

# Teil III Audiotechnik

---

1.	Technik .....	2
2.	Mikrofone .....	2
2.1.	Wandlungsprinzip .....	2
2.2.	Richtcharakteristik .....	3
2.3.	Analog-Digital-Wandlung .....	4
3.	Lautsprecher .....	6

# 1. Technik

Im Prozess von Aufnahme, Speicherung, Bearbeitung und Wiedergabe von Ton steht zu Beginn das **Mikrofon**. Über ein Mischpult oder einen Mikrofonverstärker gelangt der Ton an die Soundkarte mit ihren Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandlern. In **digitaler Form** kann der Ton **gespeichert** und mit geeigneter Software bearbeitet werden. Mittels Hifi-Anlage oder PC-**Lautsprecher** kann der Ton wiedergegeben werden.

Ein **Mischpult** wird benötigt, um viele Kanäle gleichzeitig aufnehmen zu können, z.B. Aufnahmen einer Band mit Gitarre, Schlagzeug und Gesang oder Aufnahmen eines Chores mit verschiedenen Instrumenten. Falls nur eine Stimme aufgenommen werden soll, beispielsweise bei der Produktion eines Podcasts, dann ist die Kombination einer Soundkarte mit Mikrofon-Eingängen ausreichend. Ein Mischpult wird nicht benötigt.

Im Tonstudio werden viele verschiedene Geräte miteinander verbunden. Zur Verkabelung von externen Mikrofonen eignen sich **XLR-Anschlüsse** (linke Grafik: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Xlr-connectors.jpg>) oder **Klinkenanschlüsse** (rechte Grafik: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Klinkenstecker.jpg>).



# 2. Mikrofone

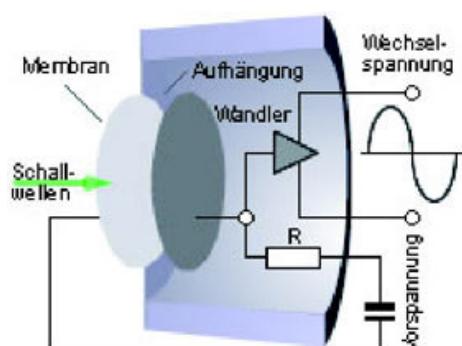
Ein Mikrofon wandelt mechanische in elektrische Energie um. Bauart und Eigenschaften von Mikrofonen ergeben sich durch Unterschiede im **Wandlungsprinzip** und der **Richtcharakteristik**.

## 2.1. Wandlungsprinzip

Für die Aufnahmepraxis relevant sind das **elektrostatische** und **elektrodynamische Wandlungsprinzip**.

### Elektrostatische Mikrofone

Grundsätzlich gilt: die Kapazität eines Plattenkondensators ändert sich, wenn sich der Abstand der Platten verändert. Ist eine Spannungsquelle am Kondensator angeschlossen, so findet ein Ladungsausgleich statt und es fließt ein kleiner Strom.

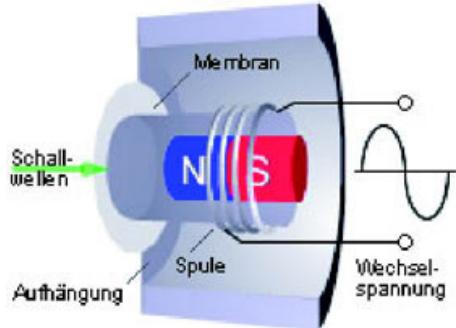


Im **Kondensatormikrofon** stehen sich folgende zwei Platten gegenüber: eine dünne **elektrischen Strom leitende schwingungsfähige Membran** und eine **Gegenelektrode**. Trifft Schall auf die schwingungsfähige Membran, so verändert sich die Kapazität mit der Frequenz der Schallschwingung am Ort der Mikrofonmembran. Es fließt ein **schwacher Strom im Rhythmus der Frequenz**. (Grafik entnommen aus <http://www.univie.ac.at/video/camcorder/mikrofonbauart.htm>)

Das **Kondensatormikrofon** ist der Hauptvertreter für das elektrostatische Wandlungsprinzip. Es bietet sehr **hohe Tonqualität** mit sehr **gutem Frequenzgang**. (Hinweis: Der Frequenzgang gibt an, wie sich das Übertragungsmaß in Abhängigkeit von der Frequenz verhält, z.B. verhält sich das Mikrofon klangneutral.) Kondensatormikrofone benötigen aber eine zusätzliche **Betriebsspannung**. Sie können jedoch mit sehr kleinen Abmessungen hergestellt werden. Sie eignen sich deshalb dort, wo sie unauffällig zum Einsatz kommen sollen, z.B. **Nachrichtenstudio**.

## Elektdynamische Mikrofone

Grundsätzlich gilt: bewegt sich ein elektrischer Leiter senkrecht zur Richtung eines magnetischen Feldes, so wird eine elektrische Spannung induziert.



Dieses Prinzip wird beim Bau eines Mikrofons durch Kombination einer **Membran** und einer **Spule** genutzt. Trifft eine Schallwelle auf die Membran, so bewegt sich die mit ihr verbundene Spule im Rhythmus der Schallschwingung im Luftspalt des **Magneten**. Dabei wird in der Spule eine **Spannung mit der Frequenz der Schwingung** induziert. (Grafik entnommen aus <http://www.univie.ac.at/video/camcorder/mikrofonbauart.htm>)

Das **Tauchspulenmikrofon** ist der Hauptvertreter für das elektrodynamische Wandlungsprinzip. Es benötigt **keine Betriebsspannung**, ist sehr robust und arbeitet einwandfrei bei **hohen Lautstärken**. Sein Frequenzgang ist jedoch unregelmäßig. Es **färbt** den Originalklang stärker als ein vergleichbares Kondensatormikrofon.

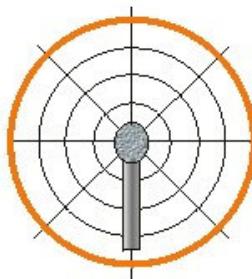
## 2.2. Richtcharakteristik

Die Richtcharakteristik gibt die **räumliche Empfindlichkeit** des Mikrofons an.

Welche Bedeutung hat dies für die Praxis? Mikrofone mit Richtwirkung werden benutzt, um den Einfluss der Umgebung bei der Aufnahme zu reduzieren. Dabei gilt: **die Richtwirkung ist umso größer, je unempfindlicher das Mikrofon gegenüber Schall von den Seiten oder von hinten ist**. Verglichen wird dabei mit jenem Schall, dessen Richtung senkrecht auf der Mikrofonmembran steht, also aus der Mitte von vorne auf das Mikrofon trifft. Zur Darstellung der Richtwirkung werden Polardiagramme verwendet (siehe nachfolgende Abbildung).

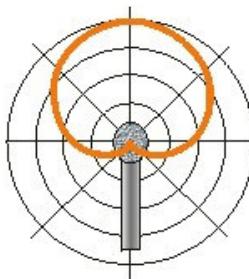
Nach dem Grad der Richtwirkung gibt es folgende Charakteristiken: **Kugel, Niere, Superniere, Hyperniere und Keule**. Als Besonderheit gilt die **Acht**, da sie den Schall von vorne wie von hinten gleichermaßen aufnimmt und von der Seite nicht.

Standardcharakteristiken sind Niere und Superniere. Mit einer Kugelcharakteristik lassen sich Umgebungsgeräusche (Atmos) gut einfangen. Für Instrumental-, Gesangs- und Sprachaufnahmen eignen sich besonders Mikrofone mit Kugelcharakteristik (erfordern eine gute Raumakustik und eine störungsfreie Umgebung). Mikrofone mit Hypernieren- oder Keulencharakteristik werden oftmals bei Einsätzen für Reportagen mit störenden Umgebungsgeräuschen eingesetzt.



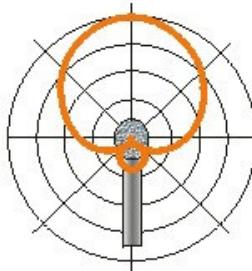
### Kugel

Der Schall wird aus allen Richtungen gleich stark aufgenommen. Beim Film für Atmos, bei Ansteckmikros oder Grenzflächenmikros zu finden.



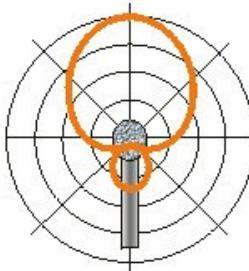
### Niere

Am stärksten wird Schall aufgenommen, der vor dem Mikrofon auftaucht, zu den Seiten wird der Schall nur noch mit 50% aufgenommen. Kann helfen, Hintergrundgeräusche auszugrenzen.



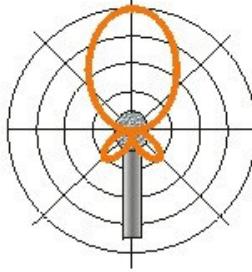
### Superniere

Sie hat eine stärkere Richtwirkung als die Niere, kann noch stärker Raum und Hintergrund aussparen.



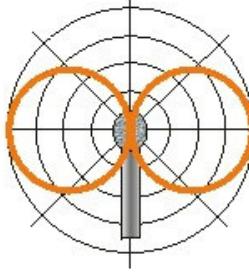
### Superniere / Keule

erheblich stärkere Richtwirkung, ohne aber den Frequenzbereich nach unten merkbar zu beschneiden. Ideal zum Angeln für Filmaufnahmen.



### Keule

Sie hat die beste Richtwirkung und kann, wenn man genau auf den Mund der Sprecher zielt, auch aus größerer Entfernung laute Störgeräusche (Verkehrslärm etc.) am besten ausblenden. Nachteil: Dünne, höhenbetonte Aufnahme.



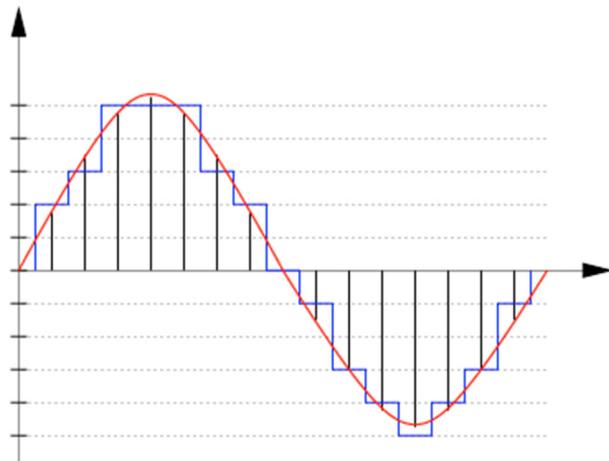
### Acht

Eine Mikrofonart die für das M/S-Stereoverfahren entwickelt wurde und nachträgliche Beeinflussung der Stereobasis bis hin zu Mono ermöglicht.

(Grafik entnommen aus [http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App\\_Musik\\_I/mikrophon.htm](http://www.musik.uni-osnabrueck.de/lehrende/enders/lehre/App_Musik_I/mikrophon.htm));  
(Atmos = Geräusche; M/S-Stereoverfahren = Mitte/Seite Stereoverfahren)

## 2.3. Analog-Digital-Wandlung

Die Umwandlung von analogen in digitale Signale nennt man **A/D-Wandlung**. Analoge Signale können zu jeder Zeit jeden Wert annehmen, dh. jeder Ton kann zu jedem Zeitpunkt eine beliebige Höhe und Lautstärke haben (zeit- und wertkontinuierlich). Bei der Digitalisierung von analogen Signalen werden diese Werte in Bereiche eingeteilt.



In einem ersten Schritt wird das analoge Signal in ein **diskretes Signal** umgewandelt. Das heißt, es wird in bestimmten, gleichbleibenden Abständen abgetastet (vgl. schwarze Striche in der Grafik) und so Proben (Samples) des analogen Signals genommen. Je öfter Samples genommen werden, also je höher die Sampling-Rate ist, desto besser wird das ursprüngliche Signal dargestellt (bei CDs 44,1 kHz bei DVDs bis zu 192 kHz). Das Ergebnis der Abtastung ist ein Puls-Amplituden-Moduliertes Signal (PAM-Signal).

Im nächsten Schritt werden die Samples **quantisiert**. Es werden dabei nicht alle Werte des Audiosignals zugelassen, sondern in Stufen zusammengefasst. Dadurch kommt es zum so genannten Quantisierungsfehler. Bei 65000 Stufen (entspricht 16 Bit Sampling Tiefe) ist für das menschliche Ohr keine Verfälschung zum analogen Original erkennbar.

Die **Abtastfrequenz** legt die Häufigkeit, mit der das elektrische Tonsignal im Analog-Digital-Wandler pro Sekunde abgetastet werden soll, fest.

Wie häufig muss ein Tonsignal abgetastet werden? Die Häufigkeit wird durch das menschliche Gehör bestimmt. Es hat einen Frequenzumfang von maximal 20 Hz – 20 kHz. Der höchste wiederherstellende physikalische Ton hat also eine Frequenz von 20 kHz. Er muss mindestens mit seiner doppelten Frequenz abgetastet werden, um ihn exakt reproduzieren zu können. Das entspricht nach dem Abtasttheorem von Shannon in diesem Fall einer Abtastfrequenz von 40 kHz (Idealfall).

Wie groß ist die **Datenrate**, also die dabei anfallende Datenmenge pro Zeiteinheit?

**Beispiel:** Pro Abtastung fällt ein Wert von 8 Bit (= Wortbreite) an. Die Abtastfrequenz wird mit 44,1 kHz festgelegt. Das bedeutet, dass pro Sekunde die analoge Spannungskurve 44.100-mal abgetastet wird.

$$\text{Datenrate} = \text{Abtastfrequenz [Hz]} * \text{Wortbreite [Bit]}$$

$$\text{Datenrate} = 44.100 \text{ [1/s]} * 8 \text{ [Bit]} = 352.800 \text{ [Bit/sec]}$$

Da 8 Bit = 1 Byte gilt:

$$\text{Datenrate} = 44.100 \text{ [1/s]} * 1 \text{ [Byte]} = 44.100 \text{ [Byte/sec]}$$

**Beispiel:** Datenrate einer Tonaufnahme, die der Qualität einer **Audio-CD** entspricht. Die Wortbreite der digitalisierten Tondaten einer Audio-CD beträgt 16 Bit (= 2 Byte).

$$\text{Datenrate} = 44.100 \text{ [1/sec]} * 2 \text{ [Byte]} = 88.200 \text{ [Byte/sec]}$$

Berücksichtigt man, dass **zwei Kanäle**, links und rechts, vorliegen, dann ergibt sich:

$$\text{Datenrate} = \text{Abtastfrequenz} * \text{Wortbreite} * \text{Anzahl d. Kanäle}$$

$$\text{Datenrate} = 44.100 \text{ [1/sec]} * 2 \text{ [Byte]} * 2 = 176.400 \text{ [Byte/sec]}$$

In der Minute ergibt sich dann:

$$\text{Datenrate} = 176.400 \text{ [Byte/sec]} * 60 \text{ [sec]} = 10.584.000 \text{ [Byte/min]}$$

**Fazit:** Eine Datei, die unkomprimierten Ton in CD-Qualität für eine Minute liefert, ist ca. 10 MByte groß.

### 3. Lautsprecher

Lautsprecher sind im Klang sehr unterschiedlich. Sie sind in der Übertragungskette jene Teile, welche den **Originalklang am stärksten beeinträchtigen**. Deshalb hört ein Toningenieur beim Mischen unterschiedliche Lautsprecher ab, um sich jenem Klang zu nähern, welcher auf durchschnittlichen und auch hochwertigen Lautsprechern angemessen gut klingt.

Abhör-Lautsprecher werden mit Fachbegriff als **Monitore** bezeichnet.

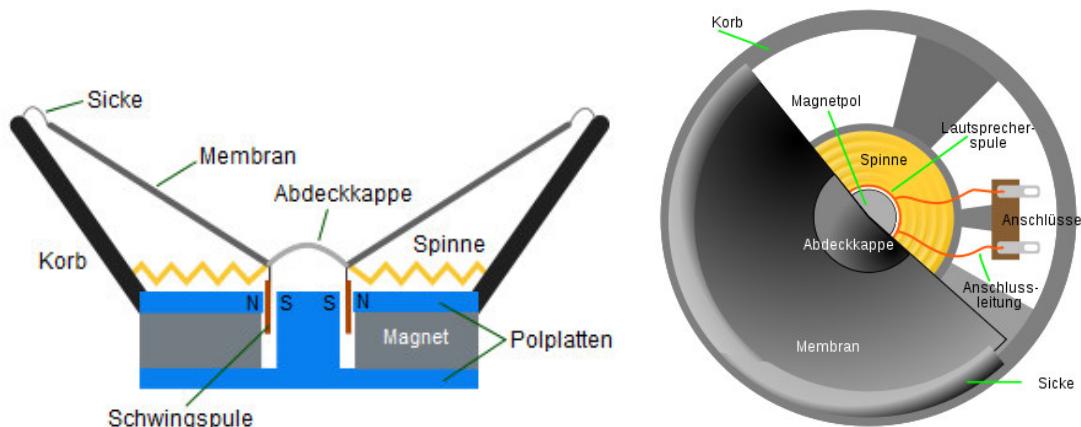
Lautsprecher bedienen sich der umgekehrten Funktionsweise eines Mikrofons. Sie dienen zur **Umwandlung des elektrischen Signals in mechanische Schallwellen**. Die Schallwellen werden durch eine **Membran** erzeugt, die in Schwingung versetzt wird. Sollen tiefe Frequenzen erzeugt werden, so muss die Membran einen größeren Durchmesser besitzen als bei mittleren oder hohen Frequenzen.

Zum Abhören in der Ton-Produktion sollten gute Studio-Monitore, deren Klangverhalten bekannt ist und durchschnittliche, kleine Computerlautsprecher zum Einsatz kommen.

#### Elektrodynamische Lautsprecher

Video: [http://www.youtube.com/watch?v=X\\_ebocWC88&feature=endscreen&NR=1](http://www.youtube.com/watch?v=X_ebocWC88&feature=endscreen&NR=1) (Funktionsprinzip)  
<http://www.youtube.com/watch?v=Q9-n3nazQAM> (Elektrodynamischer Eigenbaulautsprecher)

Der **elektrodynamische Lautsprecher** ist die häufigste Lautsprecherbauart.



Bei elektrodynamischen Lautsprechern (**Tauchspulenlautsprechern**) wird die Membran durch die Wechselwirkung zwischen elektrischem Strom und einem magnetischen Gleichfeld angetrieben. Eine stromdurchflossene zentrale Spule („**Schwingspule**“) befindet sich im magnetischen Gleichfeld eines Magneten.

Die Spule befindet sich auf einem Schwingspulenträger, der wiederum an der Membran befestigt ist. Leitet man einen Strom durch die Spule, wird dadurch eine Kraft auf die Membran ausgeübt, die diese zum Schwingen veranlasst. Spule und Membran können sich im Magnetfeld senkrecht zum Feldverlauf hin- und herbewegen. Eine **Zentrierspinne** und die **Sicke** sind für die Rückführung der Membran in die Ruhelage sowie für die Zentrierung der Schwingspule verantwortlich. Die Sicke verhindert außerdem einen direkten Luftaustausch zwischen Vorder- und Rückseite.

## Wiederholungsfragen zum Kapitel 3 Audiotechnik

1. Welche Geräte kommen bei der Aufnahme, Speicherung, Bearbeitung und Wiedergabe von Ton zur Anwendung?
2. Welche Steckverbindungen werden dabei eingesetzt?
3. Wozu dient ein Mischpult?
4. Welche grundsätzlichen Mikrofon-Bauarten gibt es?
5. Wie heißen die jeweiligen Vertreter?
6. Erkläre die Funktionsweise des Kondensatormikrofons!
7. Erkläre die Funktionsweise des Tauchspulenmikrofons!
8. Grenze die Eigenschaften des Kondensatormikrofons von den Eigenschaften des Tauchspulenmikrofons ab!
9. Was gibt die Richtcharakteristik eines Mikrofons an?
10. Welche Richtcharakteristiken lassen sich unterscheiden?
11. Welche Richtcharakteristik eignet sich am besten um Umgebungsgeräusche einzufangen?
12. Wozu eignen sich Mikrofone mit sog. Keulencharakteristik?
13. Erkläre den Vorgang der Digitalisierung von Tonsignalen!
14. Wodurch entstehen die Quantisierungsfehler bei der A/D-Wandlung?
15. Wie hoch muss die Abtastrate sein, um in CD-Qualität aufzunehmen?
16. Wie hoch muss die Sampling-Tiefe sein, um in CD-Qualität aufzunehmen?
17. In welcher Einheit wird die Datenrate angegeben?
18. Wie hoch ist die Datenrate, wenn mit 192 kHz und einer Sampling-Tiefe von 16 Bit abgetastet wird?  
$$192.000 \text{ [1/sec]} * 2 \text{ [Byte]} = 384.000 \text{ [Byte/sec]}$$
19. Wie viel Speicherplatz würde ein mit dieser Datenrate aufgenommenes Stück (Dauer 3:42 min) benötigen? 
$$384.000 \text{ [Byte/sec]} * 222 \text{ [s]} = 85.248.000 \text{ Byte} \sim 85 \text{ MByte}$$
20. Wie viel Speicherplatz benötigt eine Minute Aufnahme in CD-Qualität?  
$$44.100 \text{ [1/sec]} * 2 \text{ [Byte]} * 2 \text{ Kanäle} = 176.400 \text{ [Byte/sec]} * 60 \text{ [sec]} = 10.584.000 \text{ [Byte]}$$
21. Wozu dienen Lautsprecher?
22. Wie heißt die gebräuchlichste Lautsprecherbauart?
23. Erkläre die Funktionsweise des elektrodynamischen Lautsprechers!
24. Welche Aufgaben kommen der Sicke im elektrodynamischen Lautsprecher zu?