

# **Audiotechnik - Grundlagen der Schallentstehung, Aufnahmetechnik und Signalverarbeitung**

HIT / Medientechnik



A.Wieser

# 1 Schallentstehung

Die physikalische Grundlage aller akustischen Erscheinungen sind Druck- bzw. Dichteschwankungen in einem elastischen Medium, wie zum Beispiel Luft oder Wasser. Ändert sich der Druck innerhalb von Zeitintervallen von ca. 0,05 und 50 Millisekunden, so sind diese Schwankungen für den Menschen hörbar. Es wird von Schall gesprochen.

Diese Druckschwankungen werden in der Regel immer von einem vibrierenden Objekt (z.B. einer Boxenmembran, einer Gitarrenseite, dem Fell einer Trommel, den menschlichen Stimmbändern, u.a.) hervorgerufen. Die Entstehung von Schall lässt sich daher immer auf mechanische, elektronische oder akustische Schwingungen zurückführen.

Um einen elastischen Körper aus der Ruhelage auszulenken, muss von außen eine Anregungskraft auf diesen wirken. Die Auslenkung ist dabei umso größer, je stärker diese Kraft ist. Auf Grund seiner Materialeigenschaft kann ein Körper aber nicht beliebig verformt werden. Die Elastizität des Materials ist ein Maß für die Verformbarkeit. Je elastischer ein Körper ist, desto leichter kann er aus seiner Ruhelage ausgelenkt werden. Sobald die Krafteinwirkung beendet wird, hat der Körper auf Grund der Elastizität naturgemäß die Tendenz, wieder in seine Ruhelage zurückzukehren. Die sogenannte Masseträgheit, die im zweiten Newton'schen Gesetz durch Beziehung „Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung“ beschrieben wird, bewirkt, dass die Masse nicht sofort, ohne jede Zeitverzögerung in die Ruhelage zurückkehrt. In weiterer Folge kann die Masseträgheit auch dazu führen, dass sich der Gegenstand über seine Ruhelage hinaus in die Gegenrichtung der ursprünglichen Auslenkung bewegt. In diesem Fall wirkt nun wiederum auf Grund der Elastizität des Körpers eine entgegengesetzte Kraft. Sobald diese einen bestimmten Wert, wird die Bewegung ihre Richtung ändern. Das Zusammenwirken von Elastizität und Massenträgheit bewirkt also einen ständigen Wechsel zwischen Spannung und Komprimierung des Körpers. Diese Bewegung wird *Schwingung* genannt.

Für das resultierende akustische Ereignis hat die Art der Anregung eines Schwingungssystems einen enormen Einfluss. Zum Beispiel klingt eine gestrichene Geigensaite vollkommen anders, als eine gezupfte. Ein Oszillator eines Synthesizers bestimmt durch seine Wellenform, und damit seine Art der Anregung, die Klangfarbe des Tons.

Das menschliche Gehör neigt dazu, akustische Ereignisse nach ihren Anregungsmechanismen zu kategorisieren. Orchesterinstrumente werden dementsprechend auch in Schlag-, Blas-, und Streichinstrumente eingeteilt.

Um den Klang eines Schwingungssystems für den Menschen hörbar zu machen, verlangt es oft nach einem Resonanzkörper. Dieser kann bei der

menschlichen Stimme der Körper selbst sein oder bei Instrumenten wie der Gitarre, ein aus Holz geformter Klangkörper. Auch Konzertsäle funktionieren als eigenständige Resonanzkörper, die großen Einfluss auf das Hörempfinden der ZuhörerInnen hat.

## Unterschiedliche Oszillatoren und ihre Eigenschaften

Art	Mechanisch	Akustisch	Elektrisch
Medium	Feste Materie (Fell, Metall, Kunststoff, u.a.)	Luft	Strom Spannung
Körper	Saiten, Membranen, Stäbe	Röhren	Elektrische Schwing-Kreise, digitale Technik
Instrument	Cembalo, Klavier, Rasseln, Becken, Trommeln, u.a.	Orgel, Harmonika, Trompete, Flöte, u.a.	Synthesizer, Sampler, u.a.

### 1.1 Amplitude

Die Auslenkung eines schwingenden Körpers aus der Ruhelage ist eine zeitabhängige Größe und wird als *Amplitude*  $A(t)$  bezeichnet. Für die Ruhelage gilt also  $A(t)=0$ . Während einer *Schwingungsperiode* bewegt sich der Körper von der maximalen Auslenkung durch seine Ruhelage hindurch zur maximalen Auslenkung in der Gegenrichtung und wieder zurück durch die Ruhelage zum Ausgangspunkt seiner maximalen Auslenkung. Die Zeit, die der Körper benötigt, um eine volle Schwingungsperiode zurückzulegen, wird als *Periodendauer*  $T$  bezeichnet. Für Schallwellen gilt eine Periodendauer  $T$  von:  $0,05 \text{ ms} > T > 50 \text{ ms}$ . Je höher die Amplitude bei gleichbleibender Frequenz, desto lauter wird das Schallereignis meist wahrgenommen.

Die *Grundfrequenz* einer Schwingung gibt die Anzahl der Schwingungsperioden innerhalb einer Sekunde an. Die Frequenz wird in *Hertz (Hz)* gemessen.

$$f=1/T$$

Für Schall ergibt sich ein Frequenzbereich von  $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$ . Dies entspricht theoretisch dem Frequenzbereich, der von jungen, gesunden Menschen akustisch wahrgenommen werden kann.

Die Frequenz eines schwingenden Körpers ist umso höher, je kleiner seine Masse und geringer seine Elastizität ist. Ein Beispiel aus der Praxis wäre, dass die Saiten eines Kontrabasses tiefer klingen als die einer Violine.

## 1.2 Schallausbreitung und Wellenlänge

Es ist nun schon bekannt, dass sich Schwingungen in einem elastischen Medium wie Luft, Wasser, Holz, Metall, etc. in Form von Wellen ausbreiten, beziehungsweise die Körper selbst in Schwingung versetzen. Auf Grund der Bewegung verdrängt der Körper Moleküle des Mediums von dem er umgeben wird. Das Medium wird dadurch vor dem Körper verdichtet und hinter ihm verdünnt. Es entstehen lokale Druck- bzw. Dichtemaxima und -minima. Die verdrängten Teilchen des Mediums müssen sich ihrerseits Platz schaffen und verdrängen daher die unmittelbar anschließenden Teilchen und so weiter. Dadurch kommt es zu Druck- bzw. Dichteschwankungen des Mediums, die sich vergleichbar einer Kettenreaktion im Raum ausbreiten. Der räumliche Abstand zwischen zwei Druck- bzw. Dichtemaxima zu einem festen Zeitpunkt heißt *Wellenlänge*  $\lambda$ .

So wie die Periodendauer  $T$  die zeitliche Periodizität darstellt, beschreibt die Wellenlänge die räumliche Periodizität einer Welle.

Werden Schallwellen schließlich vom menschlichen Ohr aufgenommen, so beginnt das Trommelfell den Druck- und Dichteschwankungen folgend zu schwingen. Diese Vibrationen werden von speziellen Nervenzellen in entsprechende Sinnesreize umgewandelt, die dann zur Auswertung an das Gehirn weitergeleitet werden.

## 1.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit

Eine sehr wichtige physikalisch messbare Größe im Zusammenhang mit Schallwellen ist die *Ausbreitungsgeschwindigkeit*  $v$ . Diese hängt vor allem von der Elastizität des Mediums und dessen Dichte ab. In Luft beträgt die Schallgeschwindigkeit bei einer Temperatur von 20 °C rund 343 m/s. Da die Dichte der Luft von der Temperatur abhängig ist, gilt dies auch für die Schallgeschwindigkeit. (Bei 0 °C beträgt diese z.B. nur mehr 331 m/s).

Zwischen der *Schallgeschwindigkeit*  $v$ , der *Frequenz*  $f$  und der *Wellenlänge*  $\lambda$  gilt nun folgender Zusammenhang:

$$v = \lambda \cdot f$$

## 2 Eigenschaften von akustischen Ereignissen

Akustische Ereignisse weisen unterschiedliche Eigenschaften und Merkmale auf, denen abhängig von individuelle und kulturell geprägten Hörgewohnheiten mehr oder weniger große Bedeutung beigemessen wird.

## 2.1 Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe

Im Zusammenhang mit akustischen Ereignissen gibt es im Wesentlichen drei primäre Empfindungen: *Tonhöhe*, *Lautstärke* und *Klangfarbe*.

Die Lautstärke eines Signals hängt davon ab, wie kraftvoll die Schwingung angeregt wurde. Anregungskraft und Schwingungsamplitude hängen direkt miteinander zusammen. Es kann also die primäre Empfindung der Lautstärke eines akustischen Ereignisses mit der physikalischen Kenngröße Amplitude gleichgesetzt werden.

Größere Masse und Elastizität bewirken eine geringere Beschleunigung des schwingenden Körpers. Je geringer diese Beschleunigung nun ist, desto länger wird die Periodendauer bzw. desto niedriger wird die Grundfrequenz der Schwingung sein. In einer Näherung an diese Tatsache lässt sich sagen, dass die empfundene Tonhöhe mit der physikalisch messbaren Grundfrequenz eines akustischen Ereignisses gleichzusetzen ist.

Eine entsprechende physikalische Kenngröße für die Klangfarbe zu finden, ist grundsätzlich nicht möglich. Unterschiedliche Klänge gehen einerseits auf verschiedene Anregungsmechanismen (Zupfen, Streichen, etc.) und andererseits auf unterschiedliche Klangkörper und deren Form und Material zurück. Die mathematische bzw. physikalische Beschreibung der Form eines akustischen Ereignisses wird durch das so genannte Frequenzspektrum des Schallsignals ermöglicht.

Diese Darstellungen liefern ein sehr vereinfachtes Bild auditiver Wahrnehmung, bieten aber eine gute Grundlage für ein grobes Verständnis von der Materie.

Die Beschreibung von kausalen Zusammenhängen zwischen den physikalischen Größen des Schallsignals und den dadurch ausgelösten Empfindungen wird als *Psychoakustik* bezeichnet.

## 2.2 Klänge und Geräusche

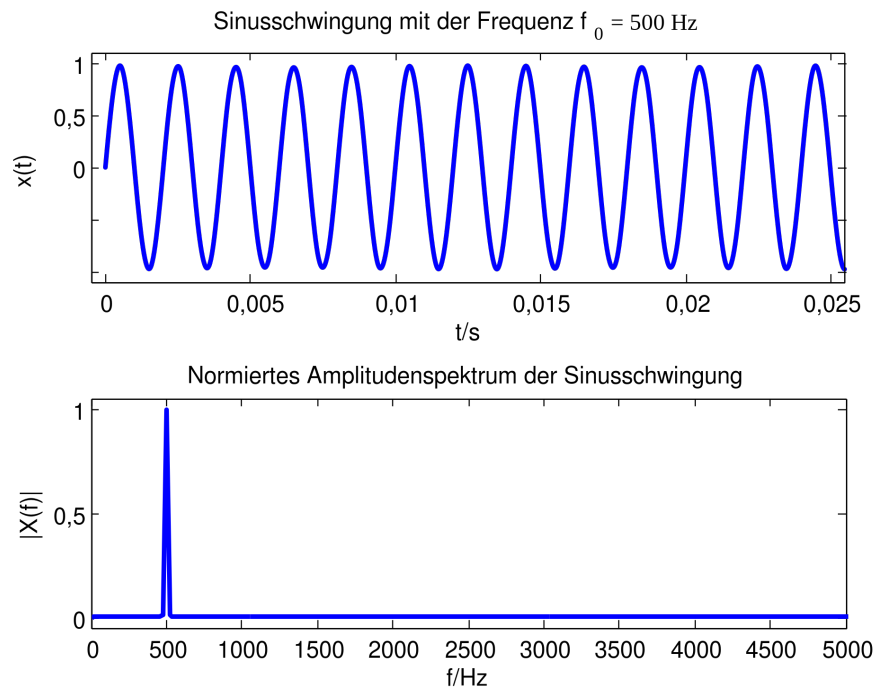
Können einem akustischen Ereignis alle drei Parameter zugeordnet werden, so wird im Allgemeinen von einem *Klang* gesprochen. Kann einem akustischen Ereignis hingegen nur die Lautstärke zugeordnet werden und sind Tonhöhe und Klangfarbe nur schwer zu bestimmen, so handelt es sich im Allgemeinen um ein *Geräusch*.

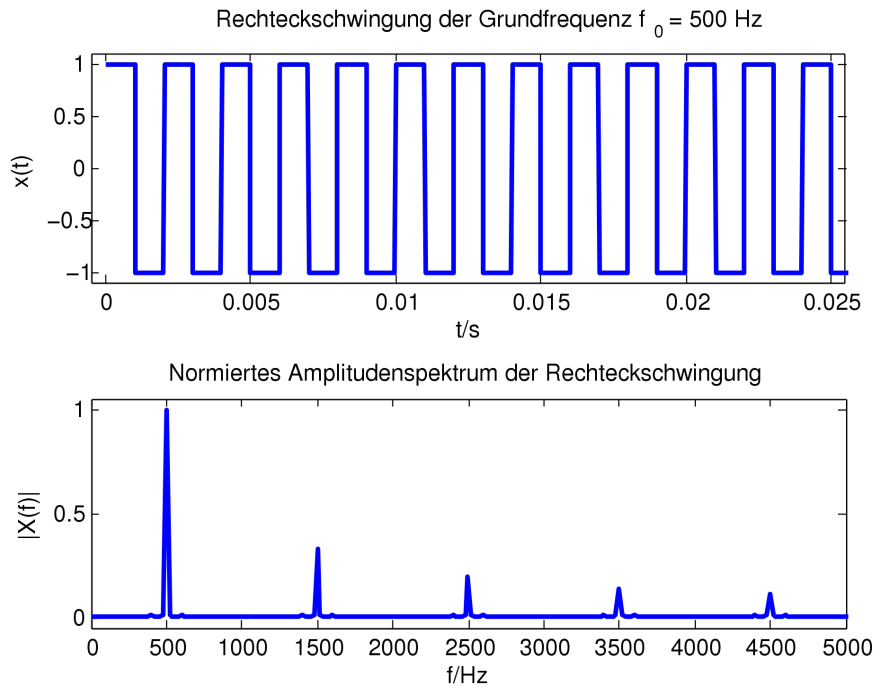
Ein Schallsignal lässt darüber hinaus auch immer Rückschlüsse auf Material, Form, Größe, Ort der vibrierenden Struktur zu und kann Aufschluss über

Größe und akustische Beschaffenheit des Raumes, in dem sich das Schallsignal ausbreitet, geben.

## 2.3 Das Frequenzspektrum

Da sich Klänge aus einzelnen harmonischen Tönen zusammensetzen, können sie durch deren Amplitude und die zugehörige Frequenz beschrieben werden. Die konkrete Zusammensetzung bestimmt die Signalform und ist ein wichtiges Kriterium für die Klangfarbe.





## 2.4 Raum

Von einer örtlich lokalisierbaren Schallquelle ausgehend breitet sich Schall im Allgemeinen kugelförmig, also gleichmäßig in alle Raumrichtungen aus. Akustische Ereignisse klingen in verschiedenen Räumen mitunter ganz unterschiedlich, auch wenn sie in ihrer Entstehung gleich oder zumindest sehr ähnlich sind. Besonders deutlich hörbar ist das, wenn man zum Beispiel in einer Kathedrale, einem Wohnzimmer und einem Badezimmer in die Hände klatscht. Diese Raumeindrücke werden im Sound Design konsequent genutzt um Effekte zu erzielen oder um eine Geräuschkulisse zu einer visuellen Ebene passend und authentisch wirken zu lassen. In der Musikproduktion wird *Reverb*, also Nachhall, ebenso sehr häufig eingesetzt um der Aufnahme einen dreidimensionalen Eindruck zu verleihen.

## 2.5 Zeit

Dem Faktor Zeit kommt bei der Wahrnehmung von akustischen Ereignissen eine besondere Bedeutung zu, da hierin ein wesentlicher Unterschied zur Aufnahme visueller Sinneseindrücke liegt. Akustische Ereignisse sind generell flüchtig und nicht dauerhaft. Zeitliche Veränderung ist eine wesentliche Voraussetzung für die Existenz von Schallsignalen.

## 2.6 Der Informationsgehalt akustischer Szenen

Isolierte akustische Einzelereignisse sind in einer realen Situation nur äußerst selten anzutreffen. Vielmehr strömt meist eine Vielzahl von auditiven Sinnesreizen auf uns ein. Die Gesamtheit aller wahrnehmbaren akustischen Ereignisse in einer realen Situation wird als akustische Szene bezeichnet.

Es ist für den menschlichen Gehörsinn kein Problem, in solchen Situationen ganz gezielt zu selektieren und die Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Schallsignal zu lenken. Zum Beispiel kann im allgemeinen Gemurmel einer Bar durchaus auch ein Gespräch am Nebentisch belauscht werden. Alles anderen Geräusche in der Bar werden dabei nicht vollständig ausgeblendet. Vielmehr wird bewusst zwischen akustischen Vorder- und Hintergrund entschieden. Diese Fähigkeit des menschlichen Gehörsinns zum selektiven Hören wird in der Fachliteratur als *Cocktailparty-Effekt* bezeichnet.

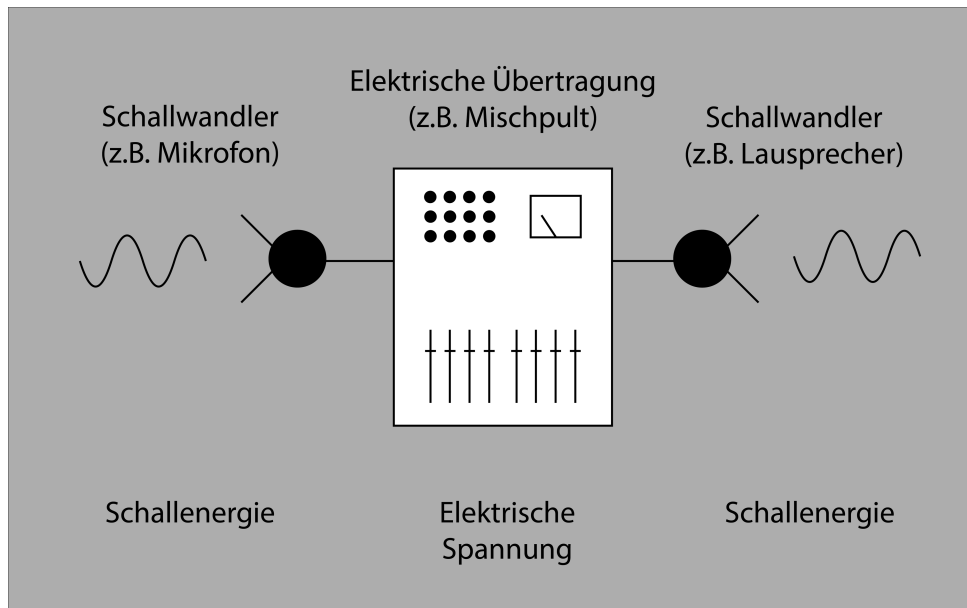
## 3 Analoge Audiotechnik

Jede Übertragung oder Speicherung von Schallwellen, ob eine reine Verstärkung über eine PA-Anlage (Public Address), eine Rundfunkübertragung (Radio) oder eine Aufnahme, erfordert einen Träger, der die Schallinformation verarbeiten, gegebenenfalls speichern und wiedergeben kann. Diese Träger können grundsätzlich entweder analog oder digital arbeiten. Analoge Aufnahmetechnik zur Aufnahme, Speicherung und Bearbeitung von Tonsignalen wurde in der Mitte der 1990er Jahre fast vollständig von der digitalen Technologie abgelöst und tritt heutzutage nur noch in Verbindung mit einer gewissen Klangvorstellung oder einer bewusst gewählten Arbeitsmethode auf. Sowohl Kosten als auch Anwendung- und Bearbeitungsmöglichkeiten bieten viele Argumente gegen eine analoge Audiotechnik. Der Klang, das Gefühl und die Limitierung kann jedoch auch positive Aspekte bieten, die vor allem in der Musikproduktion immer noch einer großen Beliebtheit erfreut.

Zwei Komponenten der Signalkette in der Audiotechnik sind jedoch immer noch hauptsächlich analog. Das *Mikrofon* und der *Lautsprecher*. Das heißt also, der Anfang und das Ende der Signalkette. Das Prinzip der analogen Audiotechnik besteht darin, durch Schallwandler die Schwingung der Luftmoleküle in elektrische Schwingungen umzuwandeln, die dann über elektrische Leitungen zum Ort der HörerInnen bzw. der Wiedergabe zu übertragen und durch einen weiteren Schallwandler wieder als Schallwellen hörbar zu machen.

Die einfachste Form einer solchen analogen, elektroakustischen Übertragungskette ist die Anordnung *Mikrofon – Verstärker – Lautsprecher*, eine für PA-Anlagen (Beschallungsanlagen) übliche Konstellation.





### 3.1 Schallwandler

Anfang und Ende einer jeden elektroakustischen Übertragungskette – analog wie digital – bildet ein Schallwandler. Dieser wandelt Schallenergie in elektrische Energie oder umgekehrt. Grundsätzlich besteht ein Schallwandler aus einer Membran, die durch Schallwellen bzw. elektrische Spannung zum Schwingen angeregt wird. Nach diesem Prinzip arbeiten Mikrofone, Lautsprecher, Kopfhörer und auch die Tonsysteme bei Plattenspielern.

### 3.2 Mikrofone

Bei einer typischen Signalkette in der Aufnahmetechnik befindet sich am Anfang der Übertragung meistens ein Mikrofon. Es können natürlich auch andere Klangerzeuger, wie zum Beispiel Synthesizer, Drum Machines, etc., direkt elektrische Schwingungen erzeugen. Um analoge Signale, wie die menschliche Stimme oder akustische Instrumente aufzunehmen, werden jedoch Mikrofone als Schallwandler verwendet. Sie haben die konkrete Aufgabe, Schallwellen in elektrische Schwingungen umzuwandeln. Jedes Mikrofon besitzt dazu eine Membran, die von den Luftbewegungen in mechanische Schwingung versetzt wird. Mit einem Wandler werden diese Membranschwingungen dann in elektrische Schwingungen umgeformt. Diese Umwandlung erfolgt in zwei Stufen. Im ersten Schritt wird die akustische Energie in mechanische Energie gewandelt. Dabei regen die Schalldruckschwingungen der Luft die Mikrofonmembran zu Schwingungen an. Der zweite Schritt beschreibt die Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie, also die Membranbewegungen werden in elektrische Signale umgewandelt.

In der Aufnahmetechnik, sowohl im Studio als auch im Live- und Filmbereich, haben sich zwei Wandlerprinzipien durchgesetzt. Dabei unterscheidet man *elektrostatische Wandler* bei Kondensatormikrofonen und *elektro-dynamische Wandler* bei dynamischen- und Bändchenmikrofonen.

Alle Mikrofone arbeiten entweder nach dem Prinzip des Druckempfänger- oder dem Prinzip des Druckgradientenempfängers. Beide Mikrofontypen haben ihre Vor- und Nachteile.

### **3.2.1 Druckempfänger**

Bei Druckempfängern wird die Membran durch den absoluten Schalldruck, der vor der Membran anliegt, ausgelenkt. Dadurch wandelt der ideale Druckempfänger die Schwankungen des Schalldrucks unabhängig von der Richtung, aus der der Schall auf das Mikrofon eintrifft.

Im Grunde kann das Prinzip eines Druckempfängers sehr einfach anhand eines Beispiels dargestellt werden. Eine dünne Folie, die über einen luftdichten Becher gespannt wird, wird eingedellt, wenn der Luftdruck außerhalb des Bechers höher ist als innerhalb. Im umgekehrten Fall beult sich die Folie nach außen. Wenn nun die vom Luftdruck abhängige Bewegung der Folie in elektrische Signale umgewandelt werden, ist das Druckempfänger Mikrofon fertig. Der entscheidende Punkt bei der Kapselkonstruktion ist, dass die Membran die Kapsel luftdicht abschließt. Lediglich eine sehr dünne Bohrung (Kapillare) verbindet den Kapselinnenraum mit der Atmosphäre. Diese Bohrung bewirkt, dass im Inneren der Kapsel immer der gleiche atmosphärische Luftdruck herrscht wie außerhalb.

Die Membran eines Druckempfängers reagiert auf Druckschwankungen der Atmosphäre, auch wenn diese Druckschwankungen eine Frequenz unterhalb des hörbaren Bereichs (20 Hz) haben. Deswegen eignet sich dieser Mikrofontyp hervorragend für die Übertragung von Signalen im Bass- und Tiefbassbereich. Die Übertragung der tiefen Frequenzen ist dem Druckgradientenempfänger weit überlegen. Aus diesem Grund werden Druckempfänger immer dann eingesetzt, wenn es auf eine sehr lineare Übertragungsfrequenz ankommt. Wie zum Beispiel bei Messmikrofonen oder in der klassischen Musik.

Nicht nur der Tiefenbereich wird bei Druckempfängern sehr natürlich und gut abgebildet. Auch der natürliche Eindruck des Raums in dem ein Schallsignal wiedergegeben wird, wird durch die kugelförmige Richtcharakteristik sehr gut eingefangen.

### **3.2.2 Druckgradientenempfänger**

Der Kapselaufbau eines Druckgradientenempfängers ist nicht ganz so einfach wie der des Druckempfängers. Bei Druckgradientenempfängern ist nicht nur die Vorderseite, sondern auch die Rückseite der Membran dem Schallfeld ausgesetzt. Dazu wird die Kapsel auf der Rückseite mehr oder weniger

schalldurchlässig ausgeführt. Durch seitliche Schalleinlässe kann sich der Schall in die Kapsel des Gradientenempfängers hinein beugen. Der Schalldruckunterschied wird so auch auf der Rückseite der Membran aktiv. Die Membran wird durch den Druckunterschied, der zwischen ihrer Vorder- und Rückseite entsteht, ausgelenkt. Der Druckunterschied entsteht, weil der Schall vor der Membran mit einer anderen Phasenlage anliegt als hinter der Membran.

Die Abbildung zeigt eine Momentaufnahme der Schalldruckverhältnisse vor und hinter der Membran eines Gradientenempfängers. Eine Schallwelle trifft aus 0° Einsprechrichtung, also direkt frontal von vorne, auf die Membran. Auf dem Weg von der Vorder- zur Rückseite der Membran muss die Schallwelle einen kleinen Umweg zurücklegen. Dieses sogenannte Laufzeitglied führt dazu, dass die Schallwelle mit unterschiedlichen Phasenlagen vor und hinter der Membran anliegt. Wenn Schall von hinten auf die Membran trifft, sind die Wellenlängen vor und hinter der Membran etwa gleich groß. Nun hat die Schallwelle vor und hinter der Membran gleiche Phasenlage und die Membrankräfte heben sich auf. Da die Membran nicht ausgelenkt wird, gibt der Gradientenempfänger kein Ausgangssignal ab. Die rückwertige Empfindlichkeit eines Druckgradientenempfängers ist also gleich Null. Diese Eigenschaft eines Mikrofons wird als Nierencharakteristik bezeichnet.

Gradientenempfänger haben den Vorteil, dass sie Schall aus einer bestimmten Richtung besonders gut aufnehmen und dafür Schall aus der entgegengesetzten Richtung weitgehend ausblenden. Es gibt jedoch auch einige Nachteile. Dazu gehört, dass die Basswiedergabe deutlich schlechter ist, als bei einem Druckempfänger. Was gerade beim Einsatz als Raummikrofon (also zur Aufnahme des natürlichen Raumklangs bei Konzerten) ein wesentlicher Nachteil ist. Nahe an der Schallquelle entsteht bei Druckgradientenempfängern der sogenannte *Nahbesprechungseffekt*. Dieser wird durch eine deutliche Anhebung der tiefen Frequenzen deutlich. Dieser Effekt wird vor allem bei Gesangs- oder Voice Over Aufnahmen genutzt. Auch bei Live-Anwendungen auf der Bühne sind vor allem Druckgradientenempfänger im Einsatz. Durch ihre Richtcharakteristik können ungewünschte Rückkopplungen (lautes Piepsen) vermieden werden.

### **3.3 Mikrontypen**

#### **3.3.1 Kondensatormikrofone**

Das Kondensatormikrofon ist das klassische, hochwertige Studiomikrofon. Sie zeichnen sich durch eine sehr natürliche und transparente Wiedergabe des gesamten Frequenzspektrums aus und werden immer dort eingesetzt, wo eine exzellente Aufnahmequalität gefordert ist.

Das Wandlerelement eines Kondensatormikrofons ist ein Plattenkondensator, dessen Platten durch einen dünnen Luftspalt voneinander elektrisch isoliert sind. Der Plattenkondensator wird mit Hilfe einer Polarisationsspannung

elektrostatisch aufgeladen. Der Kondensator besteht aus einer beweglichen aufgehängten Membran und der fest in der Mikrofonkapsel verankerten Gegenelektrode.

Schallwellen die auf die Membran auftreffen, versetzen diese in Schwingung und erzeugen somit eine Veränderung des Plattenabstands zwischen den beiden Kondensatorplatten. Eine positive Schalldruckhalbwellen drückt die Membran in Richtung Gegenelektrode, eine negative Halbwellen saugt die Membran von der Gegenelektrode weg. Verändert sich der Plattenabstand zwischen den beiden Kondensatorplatten, ändert sich proportional dazu die Kapazität des Kondensators. Wenn die Kondensatorplatten jetzt mit einer festen Vorspannung versehen werden, führt die Kapazitätsänderung zu einer entsprechenden Spannungsänderung zwischen den beiden Platten.

Durch das sehr geringe Eigengewicht der Membran können Kondensatormikrofone hochfrequente und impulshafte Schallereignisse weitaus genauer in Spannungsimpulse umwandeln als dynamische Mikrofone.

Vielen Kondensatormikrofone sind nicht in der Lage, sehr hohe Schalldruckpegel verzerrungsfrei in elektrische Signale umzuwandeln. Der so genannte *Grenzschalldruckpegel* ist der Schalldruck, den ein Mikrofon gerade noch ohne Verzerrungen verarbeiten kann. Bei diesem Mikrofontyp gibt es daher oft die Möglichkeit eine Vordämpfung direkt am Mikrofon einzuschalten um eine Übersteuerung zu vermeiden.

Der Frequenzgang (also das Klangbild) von Kondensatormikrofonen ist weit aus ebener und linearer als bei dynamischen Mikrofonen. Deshalb werden sie vor allem im Tonstudio und zur Tonaufnahme bei Filmproduktionen verwendet.

Alle Kondensatormikrofone müssen mit Spannung versorgt werden. Das passiert meistens über eine 48V Versorgungsspannung (*Phantomspeisung*, engl.: *Phantom Power*) die von einem Mischpult oder bei direktem Anschluss an eine Kamera, von dieser geliefert wird.

#### **Vorteile von Kondensatormikrofonen:**

- Detailreicher und natürlicher Klang
- Hohe Sensibilität bei geringem Schalldruck
- Leichte Membran und geringes Eigengewicht

#### **Nachteile:**

- Benötigt 48V Phantomspeisung
- Verzerrungen bei hohem Schalldruck
- Sensibel bei hoher Luftfeuchtigkeit und Wind



Ein Klassiker unter den Kondensatormikrofonen: das Neumann U87

### 3.3.2 Tauchspulenmikrofone (Dynamische Mikrofone)

Dynamische Mikrofone arbeiten nach dem Induktionsprinzip, wobei die Bewegung einer Spule im Magnetfeld in elektrische Spannung umgesetzt wird. Die Bezeichnung „dynamisch“ deutet darauf hin, dass sich bei diesem Wandlerprinzip ein Leiter im Magnetfeld hin- und her bewegt.

Dynamische Mikrofone haben eine Membran, auf deren Rückseite eine Spule aus Kupferdraht aufgeklebt ist. Wird die Membran vom Schalldruck in Schwingung versetzt, führt die Spule dieselben Bewegungen aus wie die Membran. Die Schwingspule taucht in das Magnetfeld eines Permanentmagneten ein, der mit dem Kapselgehäuse fest verbunden ist. Wird die Schwingspule hin und her bewegt, schneidet die Spule die magnetischen Feldlinien des Magneten. Am Ausgang der Spule wird eine Wechselspannung erzeugt, die der Spulenbewegung – und damit dem Schalldruckwechsel – ungefähr proportional ist.

Dynamische Mikrofone sind sehr robust und widerstandsfähig. Sie eignen sich dadurch sehr gut für den Einsatz auf der Bühne. Sie können, gegenüber Kondensatormikrofonen, auch einen wesentlich höheren Schalldruck verarbeiten, ohne dass es zu nennenswerten Verzerrungen kommt. Das ist gerade bei lauten Instrumenten wie Blechbläser und Schlagzeug oder bei der Mikrofonierung von Gitarrenverstärkern wichtig.

Ein wesentlicher Nachteil dieser Mikrofone ist jedoch das relativ hohe Gewicht der Membran. Dadurch kann sie den schnellen Luftdruckschwankungen eines impulshaften Schallereignisses nicht schnell genug folgen. Die Folge ist, dass die Impulsübertragung (also das Klangbild) wesentlich schlechter ist als das eines Kondensatormikrofons.

#### Vorteile von Tauchspulenmikrofonen (dynamischen Mikrofonen)

- Robust
- Relativ preiswert

- Keine Versorgungsspannung notwendig (+48V Phantomspeisung)
- Hoher Grenzschalldruck

#### Nachteile:

- Kein sehr linearer Frequenzgang
- Schlechte Impulsübertragung
- Schlechte Höhenabbildung
- Starke Präsenz der mittigen Frequenzen



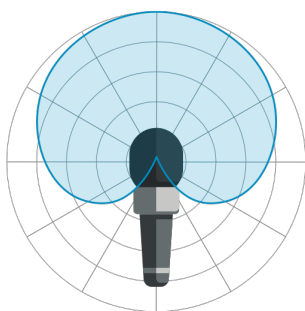
Ein Klassiker unter den dynamischen Mikrofonen: das Sure SM58

### 3.4 Richtcharakteristiken

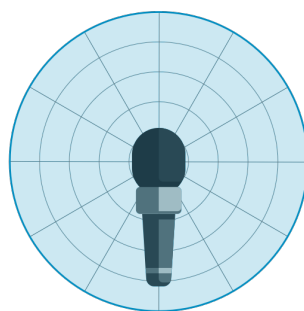
Die Richtcharakteristik beschreibt die Empfindlichkeit eines Mikrofons – also die Ausgangsspannung bei einem bestimmten einwirkenden Schalldruck – in Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel.

Sie wird meistens für mehrere verschiedene Frequenzen angegeben, da es dabei zu großen Unterschieden kommt. Meistens werden fixe Werte wie z.B.: 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16 kHz verwendet.

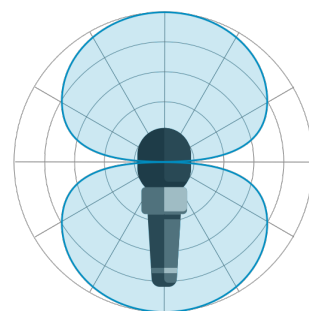
Die am häufigsten eingesetzten Richtcharakteristiken bei Mikrofonen sind:



Niere



Kugel



Acht

## **Niere**

Mikrofone mit Nierencharakteristik (englisch: cardioid) nehmen den von vorne eintreffenden Schall ohne Pegelverlust und Klangverfärbungen auf. Seitlich eintreffende Signale, wie etwa Reflexionen oder andere Instrumente werden hingegen zunehmend leiser erfasst und rückwärtiger Schall nahezu vollständig ausgelöscht. Dies macht die Niere besonders unempfindlich gegenüber Feedback auf Bühnen.

Eine Besonderheit der Nierencharakteristik ist der schon erwähnte Nahbesprechungseffekt. Dabei werden Schallquellen in etwa 5-20 cm Nähe mit einem deutlich erhöhten Bassanteil abgebildet. Diesen Effekt kann man vor allem bei menschlichen Stimmen nützen.

Optimale Anwendung: Live für geringes Übersprechen und Feedback, trockene Instrumentalaufnahmen, Sprache und Gesang.

Nachteile: Das Mikrofon muss auf die gewünschte Klangquellen zielen. Liegen diese außerhalb des idealen Einfallwinkels sind klangliche Verfärbungen und verringerte Pegel möglich.

## **Kugel**

Die Kugel (englisch: omnidirectional) bildet zumindest aus technischer Sicht den „Idealzustand“ eines Schallwandlers. Unabhängig von Richtung und Frequenz wird das eintreffende Signal stets gleich laut und unverfälscht aufgefangen. Dies führt zu einer besonders natürlichen Abbildung der gewünschten Schallquelle, inkludiert aber auch ungedämpft alle vorhandenen Nebengeräusche und Reflexionen.

Optimale Anwendung: Am Headset oder Ansteckmikrofon, natürliche Instrumentalaufnahmen mit Raumanteil, Sprachaufnahmen in ruhiger Umgebung mit mehreren Personen

Nachteile: Die Kugel ist deutlich anfälliger für Feedback als alle anderen Charakteristiken und bietet keinerlei „Signaltrennung“ zwischen gewollten und unerwünschten Audioquellen.

## **Acht**

Eine eher für spezielle Gelegenheiten geeignete Richtcharakteristik ist die Acht (englisch: figure eight oder bi-directional). Diese kennzeichnet sich durch eine besonders gute Dämpfung bei seitlichen eintreffenden Signalen, während frontaler sowie rückwärtiger Schall unbeeinflusst bleibt.

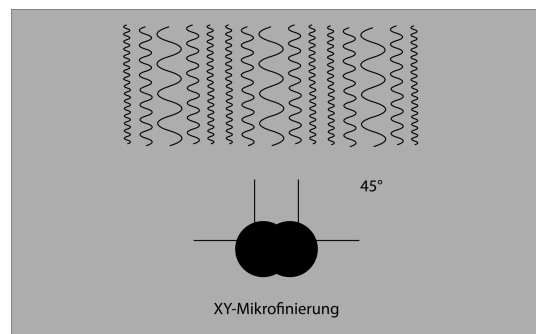
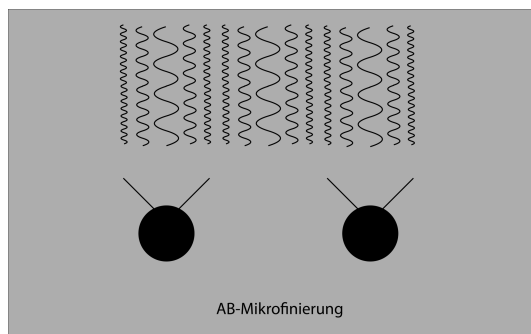
In der Praxis wird die Acht bei Aufnahmen mit einem Mikrofon verwendet, wenn zwei sich gegenüberliegend befindende Personen aufgezeichnet werden sollen.

Anwendung: Stereo-Aufnahmen, Reportagen, Gesangsduo, spezielle Situationen in denen eine starke Dämpfung bei 90°/270° benötigt wird.

### 3.5 Mono/Stereo

Bei der Aufnahme von Schallsignalen ist immer das Endprodukt, beziehungsweise die Art des Klangs zu beachten. Eine menschliche Stimme ist eine Monoschallquelle, die bei der Aufnahme am besten als solche betrachtet werden sollte. Ein Monosignal kann anschließend in der Aufnahme-Software im Stereopanorama neu positioniert werden. Umgebungsgeräusche im Film (sogenannte Atmos oder Room-Tones) sollten in Stereo aufgenommen werden. Das Stereoformat bietet einen weitaus realistischeren Eindruck eines Raumes und einer Wirklichkeit wieder und ermöglicht eine gewisse Dreidimensionalität des Klangbilds.

Um eine Stereoaufnahme herzustellen, werden mindestens zwei Mikrofone benötigt. Diese werden in verschiedenen Konstellationen zueinander aufgestellt. Zu den bekanntesten Stereofonieverfahren zählt die AB- und die XY Technik.

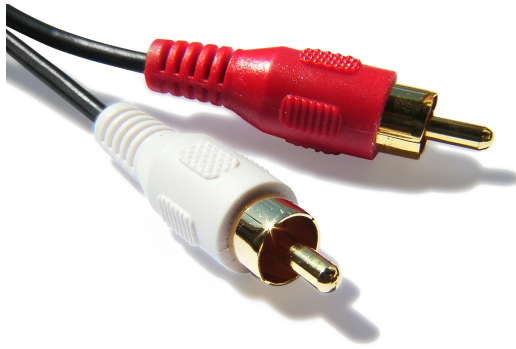


### 3.6 Stecker

Im Audiobereich kommen vor allem vier unterschiedliche Steckverbindungen zum Einsatz:

- Cinch-Stecker: werden unter anderem dazu verwendet, um kleinere Lautsprecher anzuschließen. Dabei dient der rote Stecker für den rechten Kanal, der weiße Stecker für den linken Kanal und ggf. schwarze Stecker für einen Subwoofer.





- Klinkenstecker: dienen vor allem zum Anschluss elektrischer Instrumente wie E-Gitarre oder -Bass mit dem Audio-Interface. Auch Kopfhörer und Lautsprecher sind normalerweise mit Klinkenstecker bzw. -buchse ausgestattet.



- Mit XLR-Steckern werden Mikrofone und Lautsprecher mit Mischpult oder Audio-Interface verbunden.



- Auch Speakon-Stecker dienen zum Anschluss von Lautsprechern mit dem Mischpult oder Audio-Interface. Sie sind XLR und Klinke qualitativ überlegen.



## 4 Vorverstärker

Jedes Gerät, an das ein Mikrofon oder ein Instrument angeschlossen werden kann, besitzt als eine fixe Instanz in der Signalkette einen Vorverstärker. Der Pegel der eingehenden Signale können sich mitunter stark voneinander unterscheiden. Im Allgemeinen müssen zwei Kategorien von Eingangssignalpegeln unterschieden und entsprechend verarbeitet werden: Mikrofon- und Linepegel. Da Mikrofone nur ein sehr schwaches elektrisches Signal liefern, ist ein hoher Verstärkungsfaktor notwendig. Die Einstellung der Art des Eingangssignals ist vor allem auch beim direkten Anschluss eines Mikrofons an eine Kamera essentiell.

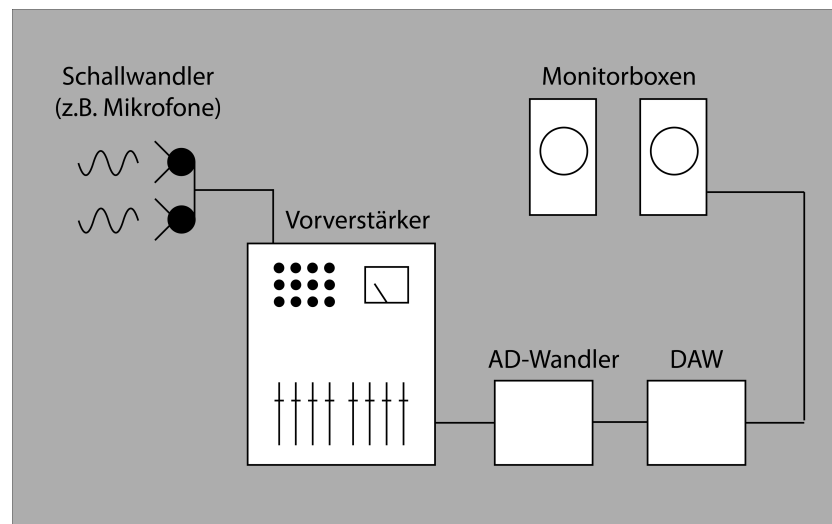


Einstellmöglichkeiten der Audioeingänge bei einer Videokamera

## 5 Analog-Digital Wandlung und digitale Audioformate

Um das Erlebnis eines Schallereignisses, wie zum Beispiel einer Musikaufnahmen oder der Tonspur eines Films, jederzeit abrufbar zu haben, muss die Schallenergie in eine speicherbare Energieform umgewandelt werden können. Je nach Art der Aufzeichnung oder des Einsatzgebiets

kommen dafür verschiedene Schallwandler zum Einsatz. Das können Mikrofone, Tonköpfe bei Bandmaschinen oder Plattenspielern sein, oder auch sogenannte Analog-Digital Wandler. Im Allgemeinen wird das Schallsignal mit einem elektroakustischen Wandler in ein elektrisches Signal umgewandelt. Ein elektromagnetischer Wandler führt das Signal in magnetische Energie über, die auf Magnetbändern (Tonband, Kassette, etc.) oder Festplatten gespeichert werden kann. Für die Wiedergabe ist dann eine entsprechende Rückwandlung, beispielsweise durch Lautsprecher, notwendig.



## 5.1 Digitale Schallaufzeichnung

Digitale Signale sind sowohl zeitdiskret als auch wertdiskret. Das bedeutet, Signalwerte existieren nur zu genau definierten Zeitpunkten und ihre Amplitudenwerte müssen Teil einer vorgegebenen endlichen Menge sein.

Die Analog-Digital Wandlung lässt sich grundsätzlich in zwei Stufen unterteilen: Zuerst wird durch Abtastung im Zeitbereich das analoge Signal in ein zeitdiskretes übergeführt. Anschließend erfolgt die Quantisierung im Wertebereich, die das zeitdiskrete Signal in ein digitales umwandelt.

Bei der Abtastung wird zu genau festgelegten Zeitpunkten ein als Abtastwert oder Sample bezeichneter Messwert des analogen Signals ermittelt. Die Dauer zwischen diesen Messpunkten ist immer konstant und wird Abtastintervall  $T_s$  genannt. Der Kehrwert des Abtastintervalls  $1/T_s$  ist die Samplingfrequenz  $f_s$ . Sie gibt an, wie viele Abtastwerte innerhalb einer Sekunde erfasst werden. In der Praxis werden hier 44,1 kHz in der Musik oder 48 kHz in der audio-visuellen Produktion als Standard eingesetzt. Bei audiophilen Produktionen werden auch Sample-Rates von bis zu 192 kHz eingesetzt. Dies resultiert in einem offeneren und detailreicheren Klangbild.

Nach der Abtastung im Zeitbereich wird die Abtastung der Signalamplitude erforderlich. In der Praxis werden hier bei CD-Produktionen 16 bit, bei audiovisuellen Produktionen 24 bit eingesetzt. Vermehrt arbeitet Audio-Bearbeitungssoftware intern mit einer 32 bit (floating point) Architektur.

Die digitalisierten Audiosignale können in verschiedenen Dateiformaten verarbeitet und gespeichert werden. Zu den am häufigsten angewendeten Formaten zählt das unkomprimierte .wav Format und das deutlich in Größe und Qualität reduzierte Format .mp3. Die Datenreduktion eines .mp3 zeigt sich vor allem in einer Begrenzung des Frequenzgangs bei 15 kHz.