** darauf, dass die Clipping-Anzeigen (zB. in Reaper oder der Recording-Hardware) nie 0 dBFS erreichen. **Pegle Aufnahmen auf -3 bzw. -6 dBFS ein.**

Anmerkung: Clipping beim Mastering/Mix in der Audiosoftware ist weit weniger Problem als bei der Aufnahme, da DAWs (Digital Audio Workstations) intern meist mit 32 oder 64 bit Engines arbeiten (zB. Reaper 64 bit Audioengine).

Die **OVER-Anzeige** in der DAW bedeutet, dass mehrere 0 dBFS-Werte nacheinander aufgetreten sind. Oft wird die OVER-Anzeige „gehalten“, damit man kein Clipping übersieht.



Abbildung 22: Clipping-Anzeige (OVER) in Channel 1 (LEAD)

Die Clipping-Anzeige kann üblicherweise zweierlei Pegel darstellen: Den **PEAK**-Pegel und/oder den **RMS**-Pegel⁹.

Der **PEAK**-Pegel wird dadurch ermittelt, dass mind. 2 Samples in Folge Überpegelung bzw. 0 dBFS aufweisen.

⁹ RMS: Root Mean Square

Der **RMS**-Peak ist eine zeitliche Betrachtung der Wurzel des quadratischen Mittels der Amplituden. Dieses ist bei der Beurteilung der Gesamtlautstärke im Mix ein geeignetes Hilfsmittel.

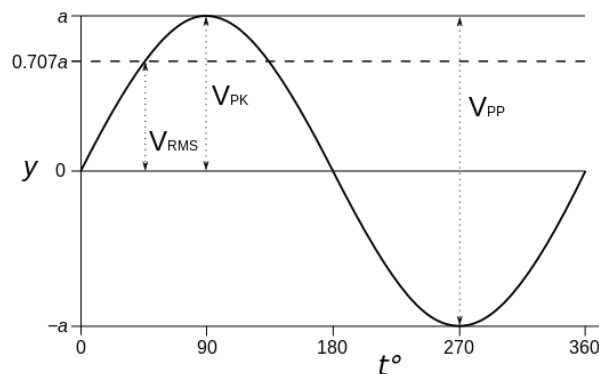


Abbildung 23: RMS, PEAK (PK) und PEAK-PEAK (PP)

Der RMS, auch **Effektivwert** genannt, wird wie folgt gebildet:

1. **Quadrierung** der Signalwerte, damit keine negativen Werte vorkommen
2. Bildung des **Mittelwerts**
3. **Quadratwurzel**, um die Quadrierung umzukehren

1.3.4 DYNAMIK

Als **Dynamik** bezeichnet man den Unterschied zwischen der **größten und der kleinsten Schallintensität** in einem bestimmten Zeitabschnitt. Gemäß den Eigenschaften des menschlichen Gehörs wird die Dynamik in der logarithmischen Einheit Dezibel angegeben.

Dynamikumfang natürlicher Instrumente

Sprache	Sologesang	Streicher	Klavier	Orchester
15 - 20 dB	40 - 50 dB	30 - 35 dB	40 - 50 dB	30 - 70 dB

Um bei der Aufnahme die **Dynamik des Originalsignals** beizubehalten, muss der Signal/Rauschabstand mind. der **Dynamik des Originalsignals entsprechen**.

Die **maximale Systemdynamik** errechnet sich nach der Formel:

$$S/N \text{ dBu} = 6,02n + 1,76$$

n die Länge der Binärzahl in Bit

Bei einer Auflösung von 16 Bit beträgt die maximale Systemdynamik demnach ca. 98 dB.

2 DIE AUDIOTECHNISCHE SIGNALKETTE

2.1 ANALOGE UND DIGITALE AUDIOSIGNALE

Audiodaten existieren in zwei grundsätzlich verschiedenen Formen: analog und digital. Sie können in beiderlei Form übertragen und gespeichert werden.

- **Analoge Audiodaten:** Mikrofon, analoge Mischpulte, Lautsprecher ...
- **Digitale Audiodaten:** DAW, digitale Schnittstellen wie SPDIF, AES, ...

ADC und DAC konvertieren zwischen analogen und digitalen Audiodaten.

Im Folgenden werden einige grundlegende Parameter, digitale Audioformate und Probleme digitaler und analoger Signale behandelt.

2.1.1 SPDIF/AES3/AESEBU

Diese Schnittstellen können mehrere Audioformate übertragen.

- 2 Kanäle
- Symmetrische Verbindung
- XLR Stecker
- Audiodaten bis 24Bit / 192kHz
- Kabellängen: 100m und mehr
- Impedanz: 110 Ohm ($\pm 20\%$)
- Umfangreiche Channel Status Informationen (Cobyright, Synchronisation...)

Bei **S/PDIF** und **AES** handelt es sich um **unidirektionale** Standards, was bedeutet, dass Signale pro Kabel immer nur in eine Richtung übertragen werden können, weshalb immer getrennte Eingangs- und Ausgangsbuchsen genutzt werden. Eine **Besonderheit von S/PDIF** gegenüber AES3 ist die Möglichkeit auch Sourround-Formate zu übertragen Die erhöhte Zahl der Kanäle wird dabei durch deren verlustbehaftete Datenkompression erreicht.

AES wird mit **XLR**, manchmal mit **BNC** oder **CAT-5** übertragen, **SPDIF** mit **RCA (Cinch)** oder **TOSLINK**-Schnittstellen. In der folgenden Abbildung ist ein Konverter mit SPDIF/AES3 TOS-LINK, RCA und BNC Eingängen (von oben nach unten) und einem AES/EBU Ausgang zu sehen.



Abbildung 24: Konverter für digitale Audiodaten



Abbildung 25: TOSLINK Stecker/Kabel (optische Übertragung)

2.1.2 ADAT

Mit ADAT lassen sich bis zu **acht getrennte Spuren mit 44,1 kHz oder 48 kHz** Samplingfrequenz und bis zu **24 Bit** Bittiefe übertagen. Manche Geräte verfügen außerdem über eine zusätzliche Funktionalität mittels derer auch Signale mit bis zu **96 kHz Samplingfrequenz** verwendet werden können. Allerdings wird dabei die Zahl der **Kanäle von acht auf vier reduziert**. ADAT wird mittels unidirektionaler, optischer TOSLINK-Kabel übertragen.

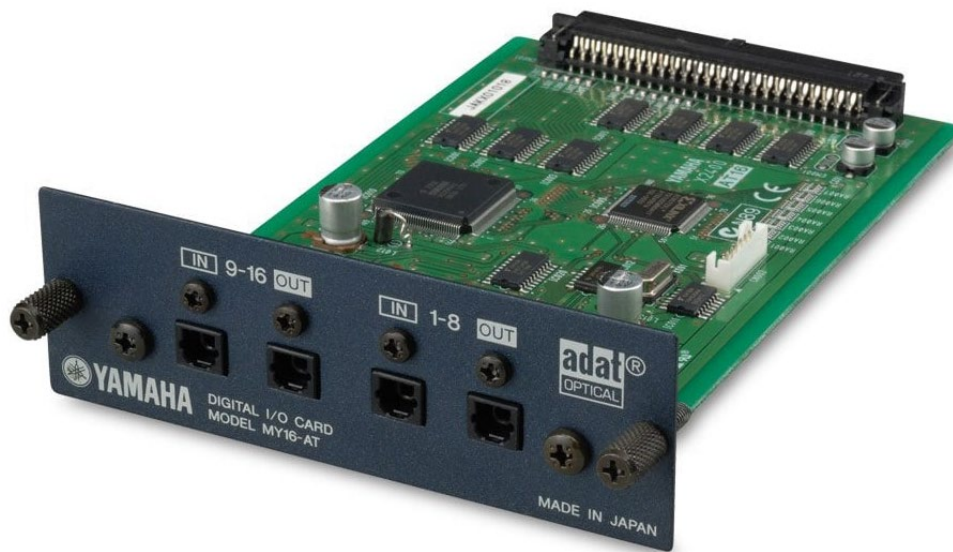


Abbildung 26: ADAT Schnittstellenkarte für den Anschluss von Mischpulten

2.1.3 MADI

MADI steht für **Multi Channel Audio Digital Interface** und wurde gegen Ende der 80er Jahre als Standard für professionelle Audio-Technik etabliert. Der Fokus liegt hier auf dem Übertragen besonders vieler Kanäle. Aktuell bietet es hauptsächlich drei verschiedene Formate: Entweder können **64 Kanäle mit einer Samplingfrequenz von 32 bis 48 kHz**, **32 Kanäle mit 96 kHz** oder **16 Kanäle mit 192 kHz** übertragen werden. Die Bittiefe beträgt dabei **immer 24 Bit**.

Als Anschlüsse werden bei MADI entweder unidirektionale, **koaxiale BNC-Kabel** oder **optische Kabel** verwendet.

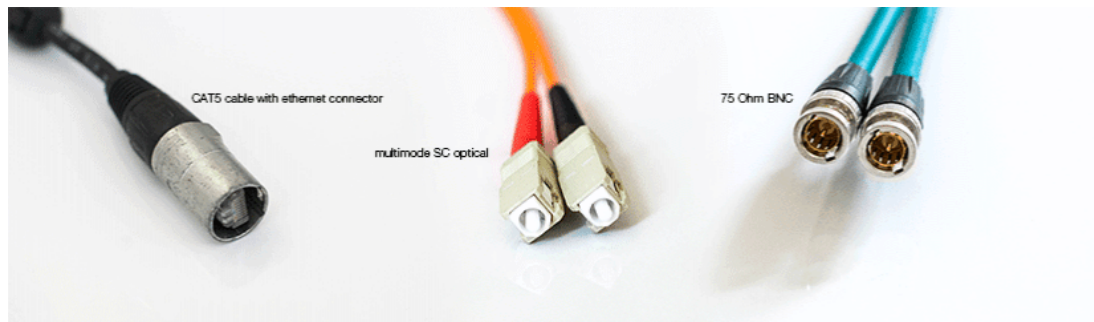


Abbildung 27: Im MADI-Standard sind BNC und SC Lichtwellenleiter definiert

2.1.4 DC-OFFSET

Der sog. **Gleichspannungsoffset** (DC-Offset) tritt auf, wenn zB. die Soundkarte dem aufgenommenen Signal einen Gleichspannungsanteil beifügt. Einer der häufigsten Gründe für ein DC-Offset ist eine ungünstige Kombination aus Mikrofon und Wandler. In vielen Fällen ist die Verschiebung erst bei genauerem Hinsehen und großem Zoomfaktor möglich: Die Wellenform ist nicht coaxial um den Nullpunkt in der Software-Ansicht ausgerichtet.

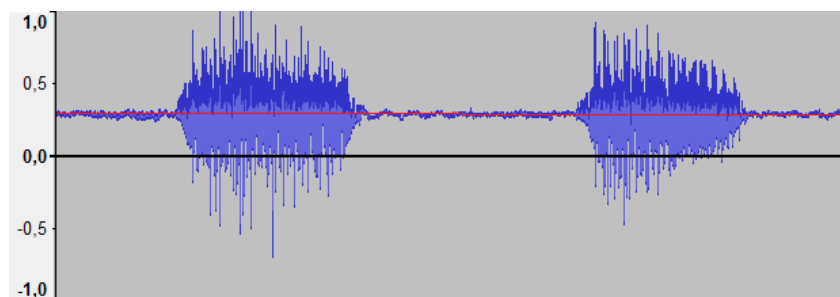


Abbildung 28: DC-Offset

Solch ein Problem muss grundsätzlich immer **behoben werden**, da folgende Effekte auftreten können:

- Loopen von Samples schwer möglich
- Beim Schnitt/Mischung von Samples mit und ohne DC-Offset treten Störgeräusche auf
- Weniger Headroom, also Aussteuerungsreserve
- Probleme mit Effekten

Die meisten DAWs bieten eine Funktion zur Entfernung des DC-Offsets an. Im Notfall hilft ein **Hochpassfilter mit 20 – 30 Hz Schwelle** (Bereiche, die man in einer Audiomischung sowieso nicht unbedingt im Mix haben möchte).

2.1.5 THERMISCHES RAUSCHEN

Thermisches Rauschen tritt auf, wenn Elektronen sich **ungerichtet** im Leiter bewegen (Anmerkung: Eine gerichtete Bewegung wird als Stromfluss bezeichnet). Die ungerichtete Bewegung wird umso größer, je höher die Temperatur ist. Dies äußert sich als Rauschen, wenn ein analoges Audiosignal durch eine Leitung geschickt wird.

Das Verhältnis von Nutzsignal P_s zur Rauschleistung P_n wird als **SNR**¹⁰ bezeichnet.

$$SNR = 10 * \log\left(\frac{P_s}{P_n}\right) dB$$

2.1.6 FREQUENZGANG

Der Frequenzgang beschreibt das Verhältnis vom Frequenz-Spektrum eines Eingangssignals zum Frequenz-Spektrum eines Ausgangssignals. **Equalizer** dienen der Korrektur von Frequenzgängen. Der Frequenzgang ist bei zB. Mikrofonen ein wichtiger Hinweis auf deren Einsatzgebiet.

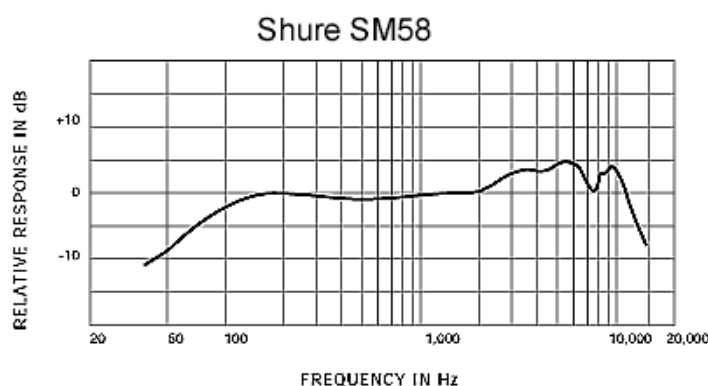


Abbildung 29: Beispiel des Frequenzgangs des SM58-Mikrofons

¹⁰ Signal to Noise Ratio

2.2 KABEL UND STECKER

Kabel **sollten nicht länger als notwendig** sein. Auf den Einsatz von **Adaptern** sollte verzichtet werden. Grundsätzlich gilt:

- Je größer der **Leiter-Querschnitt**, desto geringer ist der Leitungswiderstand
- Je kürzer ein Kabel, desto weniger **Dämpfung** in den hohen Frequenzbereichen
- Je besser die **Abschirmung**, desto geringer sind Aus- und Einstreuung
- Vergoldete Stecker dienen nur dem **Korrosionsschutz**

2.2.1 SYMMETRISCHE UND UNSYMMETRISCHE ÜBERTRAGUNG

Zur Übertragung von Audiosignalen braucht man geschlossene Stromkreise, also immer mindestens zwei Leitungen. **Professionelle Anlagen** werden üblicherweise mit **symmetrischer** Übertragung aufgebaut, Consumer-Geräte meistens **unsymmetrisch**.

2.2.1.1 SYMMETRISCHE ÜBERTRAGUNG

Pro übertragenem Signal oder Kanal gibt es ein **Drahtpaar**. Oft sind diese Drähte miteinander verdreht und geschirmt (Twisting, Shielding, Cancellation). Dadurch wirken sich Störungen durch elektromagnetische Felder praktisch **gleich auf beide Drähte** aus.

Im Empfänger wird das Nutzsignal aus der **Differenz der beiden Spannungspegel** gebildet. Da sich eingestreute Störspannungen auf beide Adern (nahezu) gleich ausgebreitet haben, fällt dieser Störpegel durch die Subtraktion am Empfänger weg. Es wird pro Kanal ein Kabelpaar und am Empfänger ein **Subtrahierer**¹¹ benötigt.

Bei symmetrischer Übertragung ist **XLR die erste Wahl**. Zwar sind durch die 3-polige Ausführung **auch Stereo-Übertragungen** denkbar, dennoch überlässt man das meist dem Klinkenstecker. XLR ist äußerst **robust** und lässt sich mit Ein- und Ausgängen dank eines

¹¹ Auch als Differenzverstärker bezeichnet. Wenn alle Widerstände gleich groß sind, dann bildet die Schaltung am Ausgang die Differenz zwischen den beiden Eingangssignalen, der Differenzverstärker subtrahiert die beiden Signale voneinander.

einfachen Verschlusssystem **arretieren**. XLR-Kabel können beliebig **verlängert** werden, da es männliche und weibliche Stecker gibt. Der Ausgang eines Geräts oder Kabels ist immer männlich, der Eingang immer weiblich.

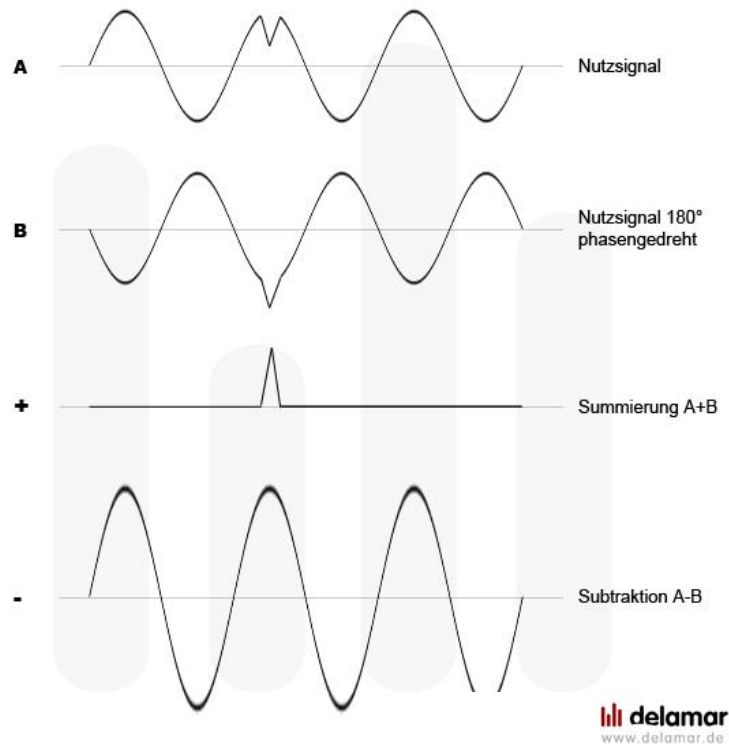


Abbildung 30: Symmetrische Übertragung

Es gilt also zusammenfassen: Ein Monosignal wird auf 2 Kanälen mit halbem Pegel übertragen, einmal phasenrichtig, einmal phasengedreht. Durch die Subtrahierung am Empfänger wird eine Störung, die auf dem Signalweg entsteht, ausgelöscht:

$$(\text{Signal 1} + \text{Fehler}) - (-\text{Signal 2} + \text{Fehler}) = \text{Signal ohne Fehler, aber mit doppeltem Pegel}$$

2.2.1.2 UNSYMMETRISCHE ÜBERTRAGUNG

Ein **unsymmetrisches Audiokabel** besteht aus zwei Leitern. Einer davon ist für die Schirmung und Masse verantwortlich, der andere überträgt das Nutzsignal. Ein Vorteil ist, dass unsymmetrische Audiokabel kostengünstig sind und kurze Kabelstrecken meist problemlos ohne Störgeräusche realisiert werden können. Ein Nachteil unsymmetrischer Audio-

kabel besteht darin, dass besonders lange Kabelverbindungen anfällig gegenüber Störgeräuschen sind. Ein Großteil der **unsymmetrischen Audiokabel ist als Klinken- oder Cinch-Kabel** ausgelegt. Übrigens sind auch S/PDIF-Verbindungen unsymmetrisch.

2.2.2 STECKVERBINDUNGEN

Professionelle Steckverbindungen für Audiodaten **sind Klinken- oder XLR-Stecker**.

	<p>RCA¹² (Cinch)</p> <p>Einpolige, geschirmte Verbindung für Signale. Vorwiegende Verwendung im semiprofessionellen und Consumer-Bereich. Unsymmetrisch.</p>
	<p>Speakon</p> <p>Entwicklung von Neutrik. Einsatz als Lautsprecherverbindung. Eine Verbesserung gegenüber XLR ist vor allem der Berührungsschutz.</p>
	<p>XLR</p> <p>Dreipolige, verriegelbare Verbindung zur Führung von symmetrischen oder unsymmetrischen Signalen (zB. Mikrofon), sowie Verwendung zum Lautsprecheranschluss. Auf unterschiedliche Beschaltung der Pins achten!</p>
	<p>Klinke (3,5 mm, 6,3 mm)</p> <p>Ein- oder zweipolig, geschirmte Verbindung zum Führen von symmetrischen und unsymmetrischen Signalen; ggf. auch für Lautsprecheranschluss.</p> <ul style="list-style-type: none"> (1) Masse (2) Rechter Kanal oder negative Phase (3) Linker Kanal oder positive Phase (4) Isolatoren

¹² Radio Corporation America

Symmetrische Kabel sind grundsätzlich vorzuziehen, wenn möglich. Für die Umwandlung von unsymmetrischen in symmetrische Signale werden DI-Boxen eingesetzt.

2.3 MIKROFONE

Die Qualität der Mikrofone ist entscheidend, da sie das erste Glied in der Signalkette bis zur Aufnahme darstellen. Alle Abstriche, die beim Mikrofon und dessen Aufstellung gemacht werden, summieren sich in weiterer Folge, bis das Signal den Rechner erreicht. Die Qualität eines Mikrofons hängt im Wesentlichen von diesen Hauptfaktoren ab:

- **Typ des Mikrofons:** Kondensatormikrofone und dynamische Mikrofone
- **Kapseltyp:** Art des Schallwandlers
- **Richtcharakteristik:** verschiedene Mikrofone sind - abhängig von der Schallrichtung - unterschiedlich empfindlich.
- **Frequenzgang:** Mikrofone nehmen unterschiedliche Frequenzbereiche unterschiedlich auf.
- **Empfindlichkeit:** Übertragungsfaktor in mV/Pa der beschreibt, wie der Schalldruck in Wechselspannung umgesetzt wird. Steigt mit der Membrangröße an. Je höher die Empfindlichkeit, desto höher die Ausgangsspannung bei gleichem SPL.
- **Maximal SPL:** Maximale Belastbarkeit in dB SPL. Bei Überschreiten des max. SPL verzerren die Mikrofone nicht-linear.

Wir unterscheiden grundsätzlich **Kondensator-** und **dynamische Mikrofone**.

Kondensatormikrofone sind zumeist empfindlicher als dynamische und stellen daher den Schall plastischer dar. Auf der anderen Seite sind sie anfälliger für unerwünschte Nebengeräusche, weshalb sie sich schlechter für Außenaufnahmen oder Aufnahmen in großen Räumen mit vielen Nebengeräuschen eignen. Außerdem benötigen sie **Phantomstromspeisung**, weshalb sie vor allem mit Mischpulten eingesetzt werden.

2.3.1 BAUFORM UND RICHTCHARAKTERISTIK

Es gibt Mikrofone in unterschiedlichen Kombinationen von **Wandlerprinzip, Bauform und Membrangröße**. Die äußere Bauform spielt eine für die Funktion untergeordnete Rolle und lässt nur vom Anwendungsbereich her auf die akustischen Eigenschaften schließen. In der modernen Tontechnik jedoch spielen hauptsächlich zwei bzw. drei Arten von Mikrofonen eine Rolle:

- **dynamische Mikrofone**
- **Elektret- Kondensatormikrofone**
- „echte“ **Kondensatormikrofone**

Mikrofone nehmen den Schall entweder aus einer oder aus allen Richtungen auf. **Omnidirektionale** Mikrofone sind nach allen Seiten hin gleich empfindlich, während **(uni)direktionale** Mikrofone nach vorne besonders empfindlich sind.

Direktionale Mikrofone sind die gebräuchlichsten. Sie sind unanfälliger für Störgeräusche, vermitteln aber dennoch ein gewisses Raumgefühl.

Richtmikrofone sind in eine Richtung besonders empfindlich, während sie Seitenschall und Schall von hinten kaum aufnehmen. Sie werden auf größere Distanzen oder in lauten Umgebungen eingesetzt - zB. bei Videoaufnahmen, wenn das Mikrofon nicht gesehen werden soll - und müssen besonders genau ausgerichtet werden. Die meisten direktionalen Mikrofone liefern ein Mono-Signal.

Omnidirektionale Mikrofone bilden den Raum sehr gut ab, sind meist stereo und werden vor allem in Studioumgebungen eingesetzt.

Die **Richtwirkung**, also die richtungsabhängige Empfindlichkeit eines Mikrofons, ist vor allem von der **Bauform der Kapsel** abhängig. Ein reiner **Druckempfänger** besitzt keine Richtwirkung, also eine kugelförmige Richtcharakteristik (omnidirektional). Ein **Druckgradientenempfänger** in seiner reinen Form (zB. Bändchenmikrofon) liefert als Richtcharakteristik die Form einer Acht. Die beiden Richtcharakteristiken **Kugel und Acht können in beliebigen Verhältnissen gemischt** werden und liefern die Zwischenformen "breite Niere", "Niere", "Superniere" und "Hypernieren". Die Richtcharakteristik "Keule" wird nicht

aus der Überlagerung von Kugel und Acht gewonnen, sondern durch das Prinzip des Interferenzrohres (Schallrichtungsabhängige Auslöschungen durch akustisch wirksame Laufzeitelemente).

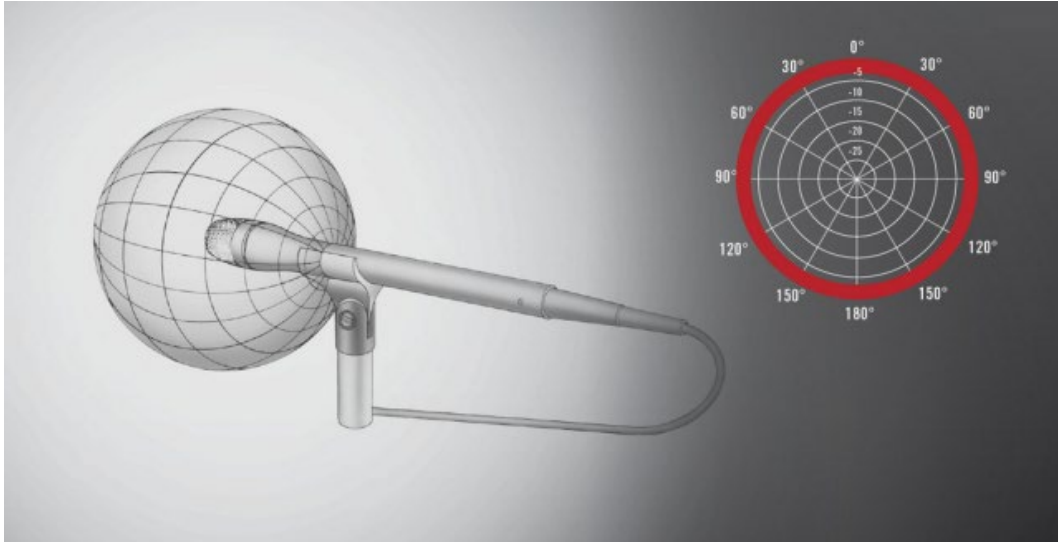


Abbildung 31: Kugelcharakteristik. Anwendung: Sprachanwendungen, Anstecker, Headset... Anfällig für Rückkopplungen.

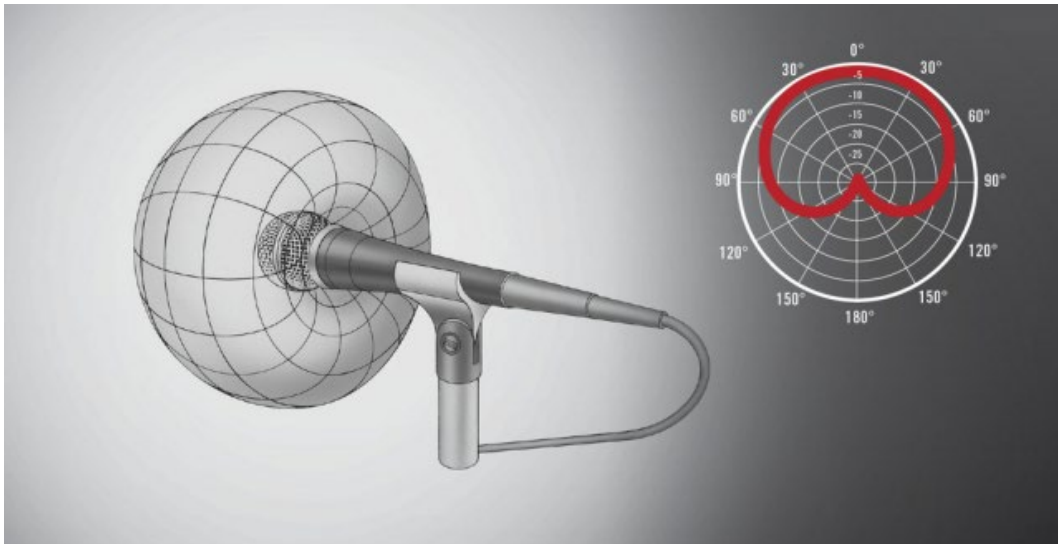


Abbildung 32: Nierencharakteristik. Anwendung: Live, Bühne. Anfällig für Nahbesprechungseffekt (Tiefen werden angehoben, je näher am Mikrofon)

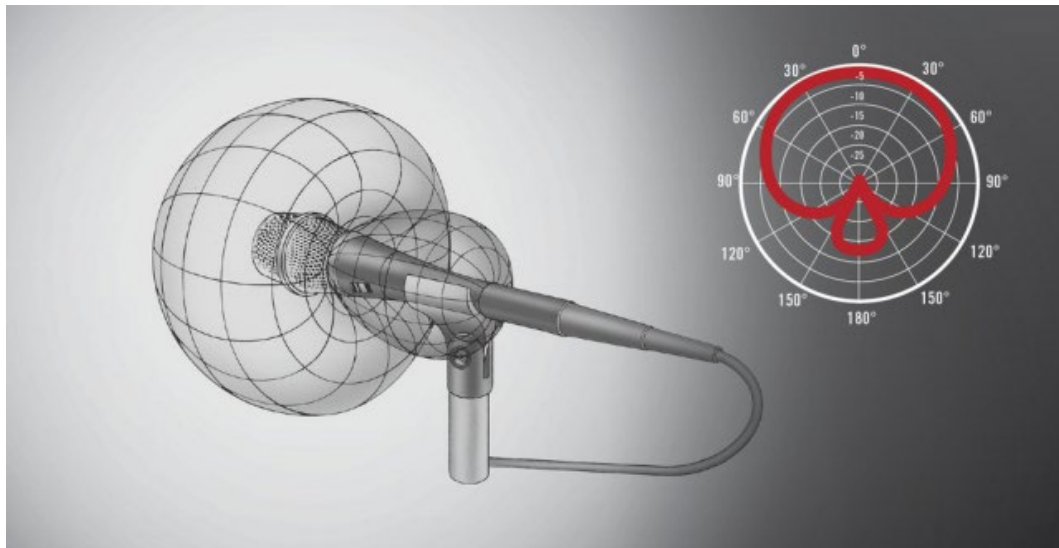


Abbildung 33: Supernieren-Charakteristik. Anwendung: Aufnahme einzelner Quellen in lauter Umgebung aufgrund stärkerer Richtwirkung als Niere.

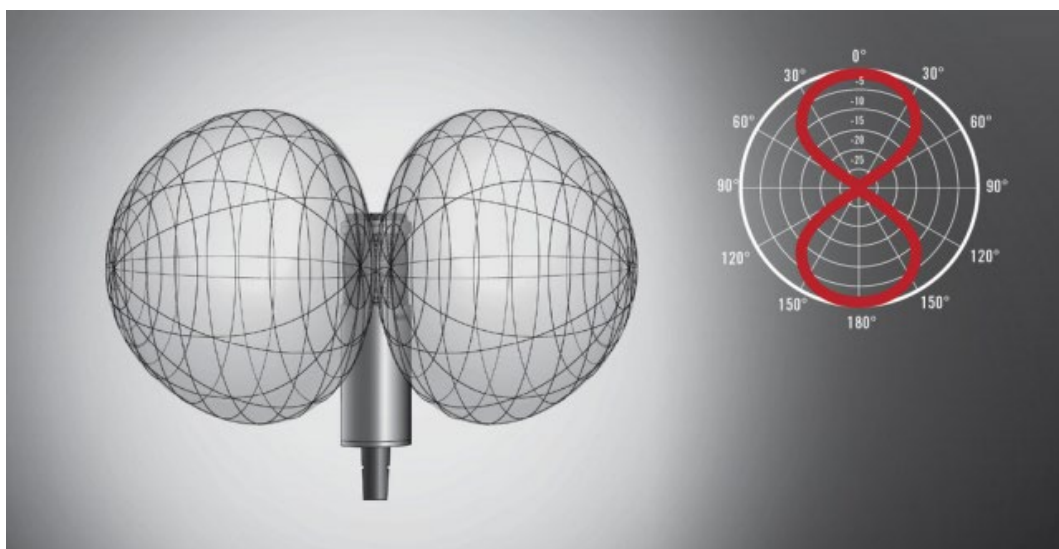


Abbildung 34: Acht-Charakteristik. Anwendung bei Schlagzeug als Overhead oder Stereo-Mikrofonie.

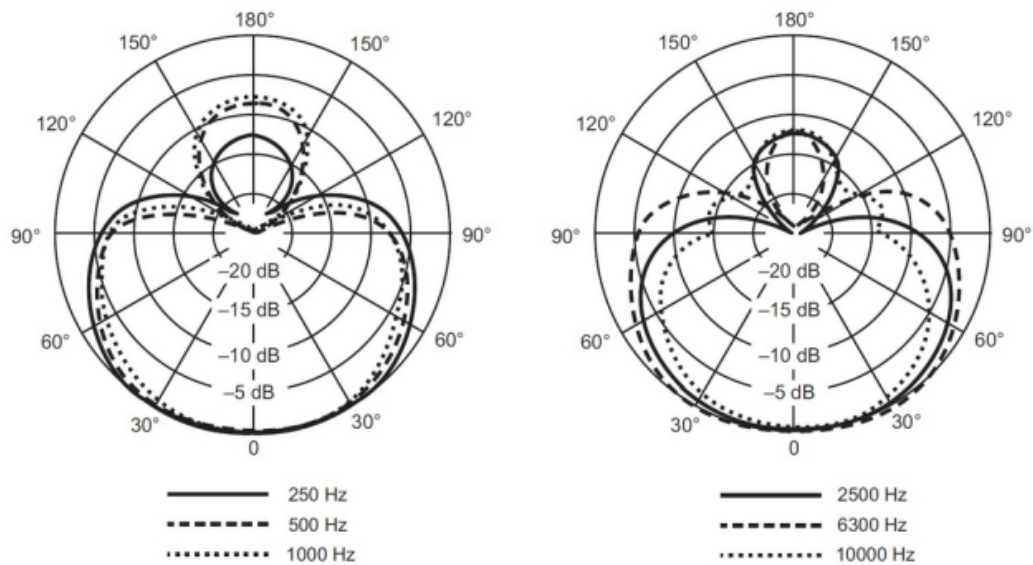


Abbildung 35: Richtcharakteristik über den Frequenzbereich.

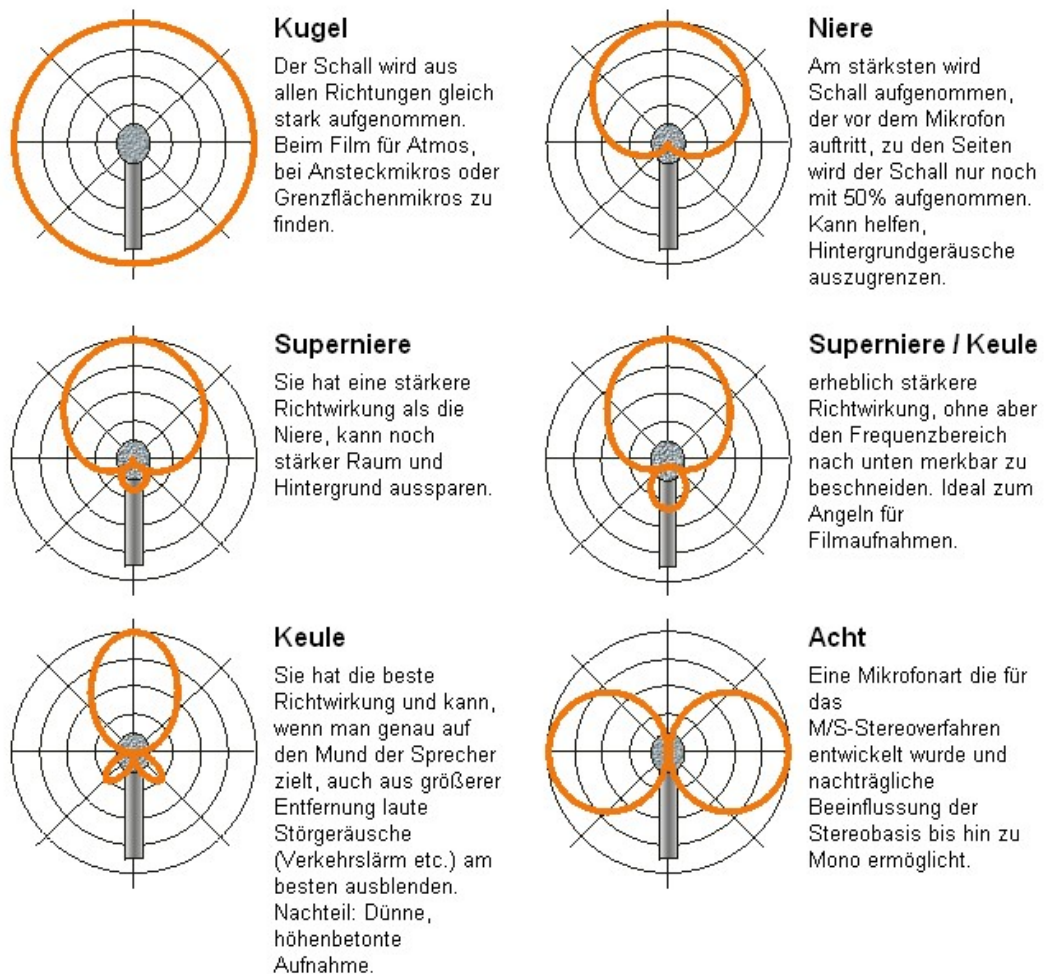


Abbildung 36: Richtwirkungen in 2dimensionaler Darstellung

2.3.2 POLARDIAGRAMM

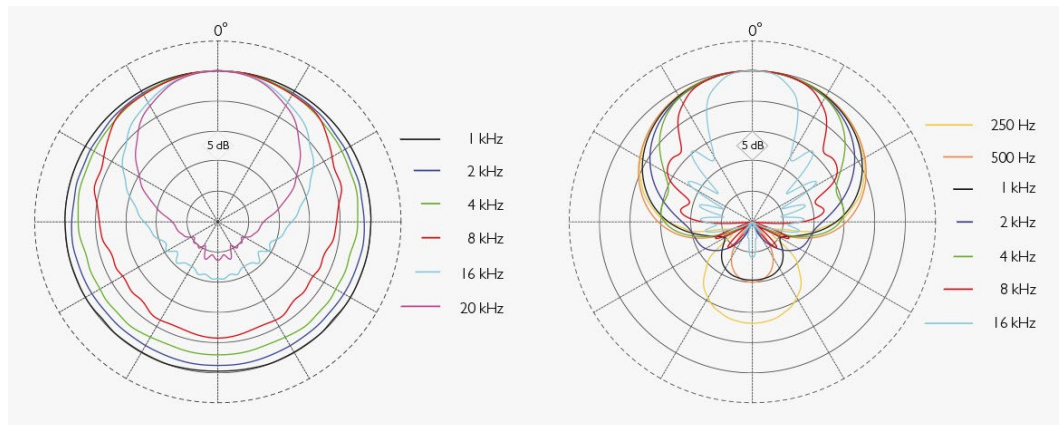


Abbildung 37: Polardiagramm. Beachte, wie das omnidirektionale Mikrofon bei höheren Frequenzen eine Richtwirkung bekommt

Das Polardiagramm ist ein grafischer Ansatz, die **winkelabhängige Empfindlichkeit eines Mikrofons** aufzuzeigen. Die Polarkurve basiert auf einem Gitter aus konzentrischen Kreisen. Jeder Kreis stellt einen dB-Pegel dar, der normalerweise mit 0 dB am äußeren Kreis beginnt. Ein als 0° markierter Referenzpunkt wird am oberen Rand des äußeren Kreises markiert. Die 0° zeigen die Mikrofonachse an. Die Richtwirkung ändert sich mit der Frequenz, weshalb verschiedene Frequenzbereiche angegeben werden.

2.3.3 FREQUENZGANG

Der Frequenzgang drückt die **Ausgabe eines Mikrofons als Funktion der Frequenz** aus. Der Frequenzgang wird üblicherweise gemessen, indem ein sinusförmiges akustisches Signal im Freifeld und auf der Achse angelegt wird.

Der Frequenzgang kann flach sein, was bedeutet, dass sie die Frequenzen gleichmäßig darstellen, oder er kann auf eine spezielle Anwendung zugeschnitten sein. Mikrofone, die für Sprachaufnahmen gebaut sind, schneiden meist sehr hohe Frequenzen ab, um Rauschen zu unterdrücken. Kondensatormikrofone haben tendenziell flachere Frequenzgänge, die auch sehr hohe Frequenzen gut darstellen.

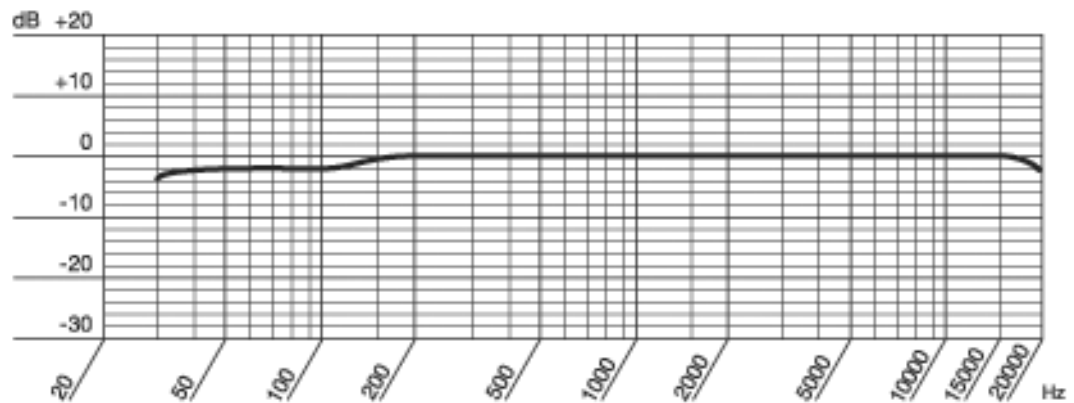


Abbildung 38: Frequenzgang AKG C480

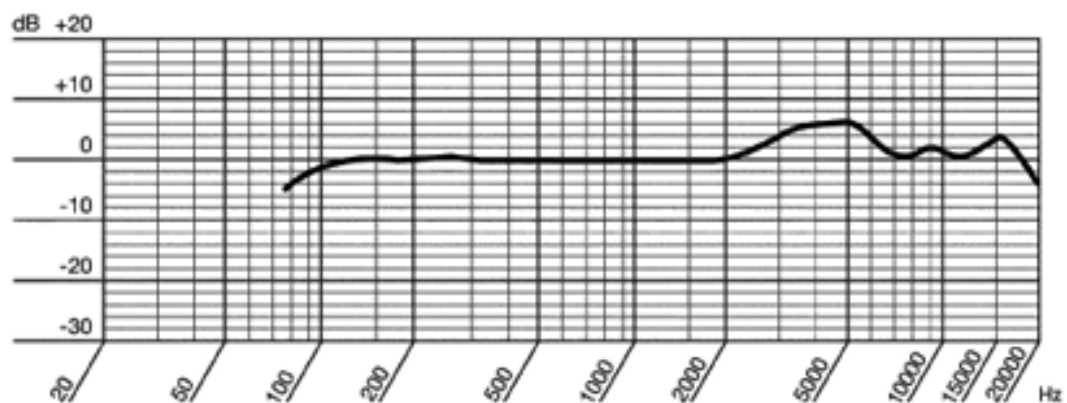


Abbildung 39: Frequenzgang AKG D660

2.3.4 EMPFINDLICHKEIT

Die Empfindlichkeit drückt die Fähigkeit eines Mikrofons aus, **Schalldruck in elektrische Spannung** umzuwandeln. Sie gibt an, wie viel Ausgangsspannung das Mikrofon liefert, wenn es einem bestimmten Schalldruck ausgesetzt wird. Die Freifeld-Empfindlichkeit gibt die Spannung an, die ein Mikrofon erzeugt, wenn es in einem freien Schallfeld mit einem Schalldruck von 1 Pascal (was einem Schalldruckpegel (SPL) von 94 dB entspricht) platziert wird.

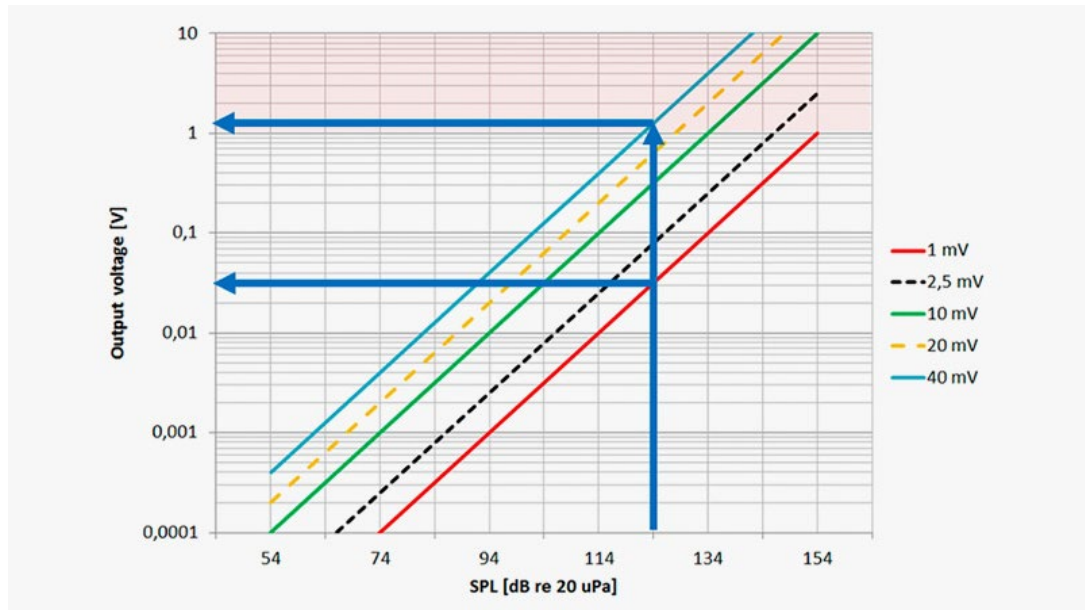


Abbildung 40: Empfindlichkeit

Beispiel: Die Kurven zeigen die Ausgangsspannung von Mikrofonen als Funktion unterschiedlicher Schalldruckpegel am Eingang. Die untere rote Kurve zeigt die Ausgangsspannung eines Mikrofons bei einer Empfindlichkeit von 1 mV/Pa, während die obere blaue Kurve die Ausgangsspannung eines Mikrofons mit 40 mV/Pa zeigt. Wenn die Mikrofone einem Schalldruck von 124 dB ausgesetzt werden, entsprechen die Ausgangsspannungen ca. 31 mV bzw. 1,3 V.

2.3.5 ÄQUIVALENTER GERÄUSCHPEGEL

Der äquivalente Geräuschpegel (auch als **Eigenrauschen** des Mikrofons bezeichnet) gibt an, bei welchem Schalldruck das Mikrofon die gleiche Ausgangsspannung wie das elektrische Eigenrauschen erzeugen würde. In der Regel führen **größere Membrane** zu weniger Eigenrauschen.

2.3.6 VERZERRUNG THD

Gibt den maximalen Schalldruck (RMS und Peak) an, unter dem die gesamte harmonische Verzerrung (THD = Total Harmonic Distortion) weniger als 1% beträgt.

2.3.7 MAXIMALER SPL (ÜBERSTEUERUNG)

In vielen Aufnahmesituationen ist es praktisch zu wissen, welchen **maximalen Schalldruckpegel** (SPL) ein Mikrofon verarbeiten kann und welche **Ausgangsspannung** in dieser Situation zu erwarten ist. Für allgemeine Spezifikationen ist der Schalldruckpegel, bei dem ein **THD von 0,5% oder 1% auftritt**, nützlich, da ab diesem Wert eine hörbare Verzerrung wahrgenommen werden kann.

2.3.8 NENNIMPEDANZ

Die **Ausgangsimpedanz** eines professionellen Mikrofons sollte im Vergleich zur **Eingangsimpedanz** des Vorverstärkers niedrig sein, normalerweise um den **Faktor 10** (= Spannungsanpassung).

2.3.9 KAPAZITÄT DES KABELS

Lange Kabelwege können ein Signal beeinträchtigen. Der Verlust setzt normalerweise zuerst bei höheren Frequenzen ein (wie ein Tiefpassfilter). Wird auch als Kabelantriebsfähigkeit bezeichnet.

2.3.10 WAHL DES PASSENDEN MIKROFONS

Dynamische Mikrofone sind durch ihre Robustheit und Vielseitigkeit eine gute **Allround-Wahl**. Sie haben einen guten Frequenzgang und sind relativ resistent gegen Störgeräusche aufgrund ihres direktionalen Aufbaus. Sie sind robust und können im Gegensatz zu Kondensatormikrofonen in der Hand gehalten werden. Sie eignen sich vor allem für Außenaufnahmen oder in lauter Umgebung. **Kondensatormikrofone** eignen sich vor allem für **Studioaufnahmen**, für eine ruhige kontrollierte Umgebung, wo sie exzellente Resultate liefern. Sie sind sehr anfällig für Erschütterungen, weshalb sie meist in speziellen Aufhängungen aufgestellt werden. Bei Außenaufnahmen kommen direktionale, meist dynamische Mikrofone zum Einsatz.

In vielen Fällen sind **Lavaliermikrofone** (Ansteckmikrofone) die beste Wahl. Sie sind meist **omnidirektional** und nehmen nur relativ starke Signale auf. Dadurch sind auch sie resistent gegenüber Störgeräuschen und vermitteln einen sehr authentischen Eindruck der Stimme des Sprechers.

Mikrofon	direktional	Typ	Frequenzgang	Preis
Shure SM58	ja	dynamisch	50Hz-15kHz	~ 130
Shure SM57	ja	dynamisch	40Hz-15kHz	~ 80
Sennheiser MD421 MKII U4	ja	Kondensator	30Hz-17kHz	~ 300
Rhode NT2	4 Einstellungen	Kondensator	20Hz-20kHz	~ 400
Neumann TLM-103	ja	Kondensator	20Hz-20kHz	~ 1000
AKG C 414 B-ULS	4 Einstellungen	Kondensator	20Hz-20kHz	~ 800

2.3.11 POSITIONIEREN VON MIKROFONEN

Je empfindlicher das Mikrofon, desto wichtiger die Halterung und Platzierung. Gerade omnidirektionale Kondensatormikrofone sollten in gedämpften Halterungen aufgestellt werden, bei dynamischen directionalen ist die Ausrichtung von entscheidender Bedeutung.

Direktionale Mikrofone mit durchschnittlicher Empfindlichkeit (zB. SM58) sollten **12 bis 15 cm vom Mund des Sprechers** platziert werden und möglichst genau auf sie ausgerichtet werden. Besonders hohe Frequenzen breiten sich geradlinig aus, sodass Geräusche, die seitlich auf das Mikrofon treffen nicht nur leiser sind, sondern auch dumpfer klingen als solche, die entlang der Achse des Mikrofons auftreffen. Dieser Effekt kann auch bewusst eingesetzt werden, um Zischlaute zu verhindern. Befindet sich das Mikrofon näher am Sprecher, klingt die Stimme wärmer und tiefer, die Gefahr für Pops und Zischlaute steigt jedoch. Billige Mikrofone sollten möglichst nah am Sprecher aufgestellt werden. Ansteckmikrofone sollten am Kragen oder etwas darunter befestigt werden, und

zwar so, dass weder Kleidungsstücke noch die Haare des Sprechers an ihnen reiben können. Kleidungsstücke, die an sich rascheln, sind bei Ansteckmikrofonen oft ein Problem.

Omnidirektionale Kondensatormikrofone sollten nur in einer kontrollierten Studioumgebung eingesetzt werden und zwischen den Sprechern in **30 - 40 cm Abstand** aufgestellt werden. Die Entfernung der Sprecher vom Mikrofon sollte der Lautstärke der Stimmen entsprechen, da eine spätere Angleichung der Lautstärken schwierig ist.

Für das optimale Einpegeln ist es auch wichtig, dass die Sprecherin ihre Position zum Mikrofon nicht ständig verändert. Besonders wichtig ist das beim Einsatz von **direktionalen Mikrofonen**.

Bestimmte Vokale wie P, T, S, Sch u.a. erzeugen **Spitzenlautstärken** bzw. Frequenzen, die auf Aufnahmen als störend empfunden werden. **Popping** (P, B, T) entsteht häufig, wenn die Sprecherin zu nah am Mikrofon ist bzw. sie eine theatralische Aussprache pflegt. Ihm kann entgegengewirkt werden, indem man das Mikrofon weiter wegstellt, es aus der direkten Achse der Sprecherin dreht oder ein Poppschild verwendet. Einige Mikrofone (zB. SM58) haben bereits ein Poppschild eingebaut bzw. es liegt eines bei. Dasselbe gilt für **Zischlaute** (Fass), die bei den Konsonanten S, Sch auftreten. Um diese Störungen zu vermeiden, ist es wichtig, sich Zeit für das Aufstellen der Mikrofone und Pegeln einer Aufnahme zu nehmen.

2.4 STEREO MIKROFONIE

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diese beiden Mikrofone anzuordnen. Einmal können zwei gerichtete Mikrofone ganz eng beieinander platziert und nach verschiedenen Seiten ausgerichtet werden. Diese Verfahren nennt man **XY oder MS**. Mikrofone, die zwei Kapseln fest in ein Gehäuse eingebaut haben, arbeiten nach diesem Prinzip und bieten einen idealen Einstieg in die Stereotechnik, da ihre Handhabung den Monomikrofonen vergleichbar ist. Werden für diese so genannte „Stereoanordnung“ Kugeln verwendet, dann spricht man vom **AB -Verfahren, bei Nieren in der Regel von ORTF**. Daneben existieren noch eine Reihe von Mischformen und Sonderbauweisen, die sich bewährt haben.

2.4.1 XY-AUFBAU

Dieser ist Standard in den gängigen Stereomikrofonen für Reporter: **Zwei Nierenkapseln** (meist in Elektret-Technik) werden nah beieinander platziert (Koinzidenzmikrofon) und um **90 Grad** (evtl. auch 120 Grad) **gegeneinander verdreht**. Sie liefern je ein Signal für den linken und rechten Stereo-Kanal. Weil zwei Nierenkapseln verwendet werden, finden sich im XY-Verfahren die akustischen Eigenschaften von Nierenmikrofonen wieder.

Insgesamt hat ein **XY-Stereomikrofon eine Richtwirkung nach vorne**.

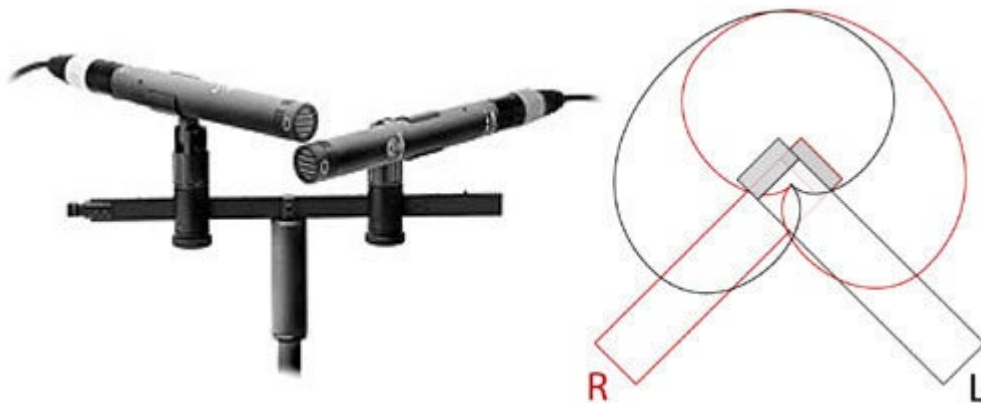


Abbildung 41: XY-Aufbau auf Schiene mit 2 Nierenmikrofonen

2.4.2 AB-AUFBAU

Es arbeitet gewöhnlich mit **zwei ungerichteten Mikrofonen** und bringt die klanglichen Vorteile der Kugel-Charakteristik in die Stereoaufnahmetechnik ein. Prinzipiell ist es aber auch möglich, eine AB-Anordnung mit Nierenmikrofonen oder Richtrohren aufzubauen. Der Übergang vom ORTF zum AB-Verfahren ist somit fließend.

Bei AB werden die Mikrofone in einem Abstand ab etwa 20 Zentimeter zueinander auf einer Schiene montiert und parallel ausgerichtet.

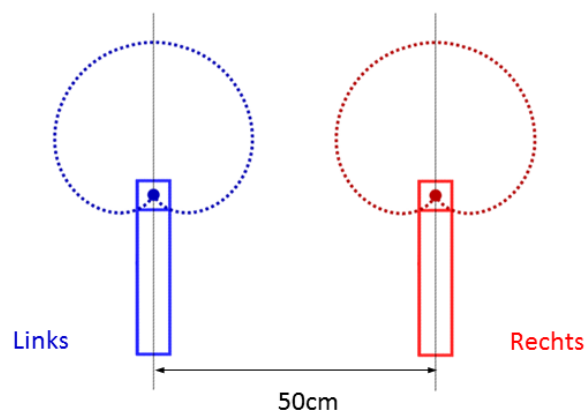


Abbildung 42: AB-Aufbau mit Kugelmikrofonen und einer Stereobasis von 20 - 50 cm. Am besten für Athmo, wenn die Mikros mitten im Geschehen stehen.

2.4.3 ORTF-AUFBAU

ORTF soll ein Äquivalent zum menschlichen Hören darstellen. Es arbeitet mit zwei Nierenmikrofonen, die in einem Winkel von 110 Grad und im Abstand von 17,5 Zentimeter montiert.

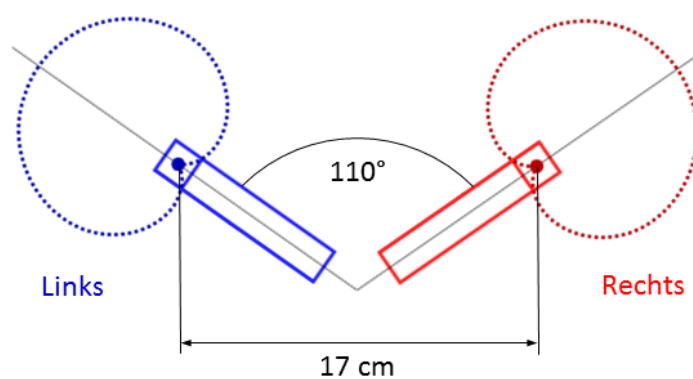


Abbildung 43: ORTF-Aufbau mit 2 Nierenmikros

2.5 MISCHPULTE

Mischpulte ermöglichen es unterschiedliche Schallquellen (Kanäle) zu **mischen**. Dabei kann die Lautstärke, der Frequenzgang, die Balance (**panning**) für jeden einzelnen Kanal eingestellt werden. Außerdem erlauben sie es, bestimmte Kanäle in Effektgeräte wie zB. Kompressoren zu leiten und **Submixes** einzelner Kanäle zu erstellen. Mischpulte verfügen auch über Vorverstärker, die Mikrofonsignale zur weiteren Bearbeitung verstärken, und **Phantomstromspeisung** für Kondensatormikrofone.

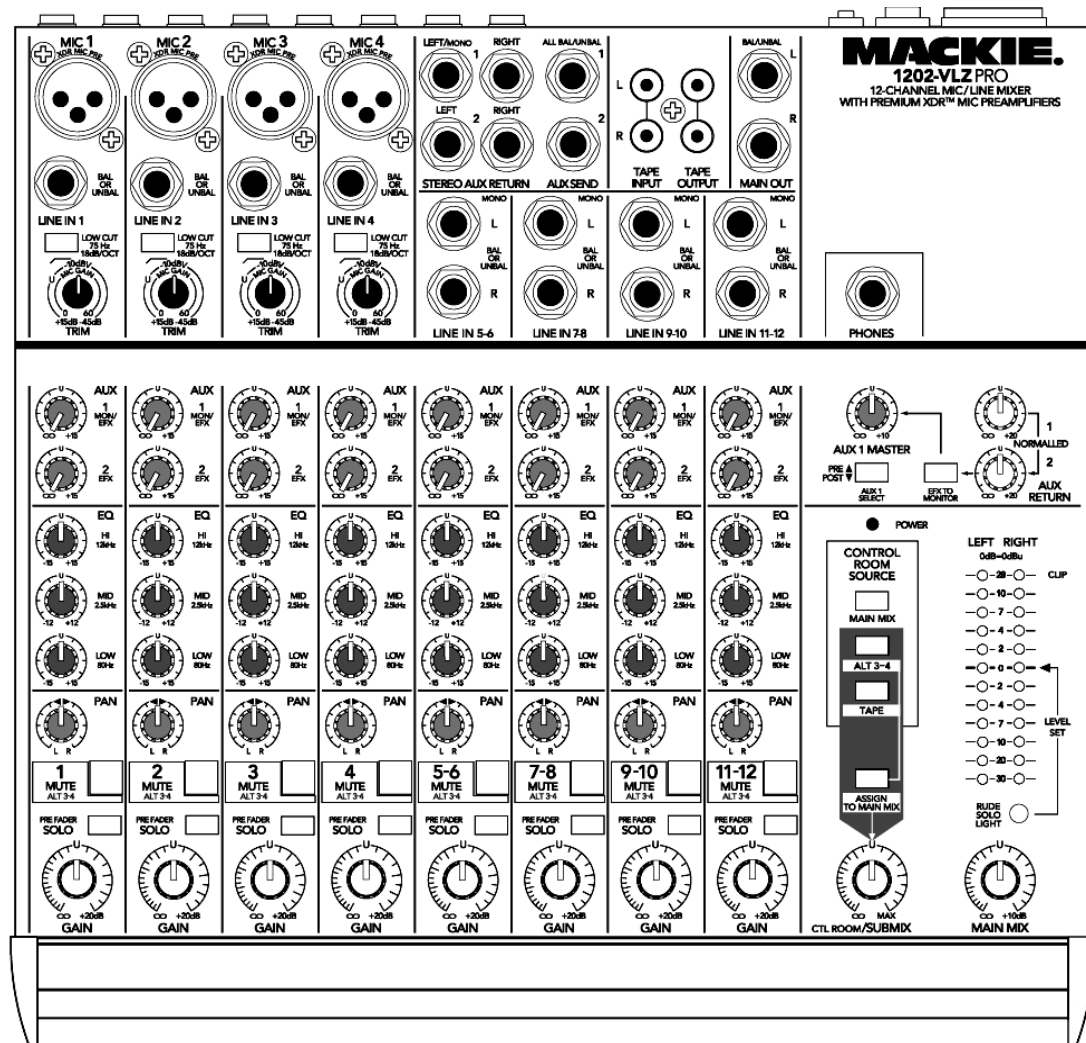

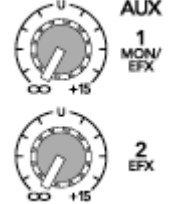
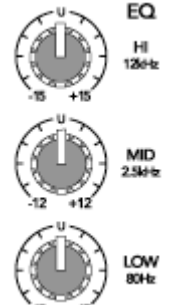
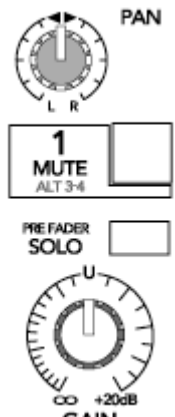


Abbildung 44: typisches Mischpult (Mackie 1202 VLZ pro)

	<p>XLR - Female: Mikrofoneingang mit möglicher Phantomspeisung. Diese wird zB. auf der Rückseite des Mischpultes eingeschaltet.</p> <p>1/4 Zoll Klinke - Female Mono line-in: Für zB. E-Gitarren, Synthesizer. Line-ins werden nicht vorverstärkt.</p> <p>LOW-CUT Filter: Von 75 Hz abwärts reduziert dieser Filter um 18 dB/Ok-tave ("roll off" 75 Hz -18 dB, 37,5 Hz -36 dB etc.). Er dient zur Unterdrückung von Popping, Windgeräuschen und Induktionen, die meist um 50 Hz entstehen.</p> <p>Input Trim oder Input Regler: Regelt die Signalstärke beider Eingänge von -45 dB bis +15 dB. U ("unity gain") bezeichnet den Punkt, an dem weder verstärkt noch gedämpft wird.</p>
	<p>AUX-SEND-1: Pegel des Signals, das an den ersten AUX-Weg gesendet wird. AUX-Wege werden dazu verwendet, Signal-Prozessoren einzuschleifen oder eine Talkback-schaltung einzurichten. Der erste AUX-Weg kann "pre" oder "post" geschaltet werden. "Pre" bedeutet, dass das Signal direkt nach dem EQ abgenommen wird, dh. ohne dass Balance oder Kanal-gain auf das Signal wirkt.</p> <p>AUX-SEND-2: Pegel des zweiten AUX-Weges. Er ist "post", was bedeutet, dass EQ, Balance und Kanal-gain auf das Signal wirken, bevor es in den AUX-Weg geschickt wird.</p>
	<p>Parametrischer Equalizer (EQ): Drei Frequenzbänder (12 kHz, 2,5 kHz und 80 Hz) können um 15 bzw. 12 dB verstärkt oder vermindert werden.</p>
	<p>Pan: Pegel zwischen links und rechts.</p> <p>Mute Schalter: Schaltet den Kanal stumm.</p> <p>Pre fader Solo: Leitet das Signal direkt nach dem EQ auf den Master-Out. Damit kann der Eingangs-Pegel eingestellt werden (alle EQ Regler auf 0 stellen).</p> <p>Kanalgain: Stellt die Lautstärke des Kanals im Verhältnis zu den Lautstärken der anderen Kanäle ein.</p>

2.5.1 EXKURS: EINRICHTEN EINER TALKBACKSCHALTUNG

Eine **Talkbackschaltung** ist notwendig, wenn der Kontrollraum vom Studio getrennt ist. Sie ermöglicht dem **Aufnahmeleiter mit der Sprecherin zu sprechen** und Anweisungen zu geben. Zuerst muss ein Mikrofon im Kontrollraum platziert werden, das **aber in der Aufnahme nicht gehört werden soll**, sondern nur der Kommunikation mit den Sprecherinnen dient. Dazu wird es an einen Kanal am Mischpult angeschlossen und der Eingang ausgesteuert. Damit das Mikrofon im Kontrollraum im Mastermix nicht gehört wird, wird der AUX-SEND-1 auf "pre" geschaltet und die Kanalgain abgedreht. Dadurch wird das Signal direkt auf den AUX-SEND-1 geleitet, ohne dass es Eingang in den Mastermix findet.

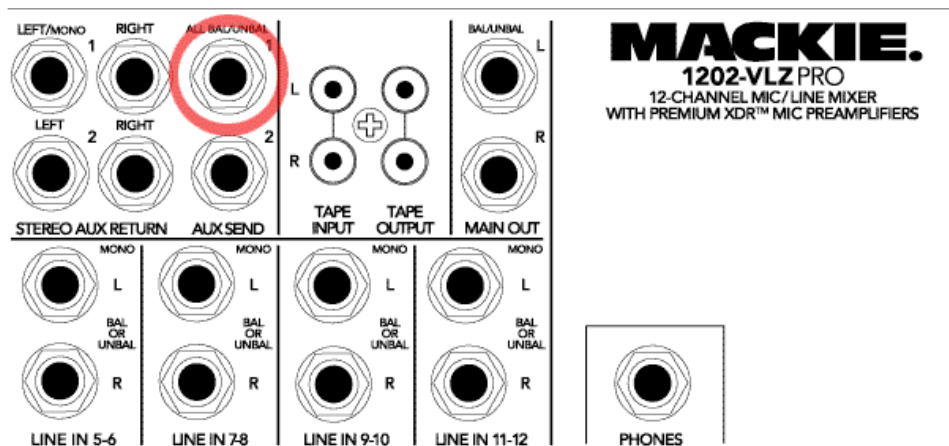
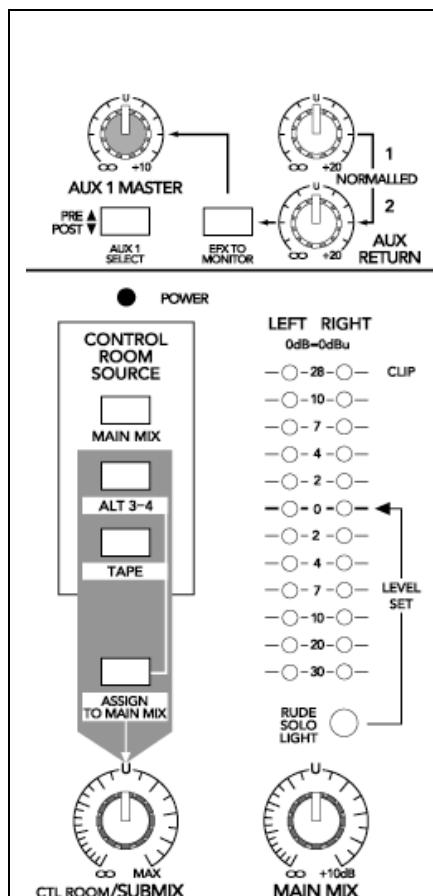


Abbildung 45: AUX-Sends

An den AUX-SEND-1 schließt man dann einen Kopfhörerverstärker oder einen beliebigen anderen Verstärker, an den dann der Kopfhörer der Sprecherin angeschlossen werden kann. Die Lautstärke des Mikrofons im Kontrollraum kann über den AUX-SEND-1 Regler eingestellt werden. Außerdem kann man das Signal des aufzunehmenden Mikrofons dazumischen, damit die Sprecherin sich während der Aufnahme besser hört. Die Signalstärke des AUX-SEND-1 lässt sich über den AUX-1-MASTER einstellen. Damit haben wir einen Submix erstellt, einen eigenen Mix, der dieselben Signale wie der eigentliche Mix beinhaltet, dessen Lautstärkenverhältnisse jedoch anders sind und zusätzliche Signale enthält. Im konkreten Fall und mit dem vorgestellten Mischpult ist das nur in Mono realisierbar, andere, größere Mischpulte erlauben auch Submixe in Stereo, die auch zu anderen Zwecken als einer Talkbackschaltung verwendet werden können.

2.5.2 EXKURS: EINSCHLEIFEN VON SIGNAL-PROZESSOREN

Analog zu einem Submix für eine Talkbackschaltung funktioniert das Einschleifen von Signal-Prozessoren wie Kompressor, Hall etc. Der Unterschied besteht darin, dass das veränderte Signal wieder zurück in das Mischpult und in den Mastermix geleitet wird. Das betreffende Signal wird wiederum am Eingang gepegelt und der Mute-Schalter gedrückt. Dadurch gelangt das Signal nicht direkt in den Mastermix, sondern nur durch den Signal-Prozessor. Der AUX-SEND-2 wird mit dem jeweiligen Gerät verbunden und das Signal über den AUX-SEND-2 gepegelt. Der Rücklauf des Signals in das Mischpult kann auf zwei Arten geschehen, die im folgenden dargestellt sind:



AUX>Returns sind meist in Stereo ausgeführt, manchmal ist auch der AUX-Return-1 nur Mono, da der erste AUX-Weg meist für Talkbackschaltungen verwendet wird und daher kein Return notwendig ist. Im konkreten Fall wird das Signal stereo in AUX-Return-2 rückgeführt und mit dem AUX-Return-2 Regler (links) gepegelt. Das Signal liegt dann direkt am Mastermix und kann aufgenommen werden.

Soll dieses Signal einer Talkbackschaltung zur Verfügung stehen, drückt man den Schalter EFX-TO-MONITOR (links). Das Signal wird dann zusätzlich in den AUX-SEND-1 gesendet. Letztere Funktion findet sich nicht auf allen Mischpulten. Der zweite Weg ist der über einen Stereokanal.

Die meisten Mischpulte verfügen über 2-4 Stereokanäle. Auf diese Art und Weise kann das Signal zusätzlich durch den EQ und die Balance verändert werden. Außerdem kann es auf diesem Weg auch dann einer Talkbackschaltung zur Verfügung gestellt werden, wenn der EFX-TO-MONITOR Schalter fehlt. Das Signal wird nun vom Signal-Prozessor in einen Stereokanal geleitet und am Eingang gepegelt. Dann wird bei Bedarf der AUX-SEND-1 zur Talkbackschaltung eingestellt und der EQ, Balance und Gain eingestellt.

2.6 PROCESSING DER SIGNALKETTE MIKROFON - MISCHPULT - SOUNDKARTE

Zuerst wird der Eingangspegel am Mischpult eingestellt. Dazu stellt man alle parametrischen Equalizer auf 0 dB, die Lautstärke des Kanals auf 0 dB, die Balance auf die Mitte und versichert sich, dass alle anderen Kanäle abgedreht sind oder der Mikrofonkanal auf solo geschaltet ist. Dann lässt man den Sprecher sprechen und stellt den Input-Regler (oder Trim) so ein, dass das **Peak Meter durchschnittlich -3 dB** anzeigt. Dadurch, dass alle dem Input folgenden Regler neutralisiert wurden, liegt das Eingangssignal am Peak Meter an.

Danach wird der Klang am Mischpult eingestellt. Dazu werden Equalizer, Balance, Effektschleifen etc. eingestellt und danach das **Master Gain oder Master Mix auf 0 dB** gepegelt.

Zuletzt wird die **Eingangslautstärke** am Audiointerface eingestellt.

Mit Hilfe des Aufnahme-Mixers und des **Peak Meters** steuert man nun so aus, dass der Aufnahmepegel im Mittel zwischen -10 und -6 dB liegt. Wichtig ist bei Sprachaufnahmen dass der Sprecher beim Pegeln gleich laut spricht wie dann bei der Aufnahme. Dies erfordert einige Routine und am Beginn zumeist mehrere Anläufe.

2.6.1 AUDIOPROCESSING

Equalizer, Kompressor und Rauschunterdrückung können sowohl auf das analoge Signal angewendet werden als auch als Software auf das digitale Signal.

2.6.1.1 EQUALIZER

Equalizer verändern den **Frequenzgang** einer Aufnahme. Mit einem EQ lässt sich eine Aufnahme lebendiger machen, indem man das hohe Frequenzspektrum anhebt, oder wärmer, indem man die unteren Frequenzen verstärkt. Ferner eignen sich EQs in begrenztem Umfang, um störende Geräusche zu unterdrücken oder Popping zu filtern.

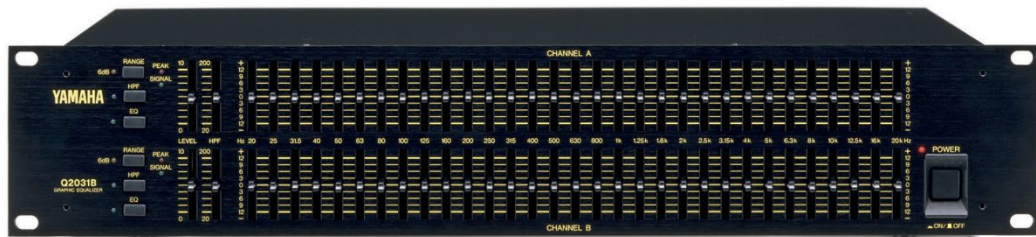


Abbildung 46: Hardware Equalizer (grafisch)

Das Frequenzspektrum

Das menschliche Ohr kann prinzipiell Frequenzen von 20 Hz bis 20.000 Hz wahrnehmen. Das entspricht 10 Oktaven (20-40, 40-80, 80-160, 160-320, 320-640, 640-1.280, 1.280-2.560, 2.560-5.120, 5.120-10.240, 10.240-20.480 Hz).

Diese werden in **Bassfrequenzen** (20 - 250 Hz), **tiefe Mitten** (250 - 2.000 Hz), **hohe Mitten** (2 - 4 kHz) und **Höhen** (4 kHz und darüber) eingeteilt.

An dieser Einteilung lässt sich bereits erkennen, dass nicht alle Frequenzen für die menschliche Wahrnehmung gleich wichtig sind. Im Bereich der Sprache ist die Wahrnehmung am detailliertesten und dieser Frequenzbereich ist auch der, den wir mit dem EQ bearbeiten wollen.

Frequenzen	Inhalte
20 - 60 Hz 2 1/2 Okt.	extreme Bässe: PC-Speaker und die meisten Stereoanlagen sind nicht in der Lage sie wiederzugeben; führen oft zu schmutzigem Klang und auch zu Verzerrung; in vielen Fällen empfiehlt es sich sie wegzuschneiden
60 - 250 Hz 2 Okt.	Bässe: sie bilden das untere Ende dessen, was von den meisten Lautsprechern dargestellt und gut gehört werden kann; sie machen den Klang warm und satt; zu wenig von ihnen machen den Klang dünn, zu viel führt zu Popping, Resonanzen und verdeckt alles darüber Liegende;
250 - 2.000 Hz 3 Okt.	tiefe Mitten: Frequenzbereich der Vokale; zu viel von ihnen ist sehr unangenehm und klingt wie durch eine Telefon;
2 - 4 kHz 1 Okt.	hohe Mitten: Frequenzbereich der Konsonanten, die Sprache verständlich machen (~3 kHz); es ist wichtig sie nicht mit Hintergrundmusik und Sonstigem zu verdecken;
4 - 6 kHz 1/1 Okt.	"Presence": verleiht der Aufnahme Präsenz und Nähe, vor allem bei Sprachaufnahmen, ist aber kein Informationsträger;
6 - 20 kHz 1 Okt.	Höhen: zuständig für die Atmosphäre oder Brillanz einer Aufnahme;

Grafische und parametrische EQs

Grafische EQs zerlegen das Frequenzspektrum in Bänder, die sich durch Regler verstärken oder abschwächen lassen. Bedenke, dass das Verstärken von Frequenzen die Gesamtlautstärke erhöht und es so zu Übersteuerungen und Verzerrungen kommen kann. Grafische EQs verfügen über keine Einstellungsmöglichkeit für die Flankensteilheit. Will man einer Aufnahme zB. mehr Präsenz geben, muss man die Regler um 5.6 kHz von Hand zu einem fließenden Frequenzverlauf anheben.

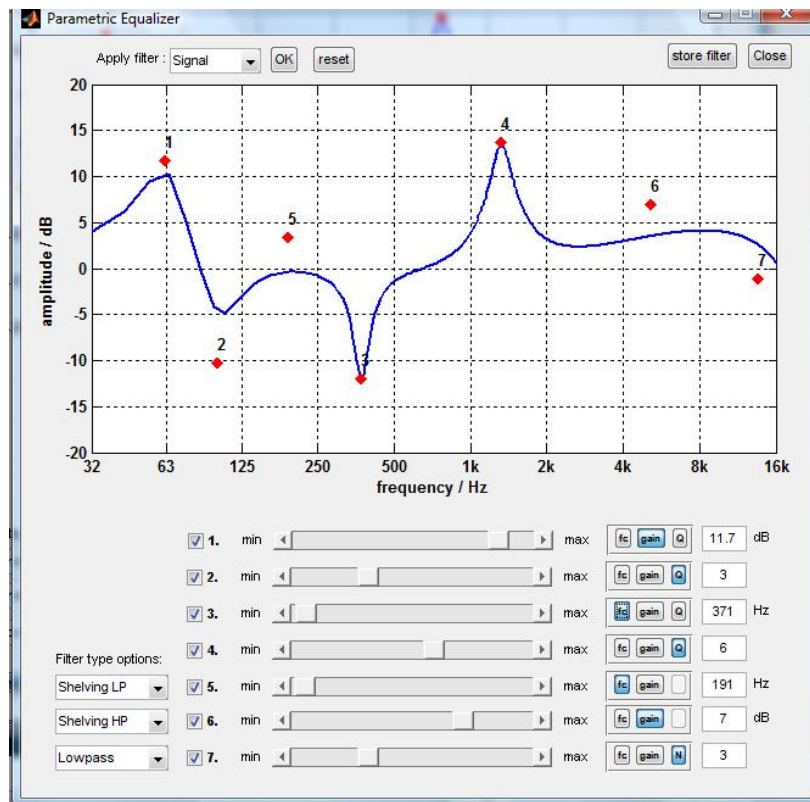


Abbildung 47: Equalizer (parametrisch)

Bei **parametrischen** EQs lässt sich die Frequenz, die Verstärkung und die Flankensteilheit einstellen. Dadurch kann eine Frequenz bearbeitet werden, ohne dass die daneben liegenden beeinflusst werden. Die einstellbare Flankensteilheit ist besonders hilfreich, wenn Geräusche gezielt gedämpft werden sollen.

Einsatz von EQs

Tendenziell sollte der EQ sachte gebraucht werden, vor allem beim Verstärken von Frequenzen. Anheben über +6 dB führt in den seltensten Fällen zu einer Qualitätsverbesserung, Senken jedoch durchaus. Generell gilt auch, dass beim Verstärken eine breite Flankensteilheit eingesetzt werden sollte und beim Dämpfen eine enge. Soll jedoch ein bestimmtes Störgeräusch abgesenkt werden, ist der parametrische das geeignetere Werkzeug

gewünschter Effekt grafischer EQ	dB	Frequenzen Hz
Bässe anheben bei Musik	+3	60
	+6	120
	+1,5	250
Bässe anheben bei männlichem Sprecher	+3	100-120
Bässe anheben bei weiblicher Sprecherin	+3	200-250
Stimme anheben	+1,5	1000
	+6	2000-2500
	+3	4000
	+1,5	8000
Raum in Musik für die Sprache schaffen	-1,5	1000
	-6	2000-2500
	-3	4000
	-1,5	8000
Klang aufhellen	+1,5	4000
	+3	8000 und 16000
Präsenz hinzufügen	+3	2000
	+6	4000
	+1,5	8000

gewünschter Effekt param. EQ	dB	Hz	Q
Bässe anheben bei Musik	+6	120	1,5
Bässe anheben bei männlichem Sprecher	+3	100	1
Bässe anheben bei weiblicher Sprecherin	+3	200	1
Stimme anheben	+6	2500	2
Raum in Musik für die Sprache schaffen	-6	2500	2
Präsenz hinzufügen	+3	5000	2
50 Hz Brummen entfernen	-6	50	min
Popp entfernen	-6	80	min
schmutziges Audio säubern	-3	250	0,7

2.6.2 NOISE REDUCTION

Zur Verringerung von Rauschen wird eine Kombination verschiedener Prozesse auf das Signal angewandt, einerseits solche, die auf Frequenzen einwirken, andererseits solche, die die Dynamik verändern.

2.6.2.1 HINTERGRUNDRAUSCHEN

Bei der am häufigsten angewandten Methode erstellt man ein Frequenzprofil des Rauschens an einer Stelle, an der nur Rauschen zu hören ist, und **subtrahiert dann dieses Frequenzprofil vom Signal**. Theoretisch bleibt dann das reine Signal übrig. Diese Methode funktioniert am besten, wenn das Rauschen konsistent und gleichmäßig in Lautstärke und Frequenzgang über die ganze Datei ist, wie zB. das Grundrauschen von Verstärkern, Mischpulten oder einer Klimaanlage. Windrauschen oder Hintergrundgeräusche in einem Lokal können dadurch nicht vermindert werden, ohne die Aufnahme erheblich zu beeinträchtigen. Bei starkem Rauschen besteht in jedem Fall die Gefahr, dass **Flangingeffekte** entstehen, da kein Rauschen über die Zeit denselben Frequenzgang beibehält, sondern

ständig moduliert. Bei starkem Rauschen ist es daher besser, nicht 100% des Frequenzprofils zu subtrahieren, sondern bloß 60 bis 70%, um die Flangingeffekte zu minimieren.

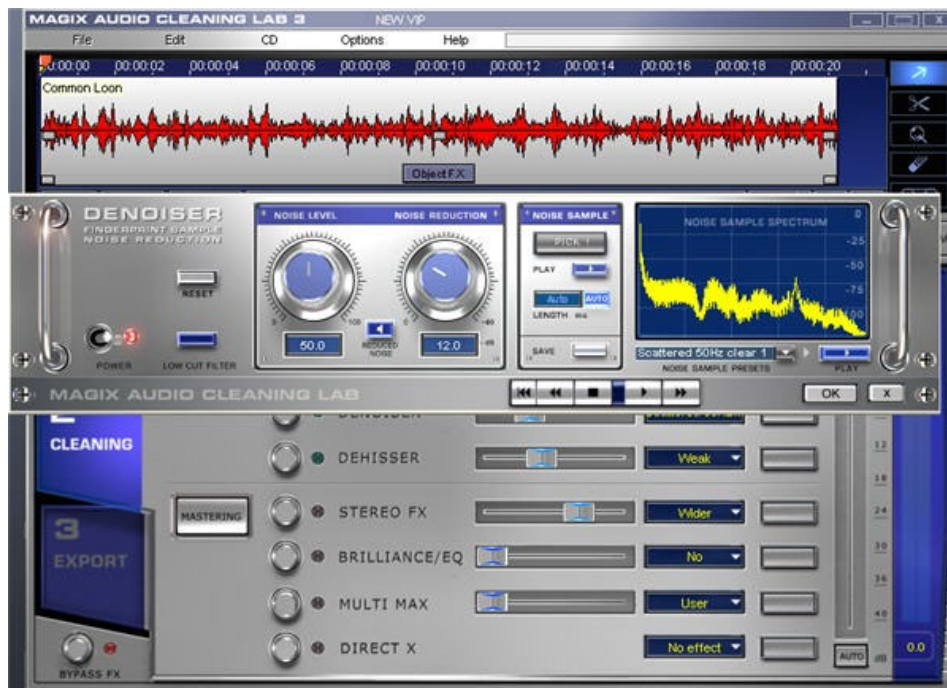


Abbildung 48: Denoiser Audio Studio

Zuerst wählt man eine Stelle der Aufnahme, an der nur Rauschen zu hören ist, und erstellt das Noise-Sample. Für einigermaßen professionelle Aufnahmen sollte eine Dämpfung von 20 dB ausreichen. Wichtig ist es, regelmäßig die Vorschau zu betätigen und zu überprüfen, ob keine Fangingeffekte auftreten.

2.6.2.2 KLICKS UND POPPING

Klicks sind hochfrequente kurze Pegel, die durch Schmatzen der Sprecher und durch elektrostatische Aufladungen entstehen können. Pops entstehen zumeist **bei scharfen Konsonanten wie P, T oder B durch den Luftstrom**, der direkt auf das Mikrofon trifft. Beide sind von Programmen relativ gut zu identifizieren, da sie in bestimmten Frequenzbereichen auftreten, und gut zu entfernen, da sie sehr kurz sind.



Abbildung 49: Magix Dehisser (de esser)

2.6.3 KOMPRESSOR

Ein Kompressor ist das wohl wichtigste Gerät in der Audionachbearbeitung, vor allem, wenn es darum geht, sendefähiges Material zu erstellen. Kompressoren verändern die **Dynamik der Aufnahme** nach vorgegebenen Regeln, **reduzieren den dynamischen Abstand zwischen Spitzenlautstärke und leisen Stellen** und machen dadurch leise Stellen besser verständlich. Als **Noise Gate** eingesetzt schneiden sie alles, was unter einer bestimmten Lautstärke ist, weg und unterdrücken dadurch Hintergrundrauschen.



Abbildung 50: Behringer Kompressor

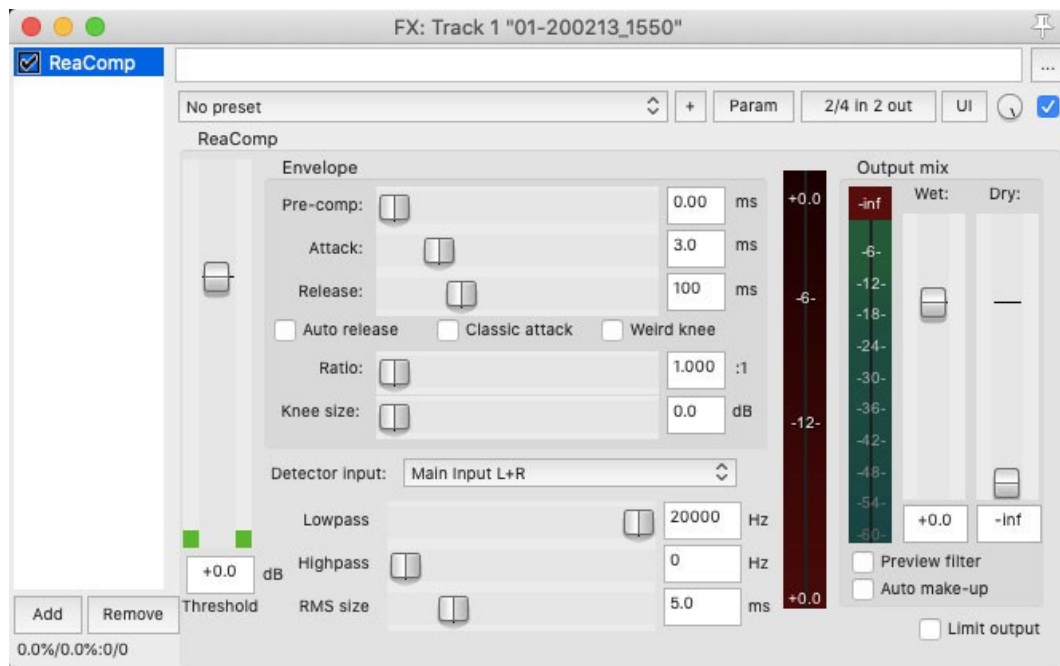


Abbildung 51: Kompressor in Reaper

Kompressoren dämpfen das Signal ab einem einstellbaren Pegel ab. Dieser Pegel wird als **threshold** bezeichnet. Das Ausmaß, in dem sie das Signal dämpfen, ist ebenfalls einstellbar und wird als **ratio** bezeichnet. Eine ratio von 1:1 bedeutet keine Dämpfung, eine ratio von 2:1 bedeutet, dass der Pegel über der threshold um den Faktor 2 gedämpft wird. Höhere Kompressionsratios bedeuten danach stärkere Dämpfung.

Ab einer ratio von 10:1 spricht man von **limiting**, da das Signal über der threshold so gut wie abgeschnitten wird.

Attack und **Release** definieren die Eingreifzeit und die Auslasszeit bei Erreichen oder Unterschreiten des thresholds.

Knee ist der Kurvenverlauf innerhalb der Attackzeit.

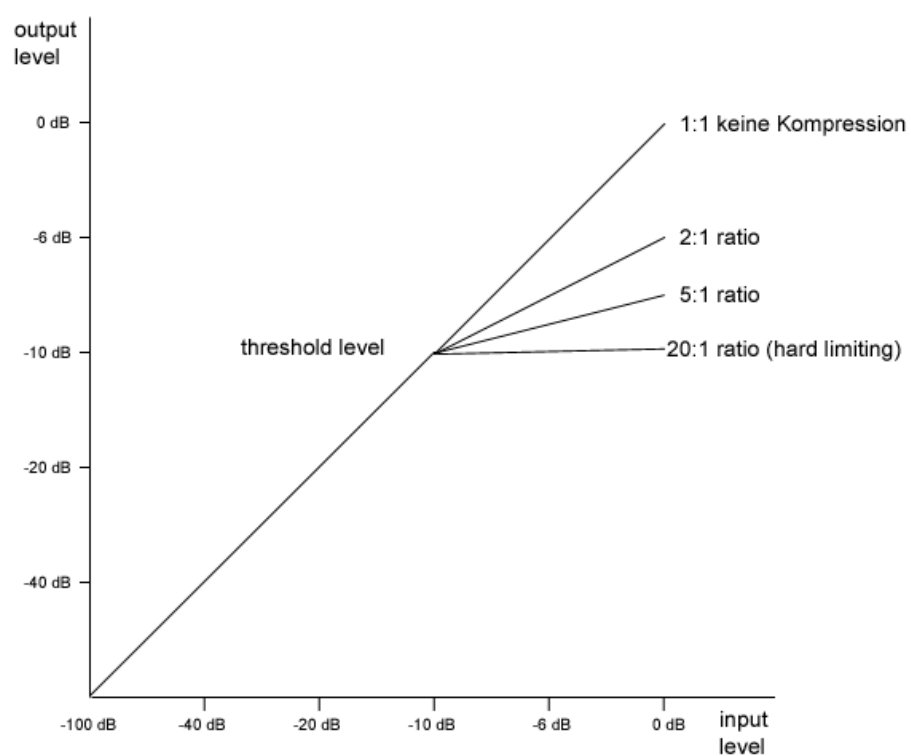
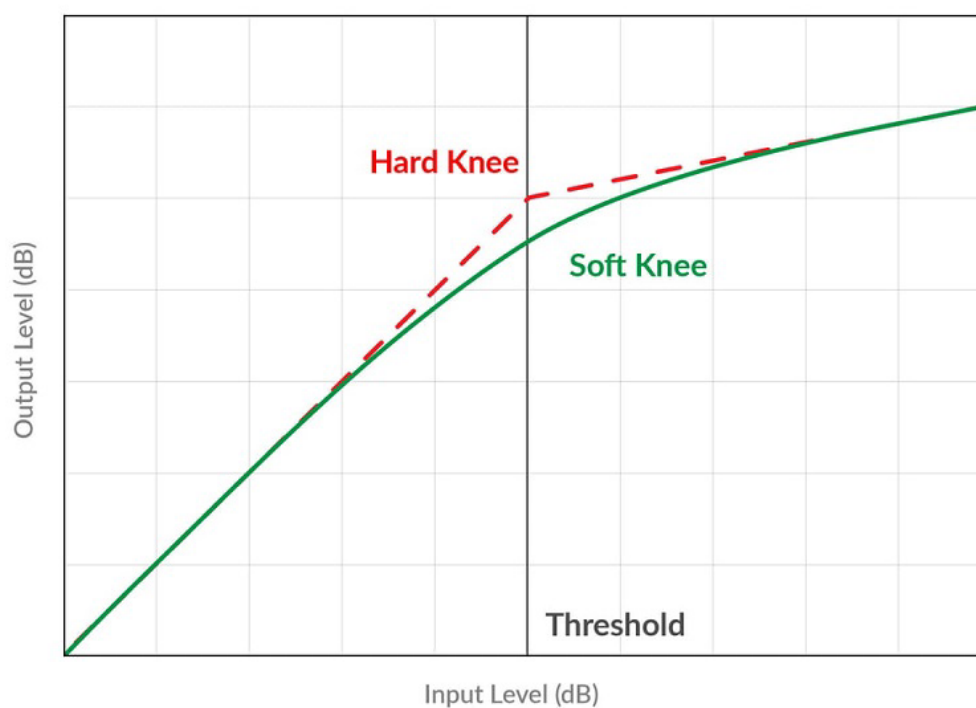


Abbildung 52: Kompressor Ratios

Einstellen der threshold

Eine gut gepegelte Aufnahme sieht in etwa so aus, wie auf dem folgenden Bild. Manche Spitzen erreichen -3 dB, die Mehrzahl -6 und einige nur -10 dB.

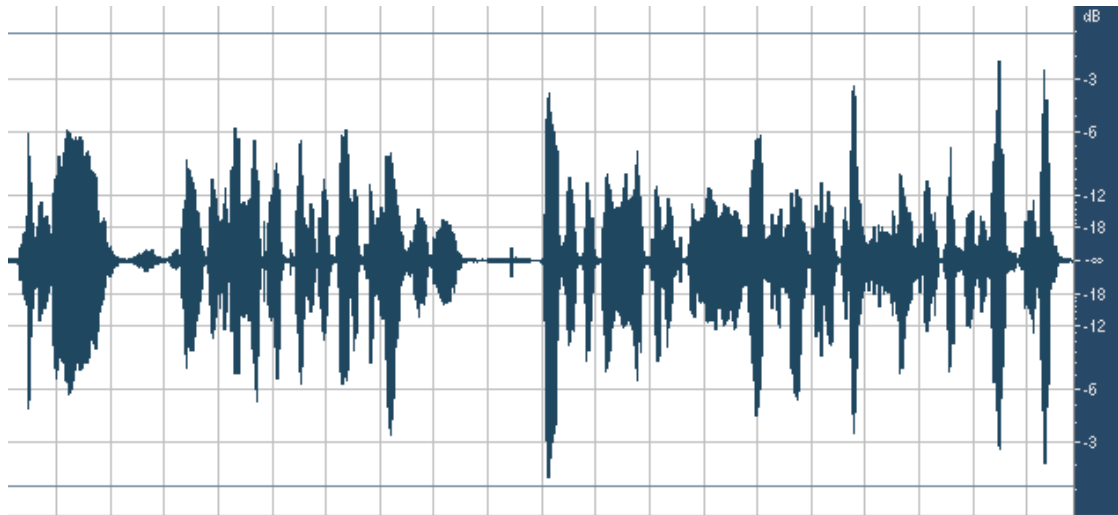


Abbildung 53: Unkomprimierte Aufnahme

Um die Spanne zwischen den Spitzen mit -3 und denen mit -10 dB zu verkleinern, empfiehlt sich ein threshold level von -9 bis -12 dB. Liegen die Mehrzahl der Spitzen um -15 dB sollte ein threshold level von -15 dB verwendet werden. Aufnahmen, bei denen der Normalpegel unter -18 bis -20 dB liegt, sollten wiederholt werden.

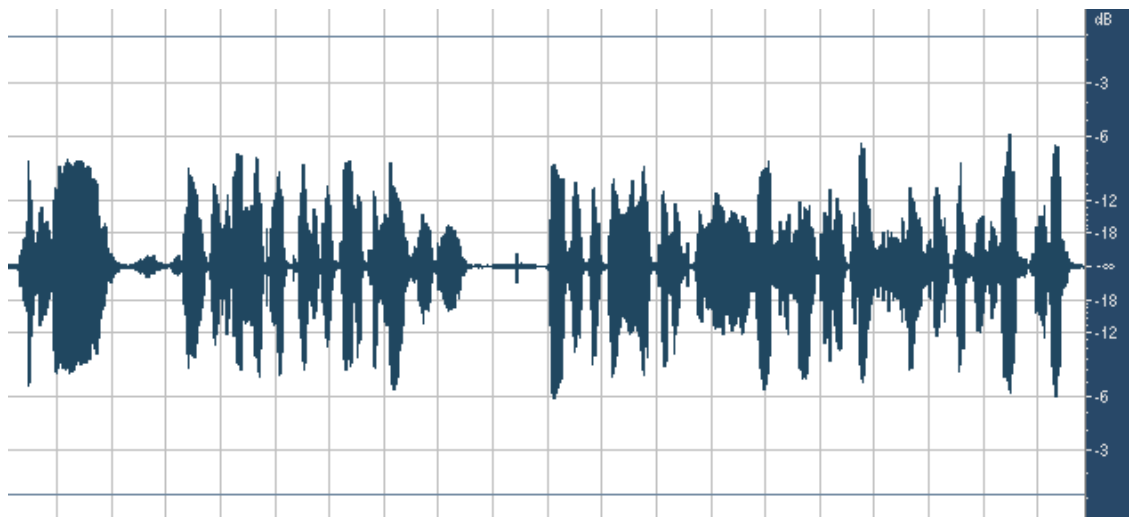
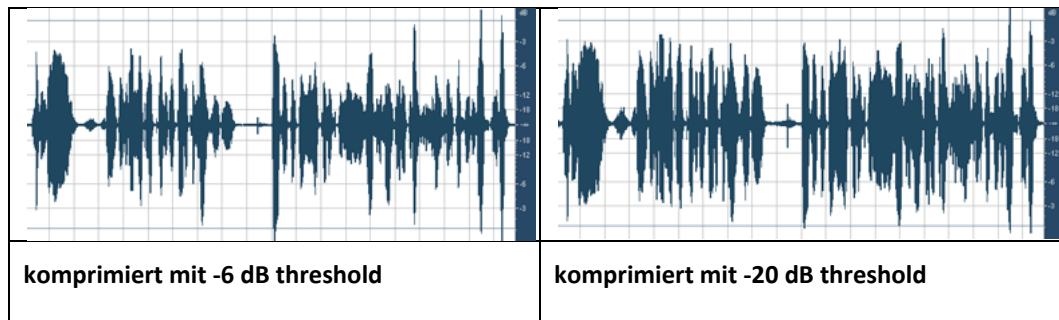


Abbildung 54: Komprimiert mit - 9dB threshold und Ratio 4:1

Das Bild zeigt, dass sich der Abstand zwischen den Spitzen deutlich verringert hat. Vergleicht man beide Dateien mit dem Ohr, klingen sie fast gleich laut, obwohl die Spitzen von -3 auf -6 dB abgesenkt wurden. Das rührt daher, dass das Ohr viel stärker den Normalpegel wahrnimmt als einzelne Spitzen. Verstärkt man nun aber die Datei um 3 dB, sodass die Spitzen wiederum bei -3 dB liegen, klingt die komprimierte Datei nicht nur lauter, sondern auch voller als die Ausgangsaufnahme.



Um die Arbeitsweise eines Kompressors noch einmal zu verdeutlichen, sieht man in obiger Abbildung zwei Versionen der oben verwendeten Datei, einmal mit einem threshold von -6 dB und einmal mit -20 dB komprimiert und dann normalisiert. Die rechte Datei hat eine weitaus geringere dynamische Bandbreite als die linke.

Einstellen der ratio

Die ratio gibt das Verhältnis von Eingangslautstärke zu Ausgangslautstärke an, also wie stark gedämpft wird. Eine ratio von 4:1 bedeutet, dass ein Signal von 4 dB über der threshold auf 1 dB gedämpft wird. Ratios knapp unter und um die 4:1 sind mild und sind kaum wahrzunehmen. Darüber wird die ratio wahrnehmbar, ohne jedoch stark aufzufallen. Im Endeffekt sind wir komprimiertes Audio gewohnt. Jedes Radio- oder Fernsehsignal ist mit um die 6:1 komprimiert, Werbung sogar noch stärker um besonders laut zu stören, daher haben wir bereits eine gewisse Erwartungshaltung an den Ton von Medien.

Eine ratio von über 10:1 wird als limiting bezeichnet und wird zumeist dazu verwendet, das Signal vor Übersteuerung zu schützen. Dazu stellt man die threshold knapp unter 0 (-1 od. -2 dB) und setzt eine ratio von 10-20:1. So kann der Input 0 dB nicht überschreiten und Verzerrungen hervorrufen. Dennoch ist es wichtig sorgfältig zu pegeln, denn hohe ratios sind stark zu hören. Beim Einstellen der ratio ist 4:1 ein guter Ausgangswert.

Sprache ist für Kompression sehr empfänglich, Musik ist deutlich anfälliger. Zum Ersten ist die meiste Musik bereits komprimiert, ein zweiter Kompressionsvorgang wirkt sich daher deutlich stärker aus, außerdem verändert Komprimierung indirekt auch den Frequenzgang des Signals. Hohe Frequenzen kommen am häufigsten in Klängen vor, die starke Pegel von kurzer Dauer haben (Becken, Percussion etc.) und das sind die Signale, die gedämpft werden. Dadurch wird mittelbar der Frequenzgang zugunsten der tieferen Frequenzen geändert. Bei Sprache ist dieser Effekt oft willkommen, er verleiht der Stimme mehr Wärme und Intimität, Musik dagegen klingt nicht unbedingt besser. Es empfiehlt sich daher Stimme und Begleitmusik getrennt zu komprimieren und bei Musik ratios von 3:1 bis maximal 6:1 zu verwenden.

Einstellen von Attack und Release Time

Für die Bearbeitung von Sprachaufnahmen spielen Attack und Release Time keine wesentliche Rolle. Sie werden vor allem bei der Kompression von Schlagzeug dazu verwendet, den Klang der einzelnen Klänge scharf oder weich zu machen.

Die Attack Time legt fest, wie schnell die Dämpfung über der threshold einsetzen soll, die Release Time, wie langsam der Pegel, nachdem er unter die threshold gesunken ist, an das Originalsignal herangeführt wird. Die Attack Time sollte unter 20 Millisekunden liegen. Eine zu lange Attack Time führt dazu, dass die Dämpfung erst mitten in einer Silbe einsetzt oder Verzerrungen entstehen. Die Release Time sollte über 50 Millisekunden liegen, sonst wird die Kompression hörbar.

Output Lautstärke

Alle Hardware-Kompressoren, aber auch Softwarekompressoren verfügen über eine Einstellungsmöglichkeit der Output-Lautstärke. Sie wird dazu verwendet, das insgesamt gedämpfte Signal zu verstärken. Bei Softwarekompressoren ist das nicht wirklich notwendig, da eine Normalisierung des Signals nach der Komprimierung sicherer und einfacher ans Ziel führt, wer aber mit Presets arbeitet, kann sich einen Arbeitsschritt ersparen, wenn er die Output-Lautstärke so einstellt, dass das Signal den vorherigen Pegel wieder erreicht.

2.6.4 NORMALISIERUNG

Unter Normalisierung versteht man eine automatisierte Art der Verstärkung. Der Computer ermittelt den höchsten Pegel der Aufnahme und **verstärkt das Signal um die Differenz zu 0 dB**. Dadurch lässt sich der Pegel maximieren, ohne dass Übersteuerungen auftreten können. Normalerweise wird eine Datei erst am Ende der Bearbeitung normalisiert, da EQ, Noise Reduction und Kompressor auf die Dynamik der Datei einwirken. Bei der Normalisierung lässt sich einstellen, bis zu welchem Maximum verstärkt werden soll. Entweder durch die Eingabe eines dB-Wertes oder eines Prozentsatzes. Eine Normalisierung auf 0 dB oder 100% verstärkt das Signal maximal. Manche Soundkarten verzerren jedoch, wenn das Signal die 0 dB erreicht. Es ist daher besser, auf -0.5 dB oder 95% zu normalisieren, um auf Nummer sicher zu gehen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schall-Reflexion	5
Abbildung 2: Reaverbate in Reaper	6
Abbildung 3: Ungleichmäßiger und gleichmäßiger Nachhall-Verlauf.....	8
Abbildung 4: Raumakustik in mittelgroßen Räumen, Skizze G. Kubanek	10
Abbildung 5: Kuppeldach der Royal Albert Hall, Skizze: Spektrum der Wissenschaft.....	11
Abbildung 6: Filtercharakteristika	13
Abbildung 7: Phasen einer ADSR-Hüllkurve.....	14
Abbildung 8: Sinus-Schwingung.....	15
Abbildung 9: Sägezahn-Schwingung	15
Abbildung 10: Rechteck-Schwingung.....	15
Abbildung 11: Dreieck-Schwingung	16
Abbildung 12: Kawai additiver Synthesizer.....	16
Abbildung 13: Additive Synthese	17
Abbildung 14: Simple Synthese (subtraktiv)	17
Abbildung 15: Blockdiagramm eines digitalen Synthesizers.....	18
Abbildung 16: 2 Schwingungen in recht ungünstiger Phase ;)	19
Abbildung 17: Schallpegel.....	20
Abbildung 18: Bewertungsfilter A, B, C, D für Schalldruckpegel.....	22
Abbildung 19: Analoge Pegelanzeige bei analogen Systemen, wie Mischpulten.....	23
Abbildung 20: Vergleich von Schallpegeln	23

Abbildung 21: Clipping bei digitaler Aufnahme (links normaler Pegel, Mitte Clipping, rechts geclipptes Signal auf Normalpegel – Clipping bleibt erhalten). X-Achse: t	25
Abbildung 22: Clipping-Anzeige (OVER) in Channel 1 (LEAD)	26
Abbildung 23: RMS, PEAK (PK) und PEAK-PEAK (PP)	27
Abbildung 24: Konverter für digitale Audiodaten.....	30
Abbildung 25: TOSLINK Stecker/Kabel (optische Übertragung)	30
Abbildung 26: ADAT Schnittstellenkarte für den Anschluss von Mischpulten	31
Abbildung 27: Im MADI-Standard sind BNC und SC Lichtwellenleiter definiert.....	32
Abbildung 28: DC-Offset	32
Abbildung 29: Beispiel des Frequenzgangs des SM58-Mikrofons	33
Abbildung 30: Symmetrische Übertragung.....	35
Abbildung 31: Kugelcharakteristik. Anwendung: Sprachanwendungen, Anstecker, Headset... Anfällig für Rückkopplungen.....	39
Abbildung 32: Nierencharakteristik. Anwendung: Live, Bühne. Anfällig für Nahbesprechungseffekt (Tiefen werden angehoben, je näher am Mikrofon)	39
Abbildung 33: Supernieren-Charakteristik. Anwendung: Aufnahme einzelner Quellen in lauter Umgebung aufgrund stärkerer Richtwirkung als Niere.	40
Abbildung 34: Acht-Charakteristik. Anwendung bei Schlagzeug als Overhead oder Stereo-Mikrofonie.....	40
Abbildung 35: Richtcharakteristik über den Frequenzbereich.	41
Abbildung 36: Richtwirkungen in 2dimensionaler Darstellung	41
Abbildung 37: Polardiagramm. Beachte, wie das omnidirektionale Mikrofon bei höheren Frequenzen eine Richtwirkung bekommt	42

Abbildung 38: Frequenzgang AKG C480	43
Abbildung 39: Frequenzgang AKG D660	43
Abbildung 40: Empfindlichkeit	44
Abbildung 41: XY-Aufbau auf Schiene mit 2 Nierenmikrofonen.....	48
Abbildung 42: AB-Aufbau mit Kugelmikrofonen und einer Stereobasis von 20 - 50 cm. Am besten für Athmo, wenn die Mikros mitten im Geschehen stehen.....	49
Abbildung 43: ORTF-Aufbau mit 2 Nierenmikros	49
Abbildung 44: typisches Mischpult (Mackie 1202 VLZ pro).....	50
Abbildung 45: AUX-Sends	52
Abbildung 46: Hardware Equalizer (grafisch)	55
Abbildung 47: Equalizer (parametrisch)	57
Abbildung 48: Denoiser Audio Studio	60
Abbildung 49: Magix Dehisser (de esser).....	61
Abbildung 50: Behringer Kompressor	61
Abbildung 51: Kompressor in Reaper	62
Abbildung 52: Kompressor Ratios.....	63
Abbildung 53: Unkomprimierte Aufnahme	64
Abbildung 54: Komprimiert mit - 9dB threshold und Ratio 4:1	64

Quellen:

Shure, Sengpiel Audio, Vorlesung Hannes Raffeseder, Tontechnik Baur, Akustik G. Kubanek, DPA