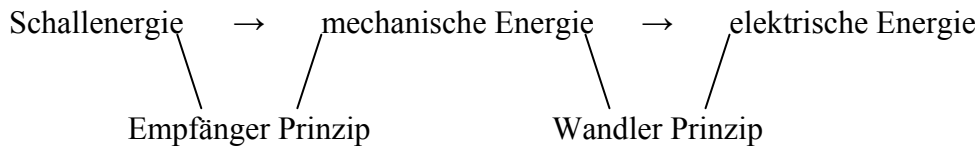


7 Mikrofonie

Mikrofone sind Schallwandler. Ein Wandler wandelt von einer Energieform in eine andere. Es wird unter reversiblen und irreversiblen Wandlern unterschieden. Reversible Wandler lassen sich in beide Wirkungsrichtungen betreiben, irreversible nur in eine Richtung.



7.1 Wandlerprinzipien

7.1.1 Kohlemikrofon

Ein Kohlemikrofon ist mit einem Kohlekörper gefüllt. Der Schalldruck der auf die Membran einwirkt führt zu Dichteänderungen des Kohlekörpers. Damit ändert sich auch der elektrische Widerstand der Kohle. Wird nun eine Gleichspannung angelegt fällt über dem Ausgangswiderstand eine Spannung ab die proportional zu den Luftschwingungen ist. Es handelt sich hierbei um einen irreversiblen Wandler.

$$\boxed{\text{Empfängergesetz: } U = R \cdot I}$$

Klirrfaktor: $\approx 20\%$

7.1.2 Elektromagnetischer Wandler

Umfasst eine elektrische Leiterschleife ein sich ändernde Magnetfeld so wird in diese Leiterschleife eine elektrische Wechselspannung induziert.

Verwendet wird dieses Prinzip hauptsächlich bei E-Gitarrenpickups. Die Gitarrensaite stellt dabei den Anker dar.

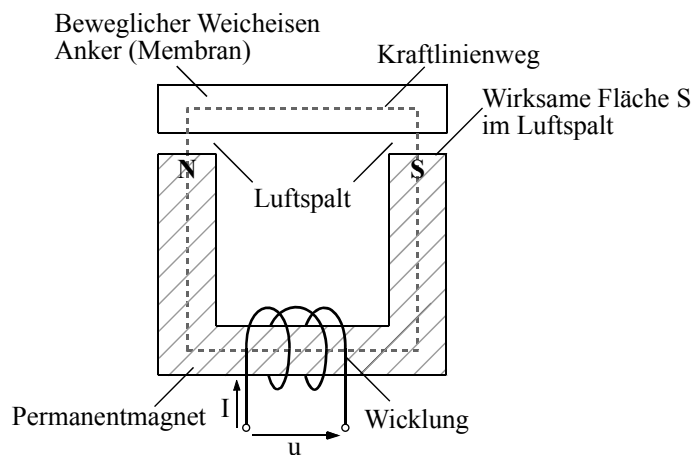
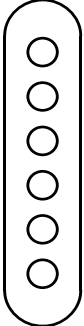
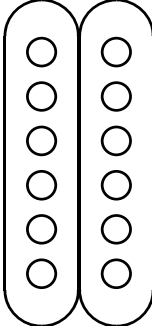


Abb. 1

- Permanentmagnet mit elektrischer Leiterwicklung
 - Anker
 - Luftspalt
- Änderung der magnetischen Eigenschaften (Induktion)

Single Coil	Humbucker
 <p>Abb. 2</p>	 <p>Abb. 3</p>
<p>Klingt brilliant Obertonreich</p>	<p>Verfärbt den Klang Obertonärmer „Brummunterdrücker“</p>

7.1.3 Elektrodynamischer Wandler

Tauchspulenmikrofon

- Permanentmagnet als Topfmagnet
- Membran, verbunden mit einer Schwingspule

Bewegt sich ein elektrischer Leiter im permanenten Magnetfeld, so wird in diesen eine Wechselspannung induziert.

$$\boxed{\text{Empfängergesetz: } U = B \cdot l \cdot v}$$

u = Ausgangswechselspannung in V

B = magnetische Flussdichte in Wb/m²

l = Länge des elektrischer Leiters in m

v = Geschwindigkeit des elektrischen Leiters in m/s

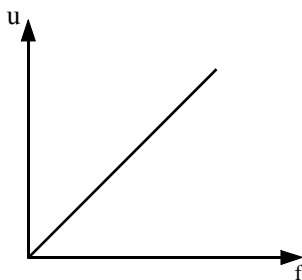


Abb. 4

Da die Ausgangsspannung von der Geschwindigkeit v abhängig ist, geht aus dem Empfängergesetz des elektrodynamischen Wandlers hervor, dass die Ausgangsspannung linear mit der Frequenz ansteigt. (→ Schnellempfänger)

Um einen brauchbaren Frequenzgang zu erzeugen wird bei einem Tauchspulenwandler eine Frequenzgangkorrektur vorgenommen. Die Resonanzfrequenz liegt meistens in der Mitte des Übertragungsbereichs. Somit muss in der Mitte des Übertragungsbereichs eine Dämpfung vorgenommen werden und bei tiefen und hohen Frequenzen eine Anhebung. Die Anhebung bei tiefen Frequenzen wird durch die Kombination mit einem Druckgradientenempfänger

erreicht der zu einem Nahbesprechungseffekt führt. Die Dämpfung in der Mitte des Übertragungsbereichs wird durch eine Filzscheibe erzeugt.

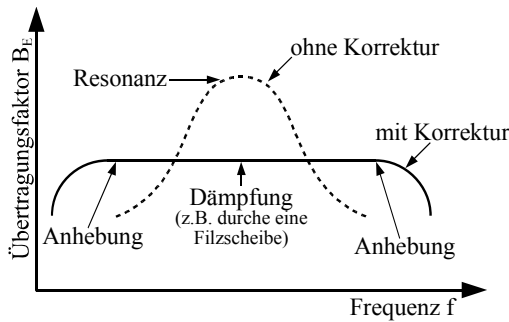


Abb. 5

Die Resonanzfrequenz ist abhängig von der Masse der Membran und der Federsteife. Umso höher die Masse, desto tiefer liegt die Resonanzfrequenz; umso höher die Federsteife, desto höher liegt die Resonanzfrequenz.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Keine Spannungsversorgung • Relativ robust • Hoher Grenzschalldruck • Relativ preiswert • Die Tauchspulenimpedanz liegt bei ca. 200Ω, d.h. es ist keine Impedanzwandlung nötig 	<ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Impulstreue • Prinzipbedingt kein linearer Frequenzgang • Relativ geringe Ausgangsspannung • Anfällig für Störeinstreuungen → Kompensationsspule notwendig

Bändchenmikrofon

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Gutes Impulsverhalten • Tief abgestimmt 	<ul style="list-style-type: none"> • Zerstörungsanfällig • Anfällig gegen Griffgeräusche • Geringer Grenzschalldruck • Sehr geringe Ausgangsspannung • Wandlerinnenimpedanz liegt bei ca. 0,1Ω Ausgangsübertrager notwendig

7.1.4 Piezoelektrischer Wandler

Der Piezoelektrische Wandler basiert auf dem piezoelektrischen Effekt („druckelektrischer Effekt“). Danach entsteht durch Druck auf einen Piezokristall eine dem Druck proportionale Spannung. Ein Piezoelektrischer Wandler wird fast immer als Körperschallwandler (Gitarre, Violine) verwendet. Die Wandlerinnenimpedanz ist relativ hoch (z.B. $X_{c(30Hz)} = 5,3M\Omega$), deshalb ist eine elektronische Impedanzwandlung notwendig.

7.1.5 Elektrostatischer Wandler

Kondensatormikrofon in NF-Schaltungstechnik

- Kapselkondensator (Membran & feste Gegenelektrode)
- Gleichspannungsversorgung
- Ladewiderstand R

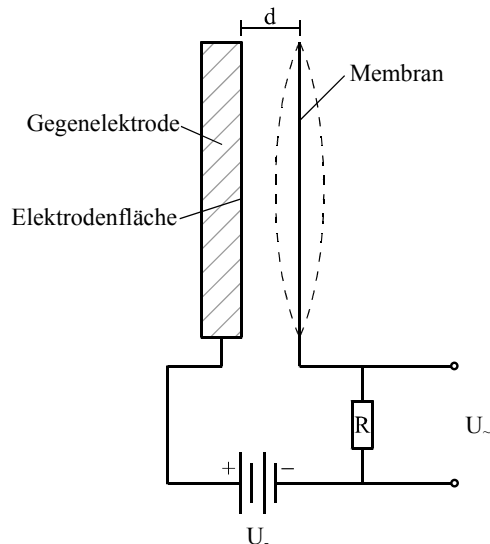


Abb. 6

$$\text{Empfängergesetz: } U = \frac{Q}{C}$$

Es handelt sich hierbei um ein Frequenzunabhängiges Wandlerprinzip.

Der Kapselkondensator und der Ladewiderstand bilden zusammen ein Hochpassfilter als CR-Glied.

Beispiel:

$$C = 100 \text{ pF}$$

$$f_g = 20 \text{ Hz}$$

$$R = \frac{1}{2\pi f_g C} = \frac{1}{2\pi \cdot 20 \text{ Hz} \cdot 100 \text{ pF}} \approx 80 \text{ M}\Omega$$

Das Beispiel zeigt, dass die Wandlerinnenimpedanz eines Kapselkondensators sehr hoch ist. Da an eine so Hochohmige Quelle keine längere elektrische Leitung angeschlossen werden kann, ist eine Impedanzwandlung direkt nach dem Wandler notwendig. Diese Impedanzwandlung wird von dem Mikrofonverstärker übernommen. Oft ist noch ein PAD-Schalter (z.B. -10dB) vor dem Mikrofonverstärker um diesen vor Übersteuerung zu schützen. Gelegentlich ist auch noch ein Trittschallfilter integriert.

Kondensatormikrofon in HF-Schaltung

- Kapselkondensator im Schwingkreis
- HF-Oszillator (z.B. 8MHz)
- Modulation – Demodulation

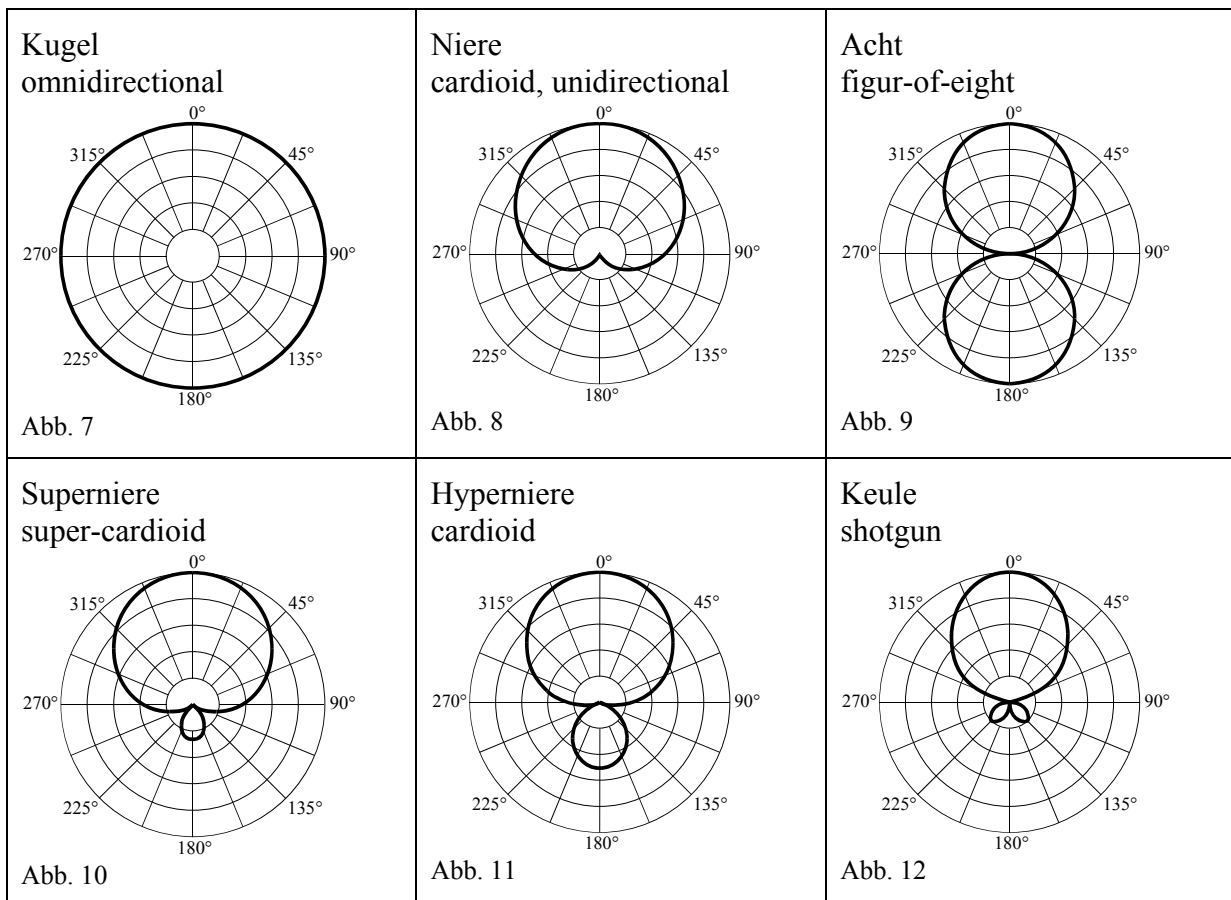
Elektretmikrofon

Bei einem Elektretmikrofon ist die Ladung des Kondensators in einer Kunststoffolie (z.B. Teflon) „eingefroren“. Eine Spannungsversorgung ist lediglich für den Mikrofonverstärker notwendig.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Sehr gutes Impulsverhalten • Relativ hohe Ausgangsspannung • Prinzipbedingt linearer Frequenzgang • Hoch abgestimmt • Flexibel umschaltbare Richtcharakteristik 	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichspannungsversorgung notwendig • Anfällig, besonders gegen Feuchtigkeit • Relativ geringer Grenzschalldruckpegel • Sehr hohe Wandlerinnenimpedanz

7.2 Empfängerprinzipien

Das Empfängerprinzip bestimmt die Richtcharakteristik! Die Darstellung erfolgt in einem Richtdiagramm (engl.: polar pattern). Diese zeigt die Empfindlichkeit des Mikrofons in Abhängigkeit des Besprechungswinkels. Der Bezugswinkel 0° (engl.: on axis) ist senkrecht auf die Membranvorderseite. Die Richtcharakteristik ist Frequenzabhängig. Je größer die Richtwirkung, desto größer sind die Frequenzveränderungen. Außerdem ist die Richtcharakteristik immer symmetrisch.



7.2.1 Druckempfänger

Bei einem Druckempfänger handelt es sich um eine akustisch geschlossene Kapsel. Es ist lediglich eine Druckausgleichsöffnung vorhanden, die den atmosphärischen Druck innerhalb und außerhalb der Kapsel gleich hält. Der Druckempfänger reagiert somit auf den absoluten Schalldruck.

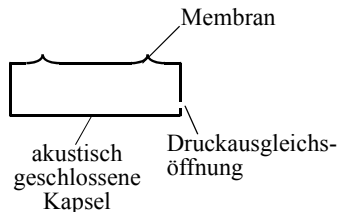


Abb. 13

Trifft der Schall in der 0° Einsprechrichtung auf die Membran kommt es zur maximalen Auslenkung. Bei Besprechung von 180° werden tiefe Frequenzen um das Mikrofon herum gebeugt und gelangen somit ungehindert an die Membran. Wird die Wellenlänge kleiner als der Kapseldurchmesser, werden die Schallwellen vom Mikrofon reflektiert. Es kommt somit zu einer Abschattung vor der Membran. D.h. hohe Frequenzen, die von hinten auf das Mikrofon treffen, werden gedämpft.

Richtcharakteristik: Kugel

- Am stärksten Frequenzabhängig
- Größter Diffus-schallanteil
- Idealer Tiefbassempfänger (geht theoretisch bis 0Hz)
- Kein Nahbesprechungseffekt

Verwendung findet der Druckempfänger meistens nur in gut klingenden Räumen. Außerdem ist für bestimmte Stereomikrofonverfahren eine Kugelrichtcharakteristik notwendig (A/B-Verfahren, Trennkörperverfahren).

7.2.2 Druckgradientenempfänger

Bei einem Druckgradientenempfänger ist die Membran für den Schall von allen Seiten zugänglich. Die Membranauslenkung wird durch den Druckunterschied (Druckgradient) zwischen Vorder- und Rückseite der Membran herbeigeführt.



Abb. 14

Einfallender Schall aus 0° führt zu maximaler Auslenkung. Ebenso Schall aus 180° . Dieser wird jedoch um 180° phasenverschoben aufgenommen. Eine Beschallung aus 90° führt zu keiner Auslenkung, da dann der Druck vor und hinter der Membran gleich ist.

Richtcharakteristik: Acht

- Am wenigsten Frequenzabhängig
- Schall von hinten ist gegenüber Schall von vorne um 180° in der Phase gedreht

Die Achterrichtcharakteristik wird eher selten verwendet, da sie meist durch ihre hohe Empfindlichkeit nach hinten zu viel Störschall aufnimmt. Beim Blumlein-Verfahren und beim MS-Stereoverfahren wird die Achterrichtcharakteristik jedoch zwingend benötigt.

7.2.3 Druckgradientenempfänger mit akustischem Laufzeitglied

Bei diesem Druckgradientenempfänger wird durch ein akustisches Laufzeitglied Schall der von hinten auf das Mikrofon trifft gedämpft. Bei einer Nierenrichtcharakteristik ist die Länge des Laufzeitglieds so dimensioniert, dass Schall der aus der 180° Einsprechrichtung auf das Mikrofon trifft nahezu komplett ausgelöscht wird. Bei den Zwischenformen Super- und Hyperniere hat das Laufzeitglied geringere Laufzeiten als bei der Niere.

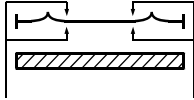


Abb. 15

Schall aus der 0° Einsprechrichtung führt wie immer zu maximaler Auslenkung. Der Schall wird um die Membran gebeugt und es entsteht ein Druckgradient. Bei 180° bewirkt das Laufzeitglied (Abb. 15), dass der Schall vor und hinter der Membran mit gleicher Phasenlage anliegt und sich somit die Kräfte aufheben und die Membran nicht ausgelenkt wird. Seitlich einfallender Schall wird bei der Niere um -6dB gedämpft.

Richtcharakteristik: Niere

- Gute Kanaltrennung (→ Polymikrofonie)
- recht Frequenzunabhängig
- Rückkopplungsfest

Die Nierenrichtcharakteristik ist die am häufigsten verwendete Richtcharakteristik. Auf der Bühne ist Rückkopplungsfestigkeit besonders wichtig. Im Studio werden Nierenmikrofone verwendet um eine gute Kanaltrennung zu erhalten.

7.2.4 Interferenzempfänger

Bei einem Interferenzempfänger oder Rohrrichtmikrofon wird auf eine Super- oder Hyperniere ein Richtrohr gesetzt, um eine noch stärkere Richtwirkung zu bekommen.

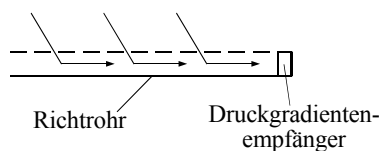


Abb. 16

Dieses Rohr hat seitliche Einlässe für den Schall, durch welche seitlich einfallender Schall hineingebeugt wird. Dies führt, durch den unterschiedlichen Weg den die Schallwellen zurücklegen müssen, zu phasenverschobenen Überlagerungen des Schalls vor der Membran und somit zu Auslöschungen. Ab welcher Grenzfrequenz die Richtwirkung einsetzt hängt von der Länge des Rohrs ab. Desto länger das Rohr, umso niedriger liegt die Grenzfrequenz.

$$f_g = \frac{c}{2L}$$

Richtcharakteristik: Keule

- hohe Richtwirkung bei hohen Frequenzen
- starke Klangfarbenänderungen bei sich änderndem Einfallswinkel

Verwendet werden Richtmikrofone hauptsächlich zur O-Ton Aufnahme.

7.2.5 Grenzflächenmikrofon

Das Grenzflächenmikrofon, welches auch PZM™ (Pressure Zone Microphone) oder BLM (Boundary Layer Microphone) genannt wird, macht sich die akustischen Merkmale die an einer Grenzfläche herrschen zu nutze.

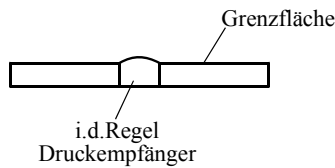


Abb. 17

Zum einen müssen Direkt- und Diffusschall den gleichen Weg zurücklegen um an eine Grenzfläche zu gelangen, im Gegensatz zu einem Mikrofon das innerhalb eines Raums aufgestellt ist. Somit werden Kammfiltereffekte, die durch Überlagerung von Direkt- und Diffusschall entstehen können, ausgeschlossen. Zum anderen gibt es eine Anhebung des Pegels um 6dB, da sich direkter und reflektierter Schall mit gleicher Phasenlage überlagern. Bei Grenzflächenmikrofonen wird in der Regel ein Druckempfänger eingesetzt, daraus ergibt sich eine frequenzunabhängige Halbkugelförmige Richtcharakteristik.

Richtcharakteristik: Halbkugel

- Kein Kammfiltereffekt durch Überlagerung von Direkt und Diffusschall
- ein um 6dB lauterer Ausgangssignal
- Vollkommen Frequenzunabhängige Richtcharakteristik
- größerer Signal-Rauschabstand

Meist werden Grenzflächenmikrofone als Zumischemikrofone verwendet, also im Diffusschallfeld. Aber auch im Theater werden Grenzflächenmikrofone gerne als Ersatz für Ansteckmikrofone mit drahtloser Übertragung genutzt.

7.2.6 Hallradius

Auf dem Hallradius ist die Intensität des Direktschalls gleich der Intensität des Diffusschalls. Der Hallradius trennt das Direktschallfeld vom Diffusschallfeld.

$$r_H = 0,057 \sqrt{\frac{V[m^3]}{T_{RT60}[s]}}$$

Faktoren um die gerichtete Mikrofone weiter von der Schallquelle positioniert werden müssen um das gleiche Verhältnis von Direkt zu Diffusschall zu erreichen wie die Kugel

Kugel	Niere / Acht	Superniere	Hyperniere	Keule
1,0	1,7	1,9	2,0	2,1

Die Angaben beziehen sich auf die Frequenz 1kHz.

7.2.7 Lavaliermikrofon

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden alle Miniaturmikrofone Lavaliermikrofone genannt. Jedoch sind nicht alle Miniaturmikrofone, laut der IRT-Spezifikation, Lavaliermikrofone.

IRT-Spezifikation

- Kugelrichtcharakteristik
- Frequenzgangkorrektur
- Höhen angehoben (ab 2kHz)
→ gerichtete Abstrahlung von hohen Frequenzen aus dem Mund
- Brustraumresonanz absenken (600-800Hz)

7.2.8 Doppelmembranmikrofon

Bei einem Doppelmembranmikrofon werden zwei Membrane auf jeweils eine Seite einer Gegenelektrode angebracht. Durch eine unterschiedlich hohe oder gepolte Polarisationsspannung lässt sich die Richtcharakteristik auf elektrischem Weg umschalten.

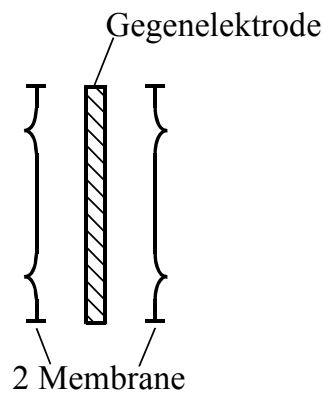


Abb. 18

Eine Membran und die Gegenelektrode bilden eine Nierenrichtcharakteristik, wobei die jeweils gegenüberliegende Membran das Laufzeitglied bildet. Da die Kugelrichtcharakteristik des Doppelmembranmikrofons aus zwei Druckgradientenempfängern zusammengesetzt ist hat sie nicht die Eigenschaften eines Druckempfängers. D.h. die Tiefbasswiedergabe ist nicht so gut wie bei einer Druckempfänger-Kugel und es gibt natürlich einen Nahbesprechungseffekt.

1 Niere	Niere + Niere	Niere - Niere
Niere	Kugel	Acht

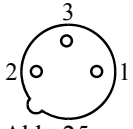
7.2.9 Nahbesprechungseffekt

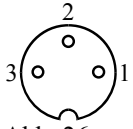
Beim Nahbesprechungseffekt handelt es sich um eine Tiefenanhebung bei Druckgradientenempfängern in der Nähe des Mikros.

Beispiel:

Niere	
5cm	50cm
50Hz: +20dB	50Hz: +3dB
100Hz: +15dB	100Hz: +2dB
...	
1kHz: +2dB	

7.3 Mikrofonkabel

XLR-Verbinder	
 <p>Abb. 25</p>	<p>1 Ground 2 Audio (In Phase) // + Phase, +, life, hot, a, left 3 Audio (Non Phase) // -Phase, -, return, cold, b, right</p>

DIN-Verbinder	
 <p>Abb. 26</p>	<p>1 Audio (In Phase) 2 Ground 3 Audio (Non Phase)</p>

7.3.1 Unbalanced

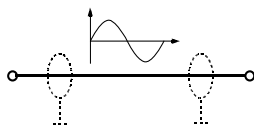


Abb. 27

7.3.2 Balanced

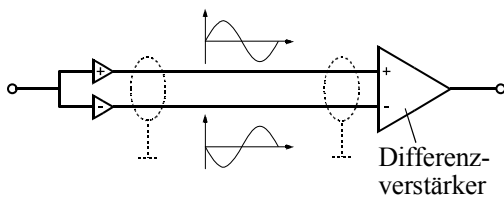


Abb. 28

7.4 Phantomspeisung

- P48/P24/P12 (die angegebene Zahl entspricht der Höhe der Versorgungsspannung)
- R_1 - R_4 sind identisch, geringste Toleranz
- Hinführung über beide Tonadern, Rückführung über den Schirm
- kein Potenzialunterschied zwischen den beiden Tonadern messbar
- auch Mikrofone die keine Spannungsversorgung benötigen (Tauchspulenmikrofone) können problemlos angeschlossen werden

7.5 Tonaderspeisung

- 12V Versorgungsspannung
- Hin- und Rückführung über die Tonadern
- um die Wechselspannung von der Versorgungsgleichspannung zu entkoppeln sind Trennkondensatoren eingefügt
- sehr selten anzutreffen
- da zwischen den beiden Adern eine Spannung messbar ist, können Mikrofone die nicht für die Tonaderspeisung gedacht sind zerstört werden

7.6 Technische Daten und Eigenschaften von Mikrofonen

7.6.1 Nennabschlussimpedanz

Die Nennabschlussimpedanz ist die empfohlene Eingangsimpedanz des Mischpults.

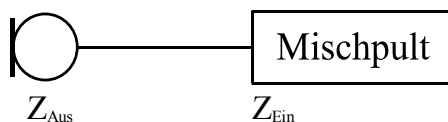


Abb. 29

Beispiel:

$$Z_{Ein} = 1k\Omega$$

7.6.2 Nennimpedanz

Die Nennimpedanz ist die Quellimpedanz des Mikrofon.

Beispiel:

$$Z_{Aus} = 200\Omega$$

7.6.3 Grenzschalldruck

Der Grenzschalldruck gibt an ab welchem Schalldruck das Mikrofon einen bestimmten Grad an Verzerrungen produziert. In der Regel sind das 0,5% oder 1% THD. Bei Tauchspulenmikrofonen wird normalerweise kein Grenzschalldruck angegeben, da dieser eigentlich nie erreicht wird. Bei Kondensatormikrofonen liegt er zwischen 20Pa-200Pa.

7.6.4 Grenzschalldruckpegel

$$\text{Grenzschalldruckpegel} = 20 \lg \frac{\text{Grenzschalldruck in Pa}}{2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}} \text{ dB}_{SPL}$$

Der Grenzschalldruckpegel liegt bei Kondensatormikrofonen zwischen 120dB_{SPL}-140dB_{SPL}.

7.6.5 Feldleerlaufübertragungsfaktor

Beim Feldleerlaufübertragungsfaktor wird die Ausgangsspannung des Mikrofons bei 1Pa Schalldruck in unbelastetem Zustand gemessen. Die Einheit des Feldleerlaufübertragungsfaktors ist mV/Pa.

Beispiel:

Dynamische Mikrofone: 1-2mV/Pa

Kondensatormikrofone: 5-20mV/Pa

7.6.6 Feldbetriebsübertragungsfaktor

Der Feldbetriebsübertragungsfaktor wird unter Anschluss an die Nennabschlussimpedanz gemessen. Daraus ergeben sich schlechtere Werte als bei der Messung in unbelastetem Zustand. Außerdem lassen sich die Daten von unterschiedlichen Mikrofonen schlechter vergleichen, da oft eine unterschiedliche Nennabschlussimpedanz vorliegt.

7.6.7 Feldübertragungsmaß

$$\text{Feldübertragungsmaß} = 20 \lg \frac{\text{Feldübertragungsfaktor in mV/Pa}}{\text{Bezugs-Feldübertragungsfaktor in mV/Pa}} \text{ dB}$$

Beispiel:

Feldübertragungsmaß: -54dB(1V/pa)

$$\text{Feldübertragungsfaktor} = 1V / Pa \cdot 10^{\frac{-54}{20}} = 2mV / Pa$$

7.6.8 Übertragungsbereich

Der Frequenzbereich, in dem der Übertragungsfaktor nicht mehr als 3dB gegenüber dem Übertragungsfaktor bei 1kHz abfällt, stellt den Übertragungsbereich dar. Dieser ist jedoch bei einem Mikrofon nicht sehr aussagekräftig, da die Angaben über den Frequenzgang fehlen. Eine Ausnahme bilden Mikrofone mit einem stark reduzierten Übertragungsbereich.

Beispiel:

Übertragungsbereich: 20Hz-18kHz

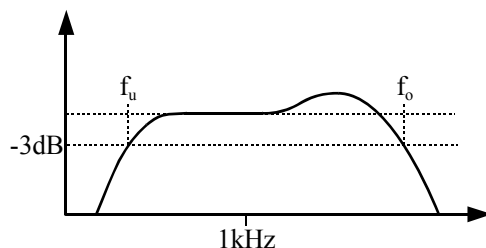


Abb. 30

7.6.9 Frequenzgang

Der Frequenzgang gibt die Ausgangsspannung des Mikrofons in Abhängigkeit von der Frequenz an. Die Spannung bei 1kHz wird als Bezug genommen und liegt somit immer bei 0dB. Meistens wird lediglich der Freifeldfrequenzgang (0° Einsprechrichtung; in Reflexionsarmen Raum gemessen) angegeben. Der Diffusfeldfrequenzgang ist der Mittelwert der Frequenzgänge aus allen Einsprechrichtungen. Die Angabe freifeldentzerrt gibt an, dass der Freifeldfrequenzgang linearisiert wurde. Bei einem diffusfeldentzerrtem Mikrofon dagegen ist der Diffusfeldfrequenzgang linear.