

# Protokoll

## KT Labor Mikrofone

Gruppe 3

Durchführung: 15. 12. 2004, 13:00 TA-Halle  
Rücksprache: 07. 01. 2005, 16:00 Alexanderplatz

Betreuer: Holger Pastillé \_\_\_\_\_

Teilnehmer:

Kristin Peukert \_\_\_\_\_  
Robert Damrau \_\_\_\_\_  
Vladimir Cholakov \_\_\_\_\_  
Dimitre Poydovski \_\_\_\_\_  
Alexander Lösch \_\_\_\_\_  
Erik Detzner \_\_\_\_\_

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
Einleitung.....	3
1 Theoretischen Vorbetrachtungen .....	3
1.1 Mikrofontechnik .....	3
1.1.1 Druck-Empfänger.....	4
1.1.2 Druckgradienten-Empfänger.....	4
1.1.3 Kondensatormikrofon.....	5
1.1.4 Elektrodynamisches Mikrofon .....	6
1.1.5 Frequenzabhängige Richtungsempfindlichkeit von Mikrofonen .....	6
1.1.6 Frequenzgang von Mikrofonen .....	7
1.2 Reflexionsarmer Raum.....	9
1.3 Monkey Forest.....	9
1.4 Verwendete Mikrofone .....	10
2 Frequenzgangmessungen der Mikrofontypen .....	11
2.1 Mikrotech Gefell KEM 970.....	13
2.2 Neumann KM 130 .....	17
2.3 Neumann KM 131 .....	19
2.4 Neumann GFM 132.....	20
2.5 Sennheiser MKH 418S.....	22
2.6 Sennheiser e835 .....	25
2.7 Sennheiser MD 427.....	26
2.8 Shure SM58 .....	27
2.9 Fehlerbetrachtung .....	28
3 Bestimmung des Mikrofonübertragungsfaktors .....	29
4 Bestimmung des Geräuschpegelabstandes .....	31
5 Zusatzfragen.....	35
6 Quellenverzeichnis .....	38

# Einleitung

In dieser Laborübung werden verschiedene Eigenschaften von Mikrofonen messtechnisch untersucht. Es werden Amplitudenfrequenzgänge zu einzelnen Einfallrichtungen verschiedener Mikrofontypen ermittelt. Des Weiteren werden Geräuschspannungsabstände ermittelt. Die Messdaten werden graphisch dargestellt, ausgewertet und diskutiert.

Der Frequenzgang gibt Aufschluss über die frequenzabhängigen Übertragungseigenschaften eines Mikrofons, dies lässt eine Beurteilung der Qualität im Hinblick auf den Anwendungsbereich des Mikrofons zu.

Der Geräuschspannungsabstand ist ein Qualitätsmaß für die Beurteilung des Eigenrauschens.

## 1 Theoretischen Vorbetrachtungen

### 1.1 Mikrofontechnik

Ein Mikrofon ist ein elektroakustischer Wandler: Schalldruck wird in elektrische Spannung umgewandelt.

Grundsätzlich kann man zwischen zwei verschiedenen Empfängerprinzipien unterscheiden: Druck-Empfänger und Druckgradienten-Empfänger.

Zu den beiden praktisch wichtigsten Luftschallmikrofonarten gehört das Kondensator Mikrofon und das elektrodynamische Mikrofon. Es gibt eine große Anzahl von weiteren Typen, wie z.B. die auf Biegung beanspruchten Piezoschwinger in Telefonkapseln, Elektretmikrofone, Kohlemikrofone oder elektromagnetische Mikrofone.

Der einzige Mikrofontyp, der in der Normung genannten Genauigkeitsanforderungen genügt ist das Kondensatormikrofon. Für Absolutmessungen wie der Feststellung eines Pegels ist es deshalb unverzichtbar. Kondensatormikrofone sind in der Herstellung aufwendig und deshalb nicht billig.

Für Relativmessungen dagegen kann man weit preisgünstigere Mikrofone einsetzen: wenn nur die Pegeldifferenz oder der Pegelabfall interessiert, kann auch die preisgünstigeren, dafür im Absolutwert ungenaueren elektrodynamischen Mikrofone verwenden. Auch für Studiozwecke sind elektrodynamische Mikrofone meist ausreichend.

In dieser Laborübung werden verschiedene Mikrofone dieser zwei Arten untersucht.

### 1.1.1 Druck-Empfänger

Beim Druckempfänger ist nur die Vorderseite der Membran dem Schallfeld ausgesetzt. Die Membran spricht auf alle an ihrer Oberfläche auftretenden Schalldruckschwankungen an, gleichgültig, in welcher Richtung sich die Schallwelle ausbreitet. Druckempfänger besitzen daher keine Richtwirkung und haben „Kugelcharakteristik“.

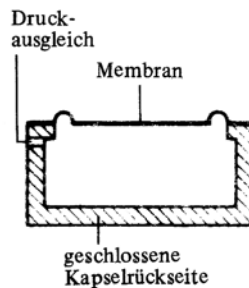


Abb. 1.1.1 Prinzipieller Aufbau der Kapsel eines Druckempfängers [3]

### 1.1.2 Druckgradienten-Empfänger

Diese Mikrofone besitzen eine im Längsschnitt achtförmige Richtcharakteristik. Sie sprechen auf den Unterschied der Schalldrücke an, die in jedem Augenblick an zwei wenig von einander entfernten Punkten A und B im Schallfeld wirksam sind.

Für die in Abbildung 1.1.2 gewählte Lage dieser Punkte ergeben unter  $0^\circ$  und unter  $180^\circ$  eintreffenden Schallwellen den größten Druckunterschied und werden bevorzugt aufgenommen. Unter  $90^\circ$  einfallender Schall dagegen trifft gleichzeitig und gleichstark in Punkt A und B ein und ruft daher keine Druckdifferenzen hervor.

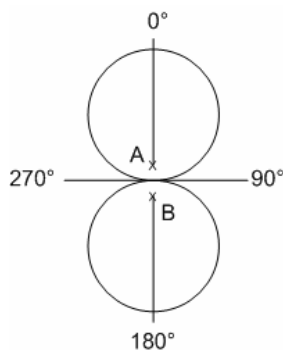


Abb. 1.1.2a Achtercharakteristik

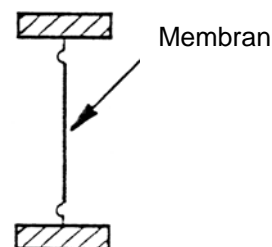


Abb. 1.1.2b Prinzipieller Aufbau der Kapsel eines Druckgradientenempfängers mit Achtercharakteristik [8]

Die an den Punkten A und B auftretenden Schalldrücke werden in Mikrofonen entweder elektrisch oder mechanisch mit einander verglichen.

### 1.1.3 Kondensatormikrofon

Den grundsätzlichen Aufbau eines Kondensatormikrofons zeigt Abbildung 1.1.3a: Eine  $1\mu\text{m}$  bis  $10\mu\text{m}$  starke Membran aus Metall oder metallisiertem Kunststoff ist in geringem Abstand vor einer perforierten, elektrisch leitenden Gegenelektrode angeordnet. Die auftreffenden Schallwellen bewegen die Membran und verändern ihren Abstand von der Gegenelektrode und damit die Kapazität des aus Membran und Gegenelektroden gebildeten Luftkondensators. Rückstellkraft und Dämpfung der Membran werden wegen ihres kleinen Abstandes ( $5\text{...}50\mu\text{m}$ ) von der Gegenelektrode vorwiegend durch das dahinter liegende Luftpolster bestimmt und können durch die Wahl des Membranabstandes und durch Bohrungen in der Gegenelektrode auf den erforderlichen Wert gebracht werden.

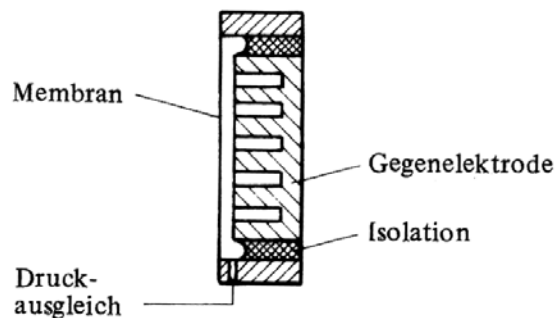


Abb. 1.1.3a Prinzipieller Aufbau eines Kondensatormikrofons (Druckempfänger) [3]

Prinzipiell beruht das Prinzip des Kondensatormikrofons auf der Veränderung des Abstandes zwischen Membran und Gegenelektrode, die einen Kondensator bilden. Dieser wird in Reihe mit einer Spannungsquelle und einem Widerstand geschaltet. Die Spannungsquelle dient der Versorgung der Mikrofonkapazität, damit ein elektrisches Signal nach außen abgeführt werden kann. Die über dem Widerstand abfallende Spannung ist der Membranauslenkung proportional. Den prinzipiellen Schaltkreis zeigt Abbildung 1.1.3b.

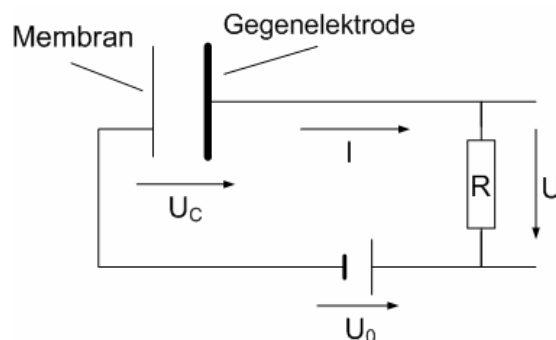


Abb. 1.1.3b Prinzip des Kondensatormikrofons [1]

### 1.1.4 Elektrodynamisches Mikrofon

Dynamische Mikrofone sind Geschwindigkeitsempfänger und beruhen ihrer Arbeitsweise nach auf dem Induktionsgesetz: Ein Leiter bewegt sich unter dem Einfluss der Schallwellen in einem Magnetfeld. Die in ihm induzierte elektromagnetische Spannung ist der Bewegungsgeschwindigkeit des Leiters proportional. Häufigste Bauart ist das Tauchspulenmikrofon (Abbildung 1.1.4), bei dem eine mit der Membran bewegte Spule in den ringförmigen Spalt eines Topfmagneten eintaucht.

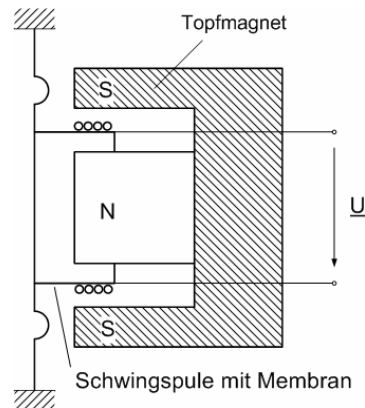


Abb. 1.1.4 Prinzipieller Aufbau eines Tauchspulenmikrofons

### 1.1.5 Frequenzabhängige Richtungsempfindlichkeit von Mikrofonen

Grundsätzlich treten drei prinzipielle Effekte auf, die bei höheren Frequenzen für eine Richtungsempfindlichkeit von Mikrofonen sorgen können:

1. In Ihrem geometrischen Gesamtaufbau mit Gehäuse, evtl. Haltegriff und Schutzgitter, bilden Mikrofone Reflektoren gegenüber dem einfallenden Schallfeld. Wie alle Messeinrichtungen stören sie im Prinzip die Größe, die zu messen sie bestimmt sind. Die Reflexion kann je nach Beschleunigungsrichtung unterschiedlich sein. Sie führt jedoch stets zu einer Druckerhöhung, der sich einstellenden Schalldruck kann dabei höchstens das Doppelte des einfallenden Feldes betragen. Reflexionen am Mikrofon wirken also wie ein Anwachsen der Empfindlichkeit, die auf höchstens 6dB begrenzt ist.
2. Ausgeprägte, stark winkelabhängige Empfindlichkeiten bei hohen Frequenzen, lassen sich nicht nur aus Reflexionen am Mikrofonkörper begründen. Vielmehr beruhen rasch veränderliche Richtcharakteristika auf der Tatsache, dass der Schalldruck auf der Membranfläche ortsabhängig ist.

Die Membrankraft ergibt sich nur bei tiefen Frequenzen aus dem Produkt  $p \cdot s$ ; allgemeiner gilt auch für hohe Frequenzen

$$F = \int_S p \cdot dS .$$

Bei entsprechend kleinen Wellenlängen und schräger Beschallung treten auf der Membran Bezirke mit gegenphasigen Drücken auf, die Gesamtkraft kann deswegen u. U. sogar Null werden.

3. Bei Druckgradientenempfängern im ebenen Schallfeld kommt eine Druckdifferenz zwischen den Punkten A und B (Abb. 1.1.2) nur dadurch zustande, dass gleichstarker Schall beide Punkte mit unterschiedlicher Phasenlage erreicht. Für konstanten Schalldruck steigt die Druckdifferenz mit zunehmender Frequenz an. Oberhalb einer bestimmten, für jeden Mikrofontyp charakteristischen Frequenz  $f_{\ddot{u}}$ , wird der für die Membranbewegung maßgebende Schalldruckunterschied  $\Delta p$  wieder kleiner. Die halbe Wellenlänge der Frequenz  $f_{\ddot{u}}$  entspricht der Strecke A-B, die Phasendifferenz der Schallwelle zwischen A und B beträgt für diese Frequenz  $\varphi = 180^\circ$ .

### 1.1.6 Frequenzgang von Mikrofonen

Die unter Abschnitt 1.1.3 und 1.1.4 beschriebenen Wandlerprinzipien teilen die Ähnlichkeit in ihrem mechanischen Aufbau: der mechanische Aufbau besteht aus einem einfachen Resonator, das bedeutet einem Feder-Masse-Dämpfer-System, in dem die Masse durch die Membran eines Wandlers repräsentiert wird und Feder/Dämpfer durch die Lufteigenschaften modelliert wird.

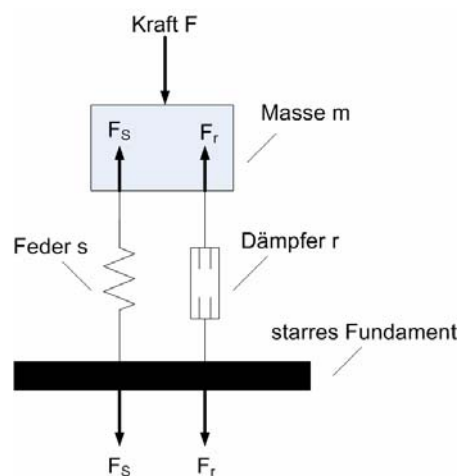


Abb. 1.1.6 Modellanordnung zur Berechnung des Frequenzganges

Auf die Masse wirken die drei äußeren Kräfte:

- die anregende Kraft  $F$ ,
- die rückstellende Kraft  $F_s$ ,
- die ebenfalls rückstellende Kraft  $F_r$ .

Dem Newtonschen Gesetz zur Folge verursacht die Summe der genannten Kräfte die beschleunigte Bewegung der Masse:

$$m\ddot{x} = F - F_s - F_r,$$

worin  $x$  die in  $F$ -Richtung gezählte Auslenkung der Masse ( $\dot{x}$ : deren Geschwindigkeit,  $\ddot{x}$ : deren Beschleunigung) bedeutet. Die rückstellenden Kräfte  $F_s$  und  $F_r$  ergeben sich

- nach dem Hookeschen Gesetz zu ( $s$ : Federsteife)

$$F_s = s \cdot x$$

- unter der Annahme einer geschwindigkeitsproportionalen Reibkraft zu ( $r$ : Reibkoeffizient)

$$F_r = r \cdot \dot{x}.$$

Die Schwingungsgleichung der für die Masse lautet demnach

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + sx = F.$$

Für reine Töne

$$x(t) = \operatorname{Re}\{x e^{j\omega t}\}$$

wird daraus

$$-m\omega^2 x + j\omega r x + sx = F \quad \text{bzw.} \quad x = \frac{F}{s - m\omega^2 + j\omega r}.$$

Mit der Einführung der Resonanzfrequenz  $\omega_0 = \sqrt{\frac{s}{m}}$  und dem Verlustfaktor  $\eta = \frac{r\omega_0}{s}$  ergibt sich

$$x = \frac{\frac{F}{s}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + j\eta \frac{\omega}{\omega_0}}.$$

Der ausschließlich durch den mechanischen Aufbau hervorgerufenen Frequenzgang

$H_x = \frac{x}{F_s}$  zeigt die Abbildung 1.1.8:

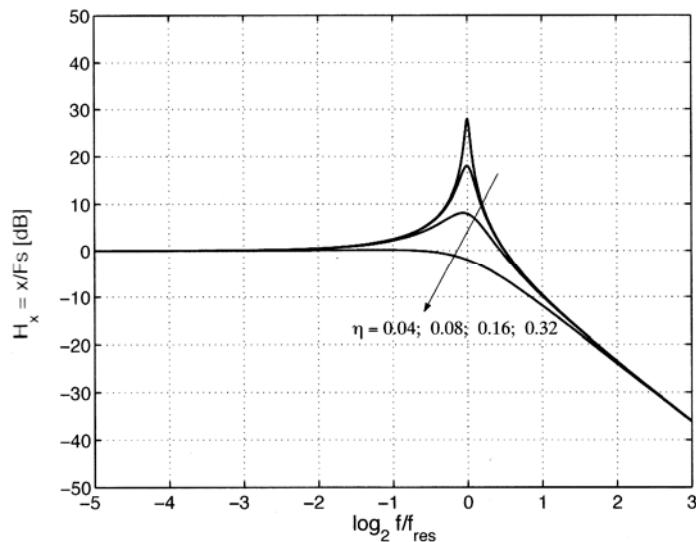


Abb. 1.1.8 Frequenzgang der Auslenkung eines einfachen Resonators [1]

## 1.2 Reflexionsarmer Raum

Sämtliche Messungen werden im reflexionsarmen Raum (RAR) in der Prüfhalle des Instituts für Technische Akustik (ITA) der TU Berlin durchgeführt.

Der Raum schließt ein freies Volumen von  $1850 \text{ m}^3$  ( $11\text{m} \times 16\text{m} \times 10,5\text{m}$ ) ein und ist in dieser Form der größte reflexionsarme Raum in Europa. Die Wände, Decke und Boden sind mit Absorbermaterial von ca.  $1,8\text{m}$  Länge ausgekleidet. Somit wird ein reflexionsarmes Schallfeld bis zu einer unteren Grenzfrequenz von  $60\text{Hz}$  erreicht.

## 1.3 Monkey Forest

Die Messungen unter Abschnitt 2 werden mit *Monkey Forest* durchgeführt.

*Monkey Forest* ist ein PC-gestütztes Audio-Meßsystem mit einer ISA-Slot Steckkarte und einem externen Frontend.

Die PC-ISA Steckkarte umfasst einen Stereo AD/DA-Wandler mit 16 Bit. Die Abtast-raten können zwischen  $5\text{kHz}$  bis  $48\text{kHz}$  variiert werden. Der Dynamikumfang beträgt  $80\text{dB}$ . Der Klirrfaktor ist  $<0.01\%$ .

Das Frontend ist mit einem symmetrischen Stereo Ein- und Ausgang ausgestattet. Es besteht die Möglichkeit eine Phantomspeisung von  $48\text{V}$  zu verwenden. Die Eingangsempfindlichkeit kann von  $-40\text{dB}_u$  bis  $+40\text{dB}_u$  eingestellt werden. Über eine Endstufe von  $2 \times 20 \text{ Watt}$ , oder einem Kopfhörerausgang können Signale ausgegeben werden.

*Monkey Forest* verfügt über eine vielfältige Anzahl an Messmöglichkeiten u.a. spektrale Darstellung, Impulsantwort, Klirrfaktor oder Phasenverlauf. In den folgenden Messungen unter Abschnitt 2 werden hauptsächlich Amplitudenfrequenzgänge aufgenommen.

Es können beliebige Anregungssignale erzeugt werden, u.a. Impulse, MLS, lineare Sweeps, logarithmische Sweeps oder Rauschen. Frequenzgewichtung und Länge sind dabei frei wählbar.

Der logarithmische Sweep ist ein spektral gefärbtes Messsignal. Die Energieverteilung nimmt mit steigender Frequenz ab. Damit lassen sich für tiefe Frequenzen bessere Störspannungsabstände erreichen. Für tiefe Frequenzen sind höhere Energiedichten erforderlich, um eine über den gesamten Frequenzbereich möglichst gleichmäßige Anregung zu erreichen.

Die Energieverteilung eines Anregungssignals in Form von Maximalfolgen hingegen ist über gesamten Frequenzbereich gleichförmig und ist somit im Falle der Frequenzgangmessung ungeeigneter.

## 1.4 Verwendete Mikrofone

Mikrofon	1	2	3	4
Hersteller	Mikortech Gefell	Neumann	Neumann	Neumann
Typenbezeichnung	KEM 970	KM 130	KM 131	GFM 132
Phantomspeisung	48V	48V	48V	48V
Bauart	Kondensator	Kondensator	Kondensator	Kondensator
Richtcharakteristik	Horizontal:Niere 120° Vertikal: Keule 30°	Kugel	Kugel	Halbkugel
Empfängerprinzip	Druckgradienten-Empfänger	Druck-Empfänger	Druck-Empfänger	Druck-Empfänger
Membrantyp	Kleinmembran	Kleinmembran	Kleinmembran	Kleinmembran
Übertragungsbereich	40..18kHz	20...20kHz	20...20kHz	20...20kHz

Mikrofon	5	6	7	8
Hersteller	Sennheiser	Sennheiser	Sennheiser	Shure
Typenbezeichnung	MKH 418S	e835	MD 427	SM58
Phantomspannung	48V	-	-	-
Bauart	Kondensator	Dynamisch	Dynamisch	Dynamisch
Richtcharakteristik	S: Achter M: Keule	Niere	Superniere	Niere
Empfängerprinzip	Druckgradienten-Empfänger	Druckgradienten-Empfänger	Druckgradienten-Empfänger	Druckgradienten-Empfänger
Membrantyp	Kleinmembran	Kleinmembran	Kleinmembran	Kleinmembran
Übertragungsbereich	40...20kHz	40...16kHz	50...16kHz	50...15kHz

Für die Referenzmessung (Abschnitt 2) wird die Kondensator-Messmikrofonkapsel Mikrotech Gefell MK250 verwendet.

## 2 Frequenzgangmessungen der Mikrofontypen

Um Freifeldbedingungen zu simulieren, werden alle Messungen im RAR durchgeführt. Den Messaufbau zeigt die folgende Abbildung.

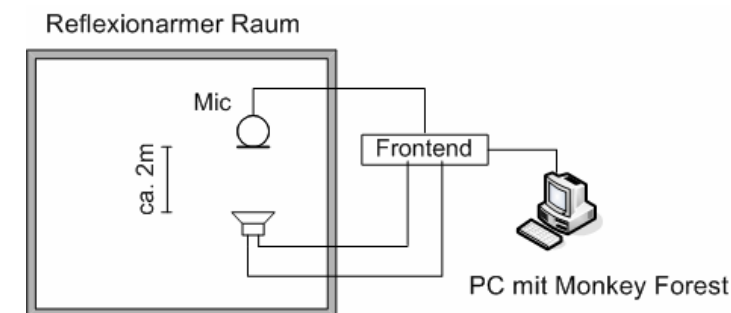


Abb. 2 Messaufbau zur Frequenzgangmessung

Zu Beginn der Messungen wird das Messsystem kalibriert. Hierfür wird eine Referenzmessung mit einem Messmikrofon von Mikrotech Gefell (MK250 Kapsel) durchgeführt. *Monkey Forest* erzeugt ein Messsignal, das über den Lautsprecher abgegeben wird. Eingangsseitig erhält der Rechner das vom Mikrofon erzeugte Signal und stellt den Frequenzgang dar.

Als Anregungssignal wird ein logarithmischer Sinus-Sweep verwendet (konstante Amplitude), der den Frequenzbereich von 20Hz bis 20kHz durchläuft. Der aufgenommene Referenz-Frequenzgang stellt das Übertragungsverhalten des gesamten Messsystems dar und wird für die folgenden Messungen von *Monkey Forest* automatisch kompensiert, so dass die Übertragungseigenschaften des Messsystems (z. B. Frequenzgang des Lautsprechers, Einfluss der Kabel,...) sich nicht auf die weiteren Messungen auswirken.

Um das erhaltenen Messergebnis zu glätten wird die Funktion *smooth* des MF-Messsystems verwendet: Messwerte werden im Bereich von 1/3 Oktave geglättet.

Bei dem verwendeten Lautsprecher handelte es sich um einen Koaxiallautsprecher der Firma Radian. Dieser besitzt einen Eingang für den tieffrequenten Bereich und einen für den mittel- und hochfrequenten Bereich. Alle Frequenzen werden von einer Membran abgestrahlt, die allerdings von zwei getrennten Spulen ausgelenkt wird. Der Vorteil gegenüber konventionellen Lautsprechern ist bei Koaxialsystemen in erster Linie die stabile Phasenlage und die damit verbundene konstante Gruppenlaufzeit. Dadurch wird ein sehr homogenes Klangbild erzeugt, weil es zwischen hohen und tiefen Frequenzen keine örtliche Verschiebung gibt.

Nach erfolgter Referenzmessung werden anstelle des Messmikrofons nacheinander die Prüflinge positioniert und deren Amplitudenfrequenzgänge für die Schalleinfallswinkel  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $180^\circ$  gemessen. Das Kardioid-Ebenen-Mikrofon KEM 970 wird in  $15^\circ$  Abständen zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  horizontalem und  $0^\circ$  und  $90^\circ$  vertikalem Einfallswinkel gemessen, das Grenzflächen-Mikrofon GFM 132 wird bei  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $90^\circ$  Schalleinfallswinkel gemessen.

Bei allen Messungen wird das Eingangssignal (Ausgangssignal des Mikrofons) maximal ausgesteuert, um den Klirrfaktor des Analog/Digital-Wandlers möglichst gering zu halten.

Alle Messdaten werden mit Hilfe von MATLAB grafisch dargestellt. Bei der Darstellung wird zum besseren Vergleich der Werte eine Normierung vorgenommen: Bei der jeweiligen Kurve, die durch Schalleinfall aus  $0^\circ$  Einfallrichtung aufgenommen wird, wird der Messwert bei 1kHz auf 0 dB gesetzt und alle anderen Werte entsprechend verschoben. Eine Ausnahme bildet das MKH 418S, hier wird beim Achtförmigen Seitensignal die Kurve für  $90^\circ$  Schalleinfallswinkel normiert.

Die folgenden Erläuterungen beziehen sich, soweit nicht anders angegeben, immer auf die normierte Kurve des jeweiligen Frequenzganges.

Die typische Störung („Welligkeit“) zwischen 1 und 2kHz wird im Folgenden, soweit möglich, bei der Betrachtung ignoriert (siehe dazu 2.9 Fehlerbetrachtung).

## 2.1 Mikrotech Gefell KEM 970

Bei diesem Mikrofon handelt es sich um ein hochmodernes Kondensatormikrofon mit einer speziellen Richtcharakteristik, der so genannten „Kardioid-Ebene“, also einer „flachen“ Niere.

Um diese Charakteristik zu erreichen, werden mehrere Mikrofonkapseln mit unterschiedlichen Richtcharakteristiken kombiniert.

Das KEM 970 wird beispielsweise an Rednerpulten eingesetzt. Es weist laut Hersteller in der Horizontalebene Nierencharakteristik und in der Vertikalebene die Charakteristik einer Keule auf.

Laut Herstellerangaben beträgt der Öffnungswinkel in der Vertikalebene ca. 30° und in der Horizontalebene ca. 120°.

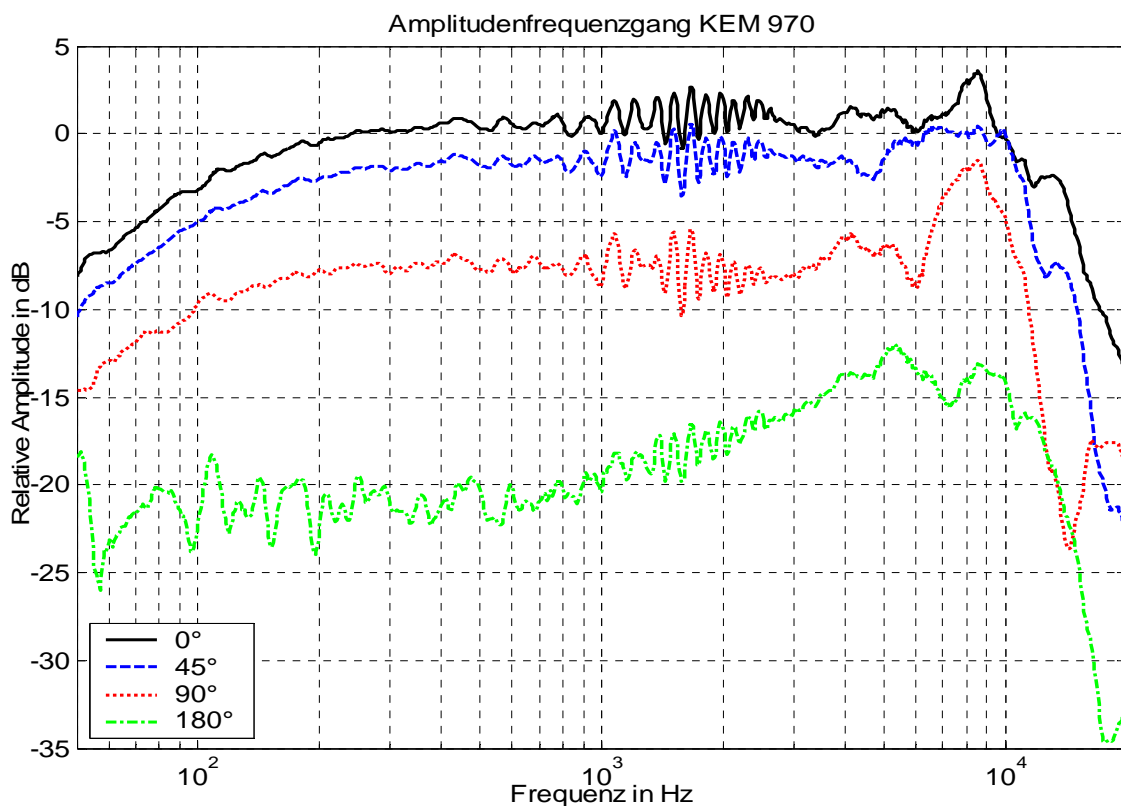


Abb. 2.1.1 AFG KEM 970, gemessen

Die Amplitude fällt unterhalb von etwa 300Hz leicht ab (etwa 3dB/Oktave), oberhalb 300Hz verläuft sie annähernd linear bis etwa 1kHz, ein Anstieg von etwa 3dB ist zwischen 8 und 9kHz zu beobachten. Oberhalb von 10kHz fällt die Amplitude stark ab (etwa 13dB/Oktave). Die Frequenzgänge bei anderen Schalleinfallswinkeln unterscheiden sich hauptsächlich durch eine geringere Gesamtamplitude, der Kurvenverlauf bleibt recht ähnlich. Dies deutet darauf hin, dass Diffus- und Freifeldfrequenzgang annähernd gleich sind. Die geringeren Amplituden der 90- und 180°-Kurven deuten auf eine Nierenförmige Richtcharakteristik hin (Bei 90° leichte Dämpfung, bei 180° sehr starke Dämpfung).

Die Ursache für den Anstieg zwischen 8 und 8kHz ist eine Resonanz, deren Ursprung in der Dimensionierung der Mikrofonkapsel und/oder der Membran begründet ist. Wahrscheinlich handelt es sich um einen von den Mikrofon-Abmessungen abhängigen Druckstau und nicht um eine Membranresonanz, da Kondensator-Druckgradientenempfänger „mittenabgestimmt“ werden (d.h. die Membranresonanz wird in die Mitte des Übertragungsbereichs gelegt) ([4]).

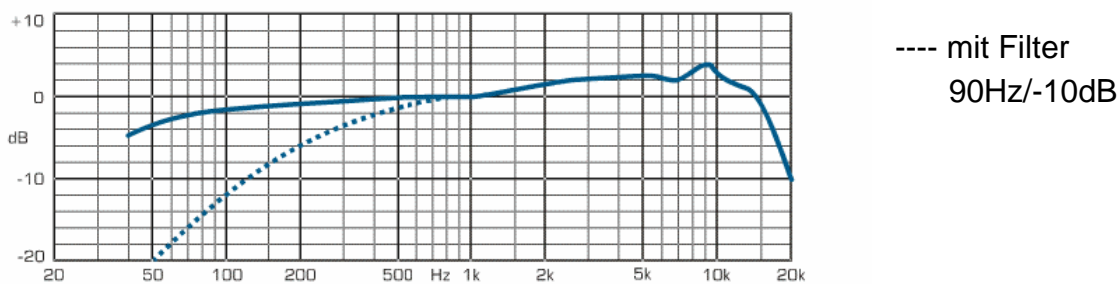


Abb. 2.1.2 AFG KEM 970 bei 0°, Herstellerangabe [2]

Der Amplitudenfrequenzgang des Herstellers stimmt mit dem gemessenen recht gut überein, lediglich der leichte Anstieg zwischen 1 und 5kHz ist in der Messkurve nicht zu erkennen.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Kurven der Hersteller sehr stark geglättet sind, vermutlich wird eine „smooth“-Funktion ähnlich der von Monkey Forest angewendet um optisch „schöne“ Kurvenverläufe zu erhalten. Wenn man davon ausgeht, dass der für das menschliche Ohr wahrnehmbare Schalldruckpegelunterschied im Bereich um 1 dB liegt, ist eine so starke Glättung durchaus kritisch zu betrachten.

Um die Richtcharakteristik des KEM 970 darzustellen werden die Messwerte nach Interpolation ([7]) in ein Polarkoordinatendiagramm übertragen. Zuerst wird die horizontale Ebene in einem Bereich von  $\pm 180^\circ$  dargestellt:

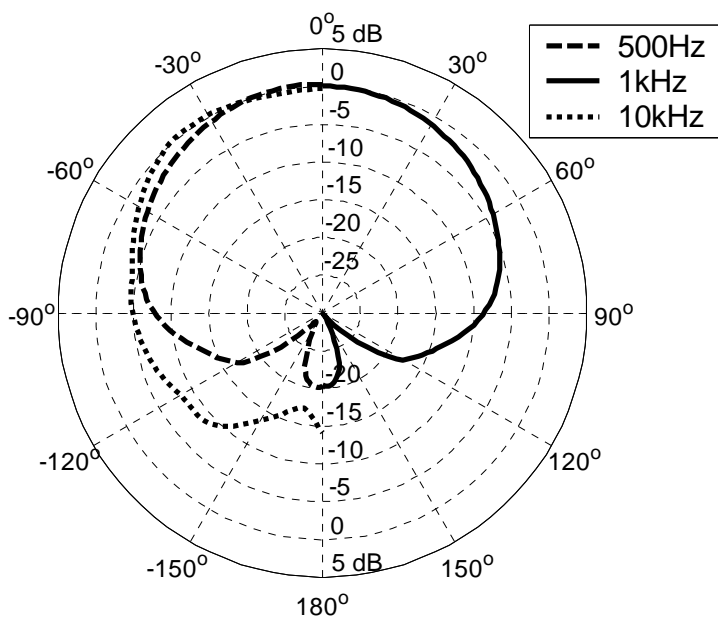


Abb. 2.1.3 Polardiagramm KEM970 horizontal

Es ist eine deutliche nierenförmige Richtcharakteristik zu erkennen. Die Amplitude ist (für 1kHz) bei 90° Schalleinfallswinkel ca. 9dB und bei 180° ca. 20dB geringer als bei frontaler Einfallsrichtung (0°). Bei einer Frequenz von 500Hz und 1kHz stimmen die Charakteristiken fast überein, nur bei einer sehr hohen Frequenz von 10kHz sind Abweichungen von der Nierencharakteristik zu beobachten. Schallereignisse mit einer Frequenz von 10kHz werden vom KEM 970 stärker als bei tieferen Frequenzen auch von „hinten“ (180° ± 90°) wiedergegeben.

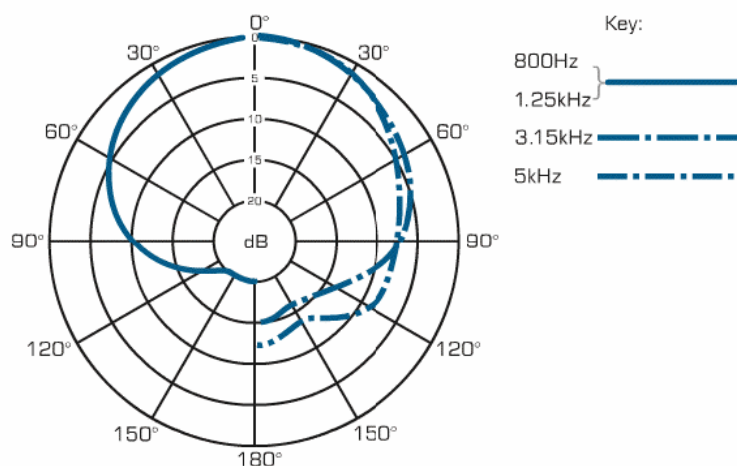


Abb. 2.1.4 Polardiagramm KEM970 horizontal laut Hersteller [2]

Die Herstellerangaben decken sich weitestgehend mit der Messung, bei 500Hz und 1kHz fällt die gemessene Kurve bei 150° Einfallswinkel ca. 8-10dB stärker ab als die

Kurve des Herstellers bei 800Hz und 1,25kHz. Die Dämpfung bei 60° beträgt wie in der Messung etwa 4dB (bei 1kHz bzw. 1,25kHz).

Um die Richtcharakteristik in der vertikalen Ebene zu erfassen, wird ein Polardiagramm für Schalleinfallswinkel von im Bereich von  $\pm 90^\circ$  erstellt:

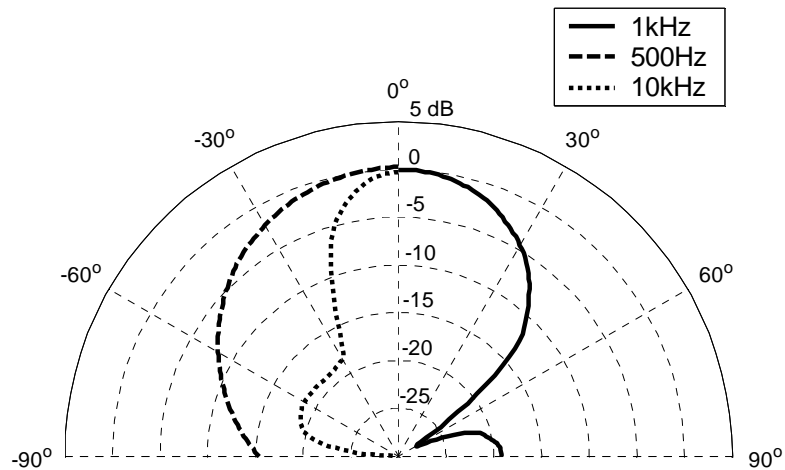


Abb. 2.1.5 Polardiagramm KEM970 vertikal

Für eine Frequenz von 1kHz ist die Richtcharakteristik keulenförmig mit einer Dämpfung um ca. 4dB bei 30°, bei 60° Einfallswinkel beträgt die Dämpfung etwa 28dB. Bei 90° steigt das Übertragungsmaß um etwa 9dB gegenüber dem bei 60° an.

Bei 500Hz ist die Charakteristik nicht mehr keulenförmig sondern eher Nierenförmig, also breiter, die Dämpfung bei 90° liegt hier bei etwa 16dB.

Bei einer Frequenz von 10kHz wird die „Keule“ deutlich schmaler, bei 15° Einfallswinkel tritt eine Dämpfung um ca. 5 dB auf.

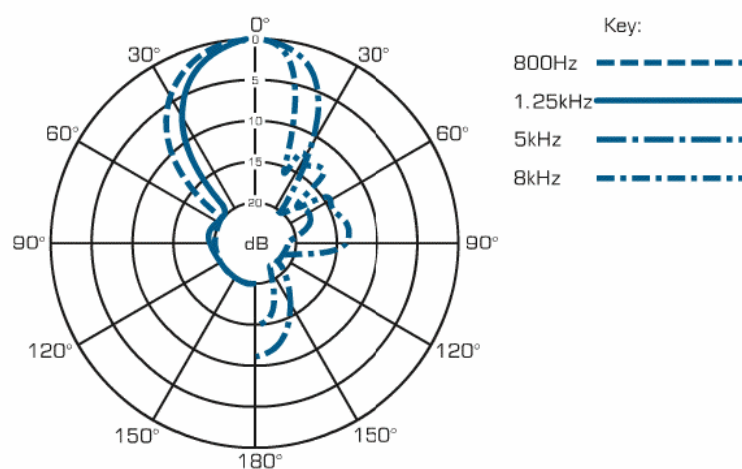


Abb. 2.1.6 Polardiagramm KEM 970 vertikal laut Hersteller [2]

Die Keulenform des Herstellerdiagramms ist deutlich schmaler (gerichteter), für 1,25kHz beträgt die Dämpfung bei 30° etwa 7dB, die maximale Dämpfung wird hier schon bei etwa 45° erreicht (20dB). Die Charakteristik bei einer hohen Frequenz (8kHz) ist wie in der Messung bei 10kHz deutlich schmaler.

Ursachen für die Änderung der Richtcharakteristik bei hohen Frequenzen werden in Abschnitt 1.1.5 beschrieben.

## 2.2 Neumann KM 130

Das Neumann KM 130 ist ein Kondensatormikrofon, welches als Druckempfänger arbeitet und Kugelcharakteristik aufweist.

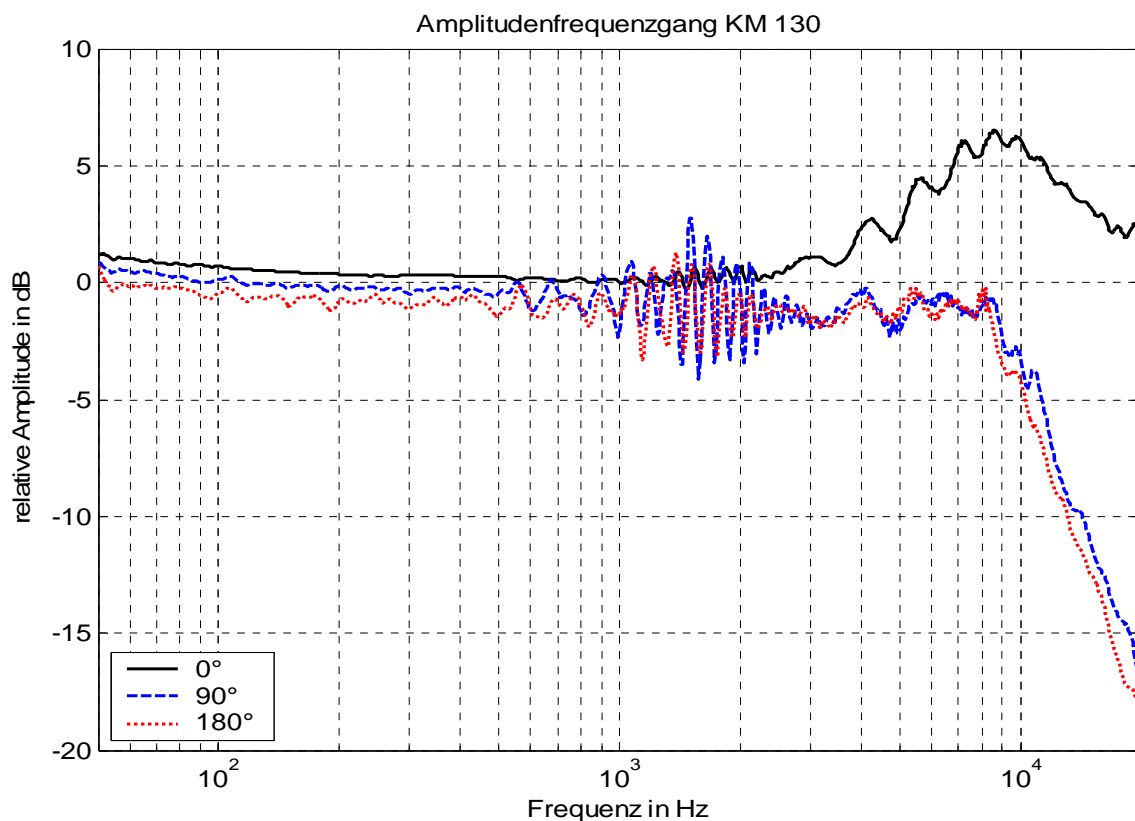


Abb. 2.2.1 AFG KM 130, gemessen

Der Frequenzverlauf ist bis etwa 2kHz annähernd linear (er fällt von 50Hz bis 1kHz nur um etwa 1,5dB ab), steigt bis ca. 9kHz um etwa 6dB an und fällt danach wieder ab. Dieser Buckel könnte entweder durch die Systemresonanz (Kondensator Druck-Empfänger werden hoch abgestimmt) oder durch den so genannten „Staudruck“ zustande kommen, welcher seine Ursache im Einfluss der Mikrofonkapsel auf das Schallfeld hat ([5]). (siehe dazu auch 1.1.6)

Wahrscheinlicher ist der Staudruck als Ursache für diesen Anstieg, da bei der Entwicklung von Kondensator-Druck-Mikrofonen versucht wird, die Systemresonanz sehr hoch, also außerhalb des Übertragungsbereichs zu legen.

Die Frequenzgänge bei 90° und 180° weisen diesen Buckel nicht auf, dies deutet auf eine Diffusfeldentzerrung hin, d.h. das KM 130 wurde für Aufnahmen im diffusen Schallfeld optimiert.

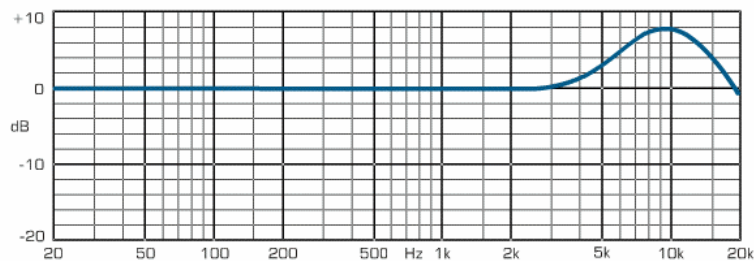


Abb. 2.2.2 Amplitudenfrequenzgang KM130 laut Hersteller [2]

Die Kurve des Herstellers zeigt das Verhalten im Direktfeld. Der Frequenzgang ist bis ca. 3kHz absolut linear. Der anschließende Buckel, welcher sein Maximum von ca. 8dB Anstieg bei etwa 10kHz erreicht, weist im Gegensatz zur Messung einen „glatten“ Verlauf auf. Auch der darauf folgende Abfall weicht von der Messung ab, laut Hersteller fällt die Amplitude von 10kHz an stetig mit etwa 9dB/Oktave auf -1dB bei 20kHz. In der gemessenen Kurve beträgt der Abfall von 9kHz bis ca. 18kHz nur etwa 4dB, danach steigt der Frequenzgang bis 20kHz noch einmal um etwa 1,5dB an.

## 2.3 Neumann KM 131

Ebenso wie das KM 130 ist auch das KM 131 ein Kleinmembran-Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik.

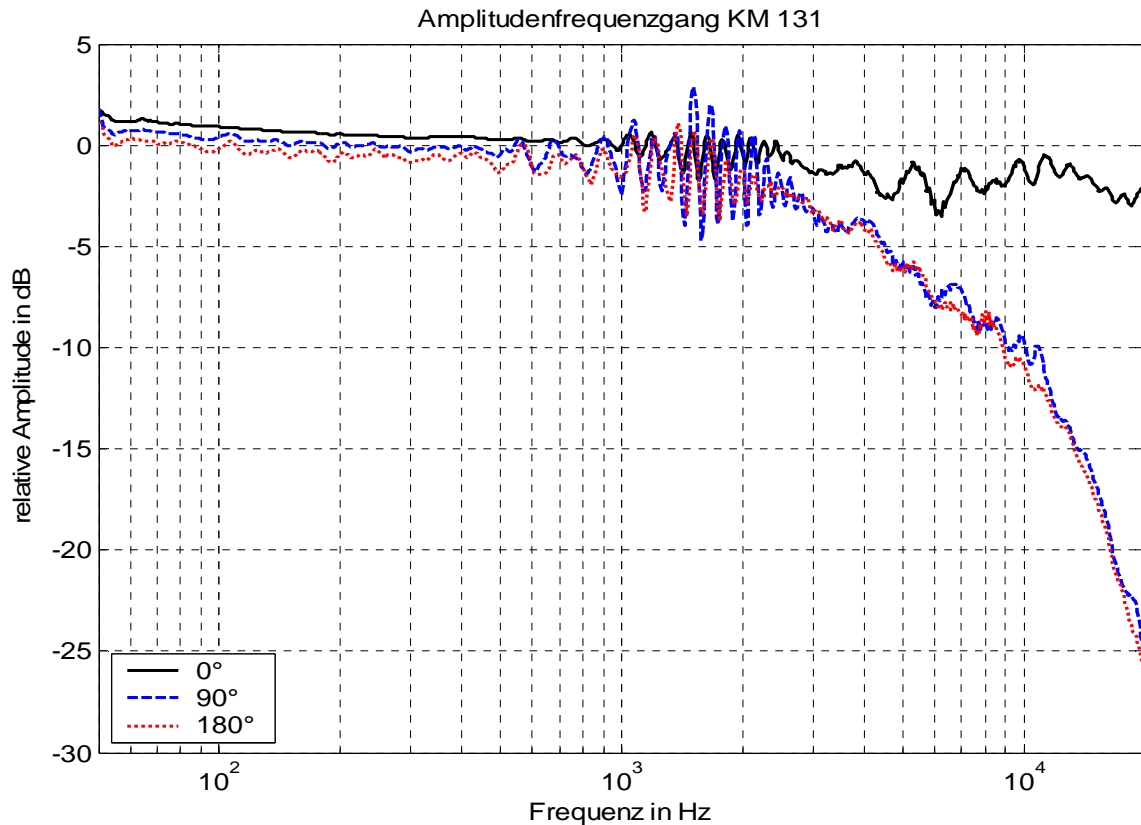


Abb. 2.3.1 AFG KM 131, gemessen

Bis zu einer Frequenz von ungefähr 2kHz gleicht der Frequenzgang dem des KM130, er ist annähernd linear. Danach bleibt er tendenziell gleichmäßig, allerdings mit unregelmäßigen Abschwächungen um bis zu 3dB (Welligkeit).

Die Amplitudenverläufe bei 90° und 180° Schalleinfallswinkel fallen ab etwa 2kHz stark ab (bis 10kHz mit etwa 4dB/Oktave, danach mit etwa 15dB/Oktave).

Dies deutet auf eine Freifeld-Entzerrung hin, die Direktschall-Kurve wird „geglättet“, gleichzeitig verursacht die Entzerrung oben beschriebene Dämpfung bei Schrägem Schalleinfall (Diffusfeld).

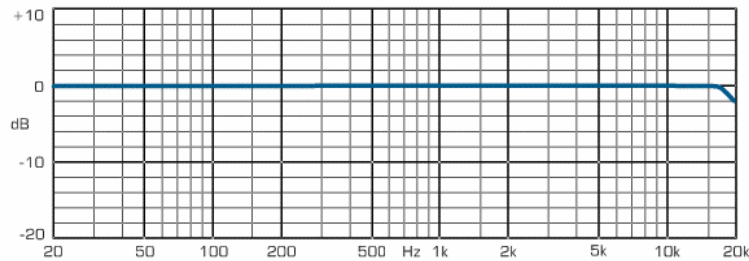


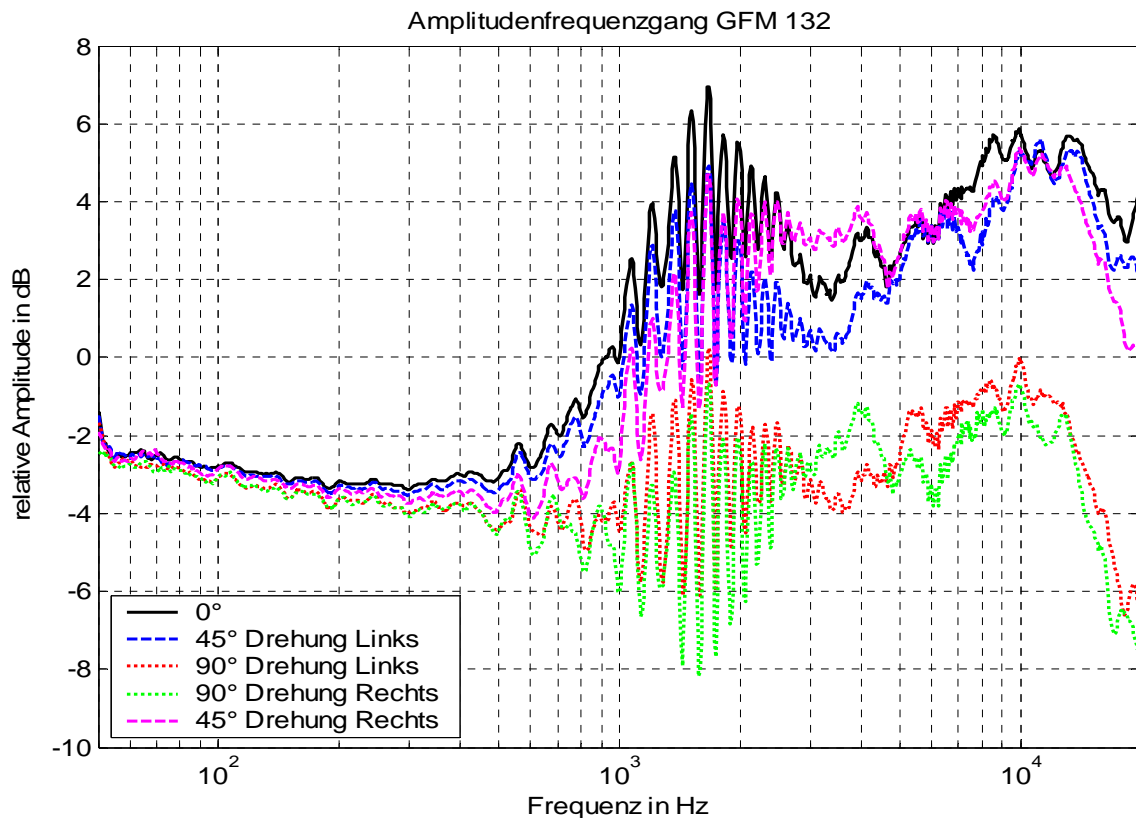
Abb.2.3.2 Amplitudenfrequenzgang KM131 laut Hersteller [2]

Der Frequenzgang (im Freifeld) des KM 131 ist laut Hersteller über den gesamten Übertragungsbereich linear, lediglich ab ca. 18kHz fällt die Amplitude bis 20kHz um 2dB ab. Im Gegensatz zur Messung ist hier keinerlei Unregelmäßigkeit im Wirkungsbereich der Entzerrung festzustellen.

Die bei der Messung des KM 130 sowie des KM 131 auftretende Welligkeit im oberen Übertragungsbereich (etwa 2kHz bis 20kHz) steht wahrscheinlich im Zusammenhang mit der jeweiligen Entzerrung des Mikrofons. Da die genaue Realisierung der Entzerrung nicht bekannt ist, können an dieser Stelle nur Vermutungen aufgestellt werden. Denkbare Ursache für diese Welligkeit wäre z.B. ein fehlerhaft arbeitendes elektrisches Filter in den aktiven Kapseln oder in der Ausgangsstufe KM 100.

## 2.4 Neumann GFM 132

Das GFM 132 ist ein Grenzflächenmikrofon. Die Kapsel dieses Kondensator-Druckempfängers ist bündig in eine schallharte Platte eingebaut, die Einsprechöffnung hat einen Durchmesser von 12mm. Im Schallfeld eines Raumes treten stets frequenz- und ortsabhängige Schalldruck-Maxima und Minima auf, ein an einer Begrenzungsfläche angebrachtes Mikrofon befindet sich immer im Schalldruck-Maximum. Dadurch entfallen Schwankungen im Frequenzgang.



*Abb. 2.4.1 AFG GFM 132, gemessen*

Von 50Hz bis etwa 700Hz ist die Amplitude annähernd linear. Danach steigt sie an und erreicht ein Maximum von ca. 6dB Anhebung bei 10kHz, wonach sie bis 20kHz wieder um ca. 2dB abfällt. Die sehr starke Welligkeit lässt eine Analyse des Frequenzgangs zwischen 1kHz und 3kHz nicht zu.

Die Frequenzgänge für Einfallswinkel von 45° gleichen in etwa dem bei frontalem Schalleinfall. Bei 90° fällt der Pegel oberhalb von etwa 1kHz gegenüber 0° Schalleinfall um 4 – 8dB ab. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass bei höherfrequenten Schallanteilen nicht alle Teile der Mikrofonmembran gleichzeitig erreicht werden. So ergeben sich Interferenzbedingte Abschwächungen (siehe dazu auch 1.1.5).

Bei 90° Einfallswinkel unterscheiden sich interessanterweise die Frequenzgänge für die Drehung nach Links und Rechts zwischen 3kHz und 5kHz. Die Ursache dafür ist vermutlich eine Interferenzerscheinung, welche aufgrund der außermittigen Kapselposition und der Plattenkontur ohne Symmetrieachse nur bei der Drehung in eine Richtung auftritt.

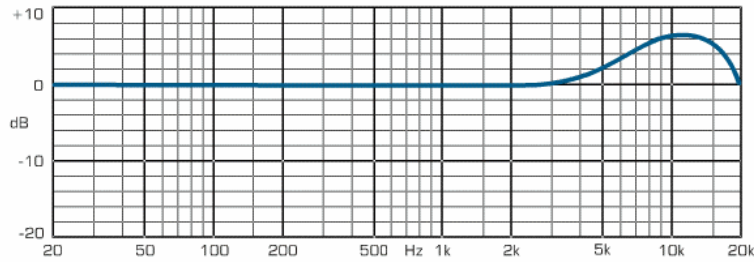


Abb. 2.4.2 Amplitudenfrequenzgang GFM31 laut Hersteller [2]

Es liegen keine Herstellerangaben über den Schalleinfallswinkel vor, es wird aber von einem 0°-Winkel ausgegangen.

Der Frequenzgang des Herstellers unterscheidet sich stark von dem gemessenen, bis 3kHz ist er linear, danach folgt ein Anstieg um etwa 4dB/Oktave bis 10kHz. Das Maximum wird hier bei einer Frequenz etwas über 10kHz erreicht und liegt bei etwa 6,5dB Anstieg. Danach fällt die Amplitude und erreicht bei 20 kHz 0dB.

Die größte Abweichung beim Vergleich der beiden Frequenzgänge ist der bei der Messung ermittelte um etwa 2 bis 4dB geringere Pegel des linearen Kurvenverlaufs bis ca. 700Hz. Die Ursache dafür ist das Fehlen einer ausreichend großen Begrenzungsfläche (z.B. Fußboden, Wand) für die Reflexion von tiefen Frequenzen, für hohe Frequenzen bringt das GFM 132 seine eigene Begrenzungsfläche mit.

## 2.5 Sennheiser MKH 418S

Das MKH 418S ist ein MS-Stereo-Mikrofon. Es besitzt zwei getrennte Kapseln, eine Kapsel erzeugt das Mittensignal (M) in Form einer Keule und die andere Kapsel erzeugt das Seitensignal (S) in Form einer Achtercharakteristik, aus der Kombination beider Signale ergibt sich ein stereofones Signal. Allerdings muss das MS-Signal für die stereofone Wiedergabe noch in ein Links/Rechts-Signal gewandelt werden. Dabei gilt:

$$M + S = 2x \text{ links}$$

$$M - S = 2x \text{ rechts}$$

Das Mittensignal ist Mono-kompatibel, das Seitensignal dagegen hat zwei gleiche Empfindlichkeitsbereiche die gegenphasig aufnehmen (siehe auch 1.1.1).

Grundsätzlich lässt sich eine Acht als Seitensignal mit jeder beliebigen Charakteristik als Mittensignal (außer Achter) kombinieren. Es ergeben sich dadurch verschiedene Aufnahmewinkel.

Bei der Messung werden beide Kapseln einzeln untersucht.

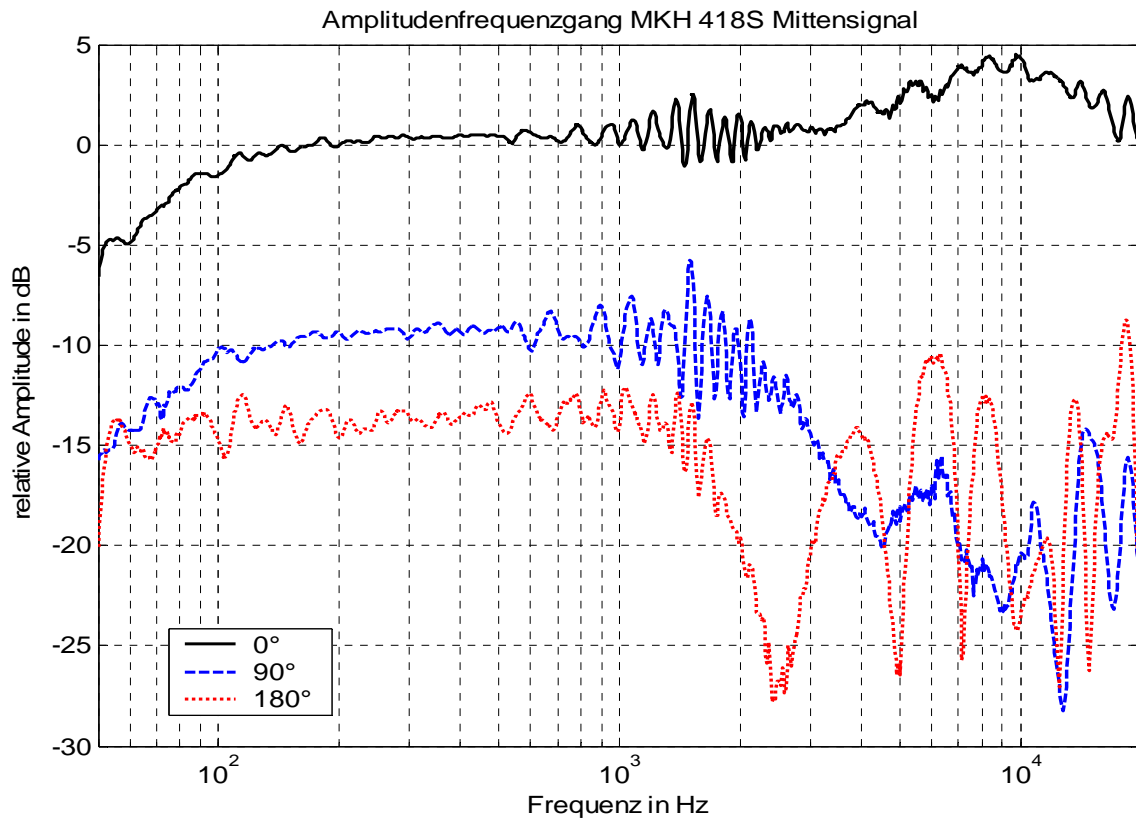


Abb. 2.5.1 AFG MKH 418S Mittensignal, gemessen

Der Frequenzverlauf ist von ca. 200Hz bis ca. 3kHz linear, zwischen 3 und 20kHz weist er eine Erhöhung von maximal ca. 4dB auf, unterhalb 200Hz fällt er bis 50Hz um 5dB ab.

Für Schalleinfallswinkel von 90° und 180° findet eine starke Dämpfung statt, dies deutet auf eine starke Richtwirkung hin, welche bei hohen Frequenzen stärker ausgeprägt ist (Keule).

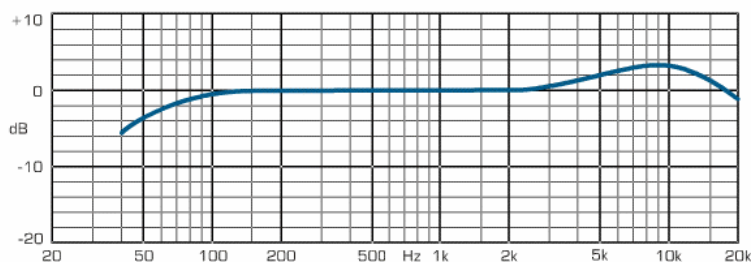


Abb. 2.5.2 Amplitudenfrequenzgang MKH 418S Mittensignal, laut Hersteller [2]

Die Herstellerangaben stimmen gut mit der Messung überein, lediglich die Dämpfung von tiefen Frequenzen setzt hier erst bei 100Hz ein, auch findet hier eine Dämpfung von Frequenzen bei 20kHz um ca. 1,5 dB statt.

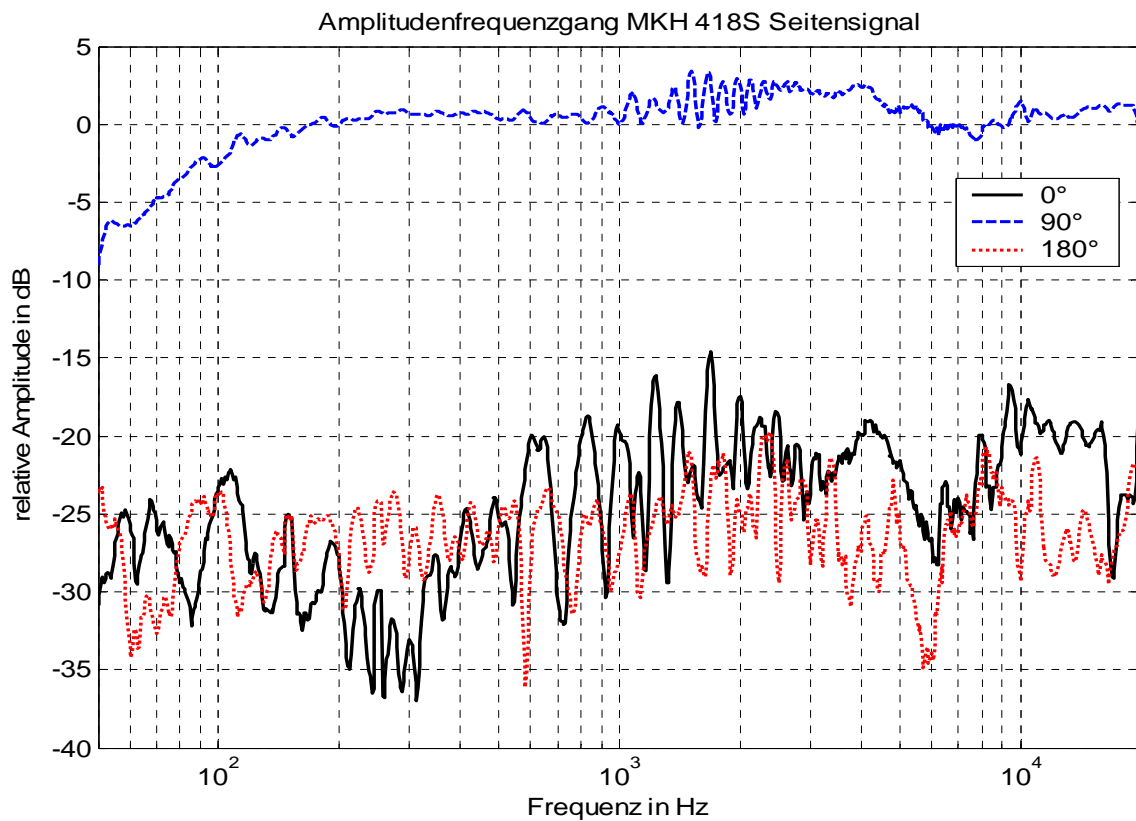


Abb. 2.5.3 AFG MKH 418S, Seitensignal, gemessen

Der Frequenzgang des Seitensignals (bei 90° Schalleinfallswinkel) ist ab etwa 200Hz annähernd linear. Die Frequenzgänge bei 0° und 180° Einfallswinkel sind sehr stark gedämpft (15 bis 35dB), daraus lässt sich die Acht-Charakteristik des Seitensignals erkennen.

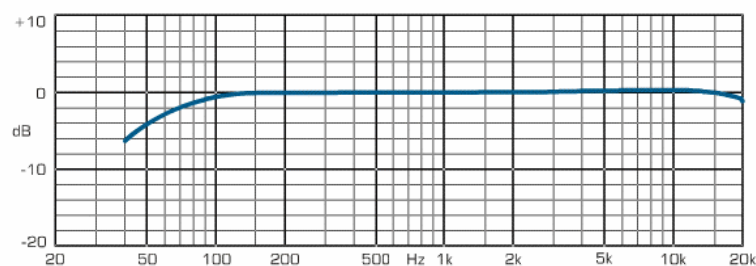


Abb. 2.5.4 Amplitudenfrequenzgang MKH 418S Seitensignal, laut Hersteller [2]

Wie schon beim Mittensignal, gleicht die Herstellerangabe der Messung bis auf die einsetzende Dämpfung bei 100Hz.

## 2.6 Sennheiser e835

Das e835 ist ein dynamisches Gesangsmikrofon. Dynamische Mikrofone sind technisch bedingt für die Wiedergabe von tiefen Frequenzen nicht so gut geeignet wie z.B. Kondensator-Mikrofone und weisen im Allgemeinen keinen so glatten Frequenzgang auf.

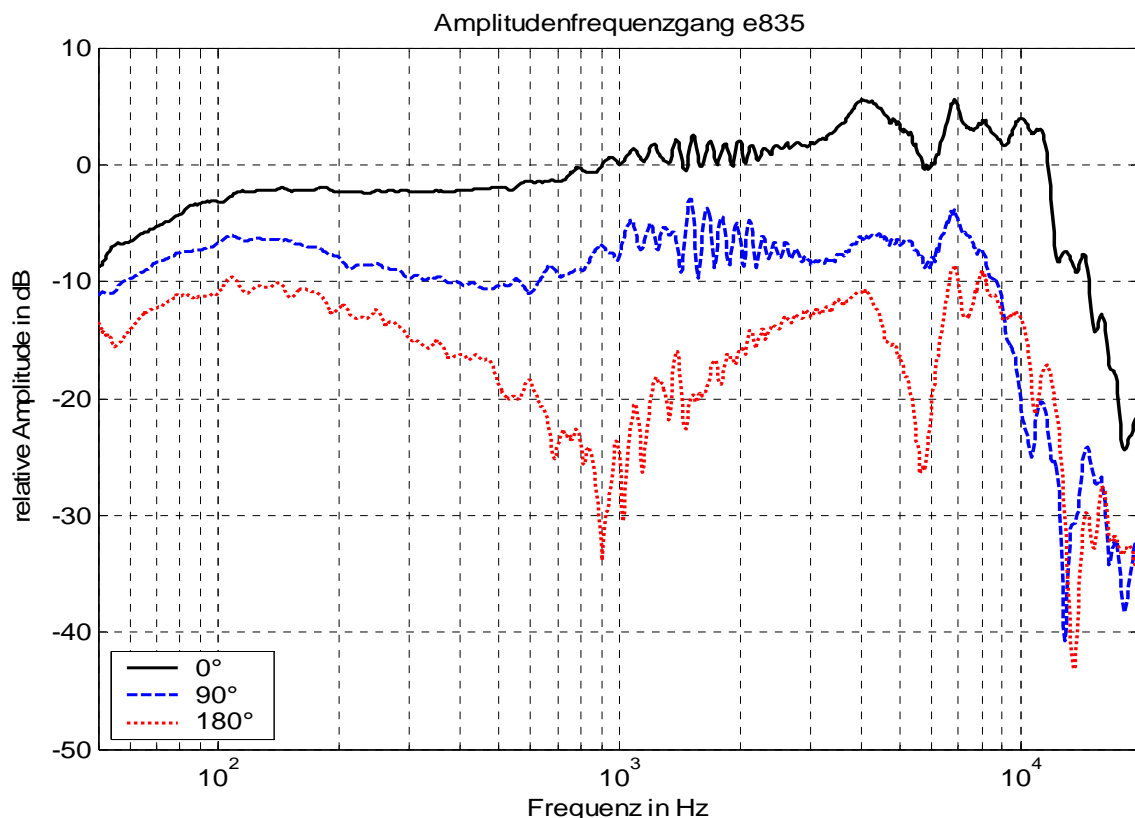


Abb. 2.6.1 AFG e835, gemessen

Der Frequenzgang ist von ca. 100Hz bis etwa 3kHz weitestgehend linear. Ein Anstieg um ca. 5dB ist zwischen 3kHz und 6kHz zu sehen, danach folgen eine starke Welligkeit und ein Abfall des Pegels ab 10kHz um ca. 24dB/Oktave.

Aus den Frequenzgängen bei  $90^\circ$  und  $180^\circ$  ist eine Nieren-Charakteristik erkennen (Bei  $90^\circ$  leichte Dämpfung, bei  $180^\circ$  sehr starke Dämpfung). Bei Schalleinfall von hinten ergibt sich ein Abfall des Frequenzganges bei 900Hz um ca. 32dB. Eine mögliche Ursache könnte der Einfluss der Mikrofonabmessungen sein, welche im Bereich der halben Wellenlänge dieser Frequenz liegen und somit ein Hindernis darstellen. Die halbe Wellenlänge der Frequenz von 900Hz beträgt 18,8cm, das Mikrofon hat laut Hersteller eine Länge von 18cm.

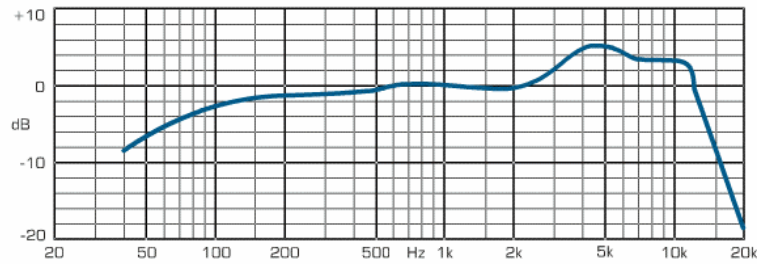


Abb. 2.6.2 Amplitudenfrequenzgang e835 laut Hersteller [2]

Messung und Herstellerangabe sind weitestgehend identisch. Allerdings weist die Messung zwischen 3 und 10kHz eine stärkere Welligkeit auf.

## 2.7 Sennheiser MD 427

Das MD 427 ist ebenfalls ein dynamisches Mikrofon. Allerdings liegt der Anwendungsbereich dieses Mikrofons in der Sprachwiedergabe (Nachfolger des „klassischen“ Reportagemikrofons MD 421).

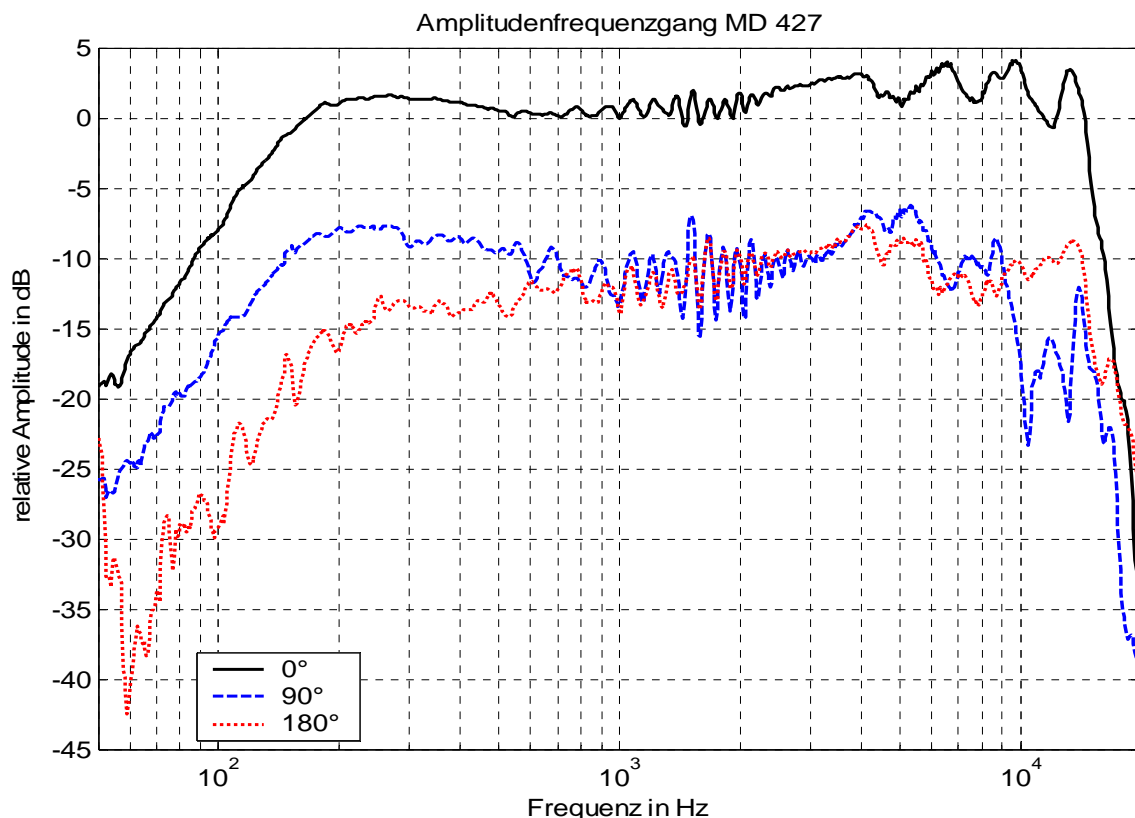


Abb. 2.7.1 Sennheiser MD 427, gemessen

Die Messung des Frequenzganges ergibt einen fast linearen Verlauf zwischen 500 und 2000Hz. Zwischen 170 und 500Hz steigt der Frequenzgang um ca. 2dB an. Oberhalb von 2kHz ist wiederum eine starke Welligkeit zu erkennen. Ab ca. 13kHz ist

ein Abfall von 30dB festzustellen. Die Richtcharakteristik ändert sich von einer Nieren-Charakteristik bei tiefen Frequenzen zu einer Charakteristik, welche bei hohen Frequenzen rückwärtig und seitlich einfallenden Schall im gleichen Maße dämpft.

Der Vergleich mit dem Frequenzgang laut Herstellerangabe muss an dieser Stelle entfallen, da kein Diagramm verfügbar ist.

## 2.8 Shure SM58

Das SM58 ist ebenfalls wie das Sennheiser e835 ein dynamisches Gesangsmikrofon.

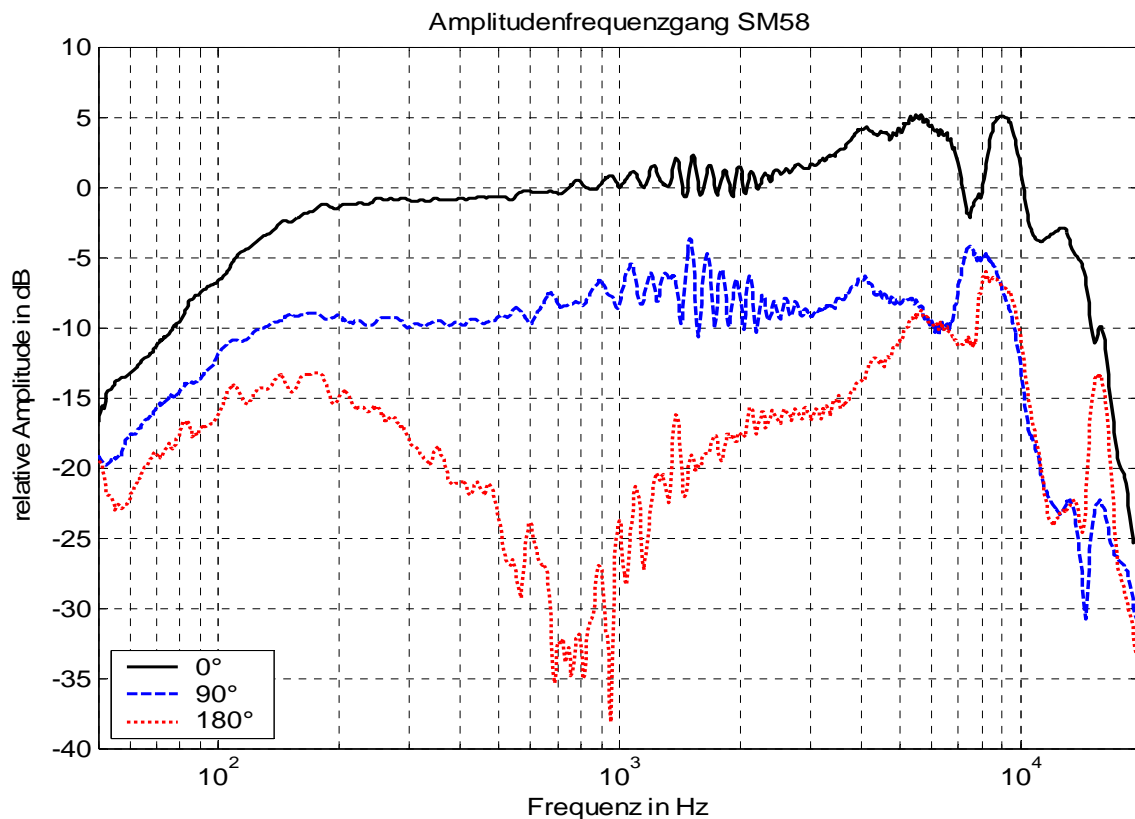


Abb. 2.8.1 Shure SM58

Der gemessene Frequenzgang weist den typischen Verlauf eines dynamischen Nieren-Charakteristik Mikrofons auf. Der starke Abfall bei etwa 800Hz und rückwärtigen Schalleinfall ist vermutlich wiederum auf die Dimensionierung des Mikrofonkörpers zurückzuführen.

Die Unregelmäßigkeiten des Frequenzganges bei höheren Frequenzen sind vermutlich auf mechanische Resonanzen und nicht auf die Systemresonanz zurückzuführen, da Dynamische Druckgradienten Mikrofone „tiefabgestimmt“ werden.

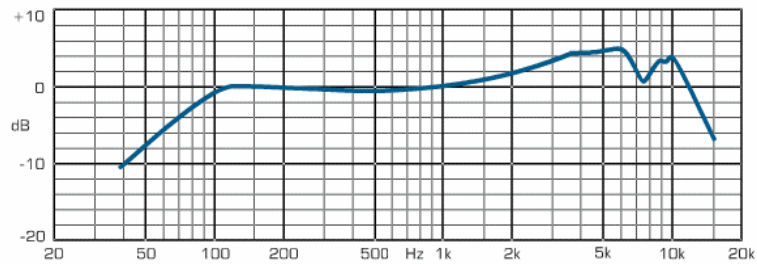


Abb. 2.8.2 Amplitudenfrequenzgang SM58 laut Hersteller

Bis auf den Anstieg im unteren Frequenzbereich, bis ca. 200Hz, unterscheiden sich Herstellerangabe und Messung kaum voneinander. Die Herstellerangabe zeigt einen linearen Anstieg bis 100Hz, bei der Messung verläuft dieser Anstieg bis ca. 180Hz.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die untersuchten dynamischen Mikrofone im Vergleich mit Kondensatormikrofonen mehr Unregelmäßigkeiten im Frequenzgang aufweisen. Dies tritt vor allem bei hohen Frequenzen in Erscheinung und ist für den speziellen Klang dieser Mikrofone von entscheidender Bedeutung. So ist z.B. der Frequenzgang des SM 58 für eine neutrale Sprachaufnahme denkbar ungeeignet, wird allerdings in der Praxis für Gesangsaufnahmen auf Grund seines sehr eigenen Klangs durchaus eingesetzt.

Ursache für die Unregelmäßigkeiten zu hohen Frequenzen hin ist, wie schon oben angedeutet, die Tatsache dass dynamische Druckgradientenempfänger tiefabgestimmt werden. Die Systemresonanz (siehe dazu auch 1.1.6) wird so tief gelegt, dass der Übertragungsbereich oberhalb dieser liegt. Um den starken Abfall, der nach der Resonanzfrequenz auftritt, zu kompensieren, werden beim dynamischen Mikrofon zusätzliche mechanische Schwingkreise angekoppelt. Dies geschieht meist durch zusätzliche Luftvolumina die als Resonatoren wirken. Die sich so ergebenden abgestimmten Resonanzeffekte ermöglichen es, den Frequenzgang von dynamischen Mikrofonen mehr oder weniger gut zu begradigen.

## 2.9 Fehlerbetrachtung

Bei allen aufgenommen Frequenzgängen ist eine relativ stark ausgeprägte Welligkeit im Bereich zwischen 1 und 2kHz zu beobachten. Grund dafür ist der Einfluss des Gesamtaufbaus im reflexionsarmen Raum: eine massive Trägerkonstruktion dient als Aufhängung für den Lautsprecher. In seinen Abmessungen bietet sie im Bereich von ca. 17 bis ca. 34cm Wellenlänge ein einflussreiches Hindernis für die Messungen.

Auch hat der Mikrofonständer Einfluss auf die Messungen, auch er stellt einen Reflektionskörper dar.

Die Ermittlung der Frequenzgänge für verschiedene Schalleinfallswinkel stützt sich auf die Ausrichtung des Mikrofons per Hand mit Hilfe eines Winkelmessers und Augenmaß. Die Genauigkeit der Messwerte ist kritisch zu betrachten.

Bei der Positionierung der Mikrofone konnte ein gleich bleibender Abstand zwischen Lautsprecher- und Mikrofonmembran nicht gewährleistet werden.

Bei einer Abweichung von 10cm (bezogen auf einen Gesamtabstand von 2m) beträgt die Pegeldifferenz allerdings nur ca. 0,3dB (da pro Entfernungsverdopplung im Freifeld der Pegel um 6dB abfällt).

Der RAR kann Frequenzen unterhalb von 60Hz nur ungenügend absorbieren, so dass bei niedrigeren Frequenzen Reflexionen auftreten, welche die Messung beeinflussen können.

### 3 Bestimmung des Mikrofonübertragungsfaktors

Das Verhältnis der vom Mikrofon abgegebenen Spannung zum einwirkenden Schalldruck wird als Übertragungsfaktor bzw. Übertragungsmaß bezeichnet. Der Übertragungsfaktor  $B$  gibt an, welche effektive Wechselfspannung ein Mikrofon abgibt, wenn es einem Schalldruck von 1Pa ausgesetzt wird. Er wird meist für eine Frequenz von 1kHz angegeben.

$$B = \frac{u_{\text{wechsel,eff}}}{p_{\text{eff}}} \quad \text{in} \quad \frac{\text{mV}}{\text{Pa}}$$

Um die Übertragungsfaktoren zu berechnen, werden die Pegelwerte der Mikrofone bei der Frequenz von 1kHz aus den Messdaten der Amplitudenfrequenzgänge für 0°-Schalleinfall entnommen. Sie stellen die Pegeldifferenz  $\Delta L$  zum Referenzmikrofon Microtech Gefell MK250 dar, dessen Übertragungsfaktor  $B_0$  mit 48,6 mV/Pa gegeben ist. Daraus lassen sich die Übertragungsfaktoren anhand folgender Formel berechnen:

$$B = B_0 \cdot 10^{\frac{\Delta L}{20}}$$

Für die Mikrofone ergeben sich folgende Werte:

Mikrofon	Messwert	berechnet	Herstellerangabe	
	$\Delta L$ in dB	B in mV/Pa	B in mV/Pa	
<b>Microtech Gefell</b>				
KEM 970	6.18	<b>99.02</b>	775	
<b>Neumann</b>				
KM 130	-10.37	<b>14.72</b>	12	
KM 131	-9.96	<b>15.44</b>	12	
GFM 132	-10.71	<b>14.16</b>	18	
<b>Sennheiser</b>				
MKH 418S	M	-15.50	<b>8.15</b>	25
	S	-24.76	<b>2.81</b>	10
E 835		-24.92	<b>2.76</b>	2.7
MD 427		-30.73	<b>1.41</b>	1.4
<b>Shure</b>				
SM 58		-27.03	<b>2.16</b>	1.9

Die Tabelle zeigt die ermittelten Übertragungsfaktoren der einzelnen Mikrofone. Man kann erkennen, dass die Übertragungsfaktoren der Kondensatormikrofone deutlich höher als die der dynamischen Mikrofone sind. Grund dafür ist die Spannungsversorgung für Kondensatormikrofone, die eine höhere Ausgangsspannung ermöglichen (Abschnitt 1.1.3). Elektrodynamische Mikrofone hingegen geben „nur“ die durch Bewegung der Membran induzierte Spannung ab (Abschnitt 1.1.4).

Des Weiteren werden Herstellerangaben der Übertragungsfaktoren gegenübergestellt:

Der ermittelte Übertragungsfaktor des Mikrofons Microtech Gefell KEM970 kann nicht ohne weiteres mit der Herstellerangabe verglichen werden: die Angabe des Herstellers bezieht sich auf den Betrieb mit dem zugehörigen Mikrofonvorverstärker, der das Übertragungsmaß in Schalterstellung „line“ auf 775mV/Pa verstärkt. Eine Angabe des Herstellers für den Übertragungsfaktor ohne Vorverstärker ist nicht bekannt.

Für einen ungefähren Wert zu Abschätzung der Größenordnung für eine einzelne Kapsel kann der ermittelte Wert durch die Anzahl der im Mikrofon befindlichen Kapsel dividiert werden. Für eine einzelne Kapsel ergibt sich daraus ein durchschnittlicher Wert von etwa  $\frac{99mV / Pa}{8} = 12,4mV / Pa$ . Dieser Wert liegt in der Größenordnung der Werte, die im Zusammenhang dieser Messung für die weiteren Kondensatormikrofone ermittelt wurden. Ein Vergleich zur Herstellerangabe ist dennoch nicht möglich.

Für die Mikrofone Neumann KM130, KM131 und GFM132 weichen die ermittelten Werte des Übertragungsfaktors von der Herstellerangabe um ca. 20% ab. Für die dynamischen Mikrofone Sennheiser E835 und MD427 sowie Shure SM58 stimmen die ermittelten Werte in guter Näherung mit den Herstellerangaben überein.

Es lässt sich erkennen, dass für kleinere Werte des Übertragungsfaktors auch die Abweichungen zwischen Mess- und Herstellerwert geringer sind.

Wie in Abschnitt 1.1 erwähnt sind Kondensatormikrofon in der Wiedergabe des absoluten Pegels genauer als dynamische Mikrofone. Ein höherer Fehler hierbei ist somit zu erwarten. Für die Anforderungen in dieser Messübung ist ein Fehler in Höhe von den ermittelten 20% tolerierbar. An eine Messung mit geringeren Abweichungen müssten höhere Genauigkeitsanforderungen gestellt werden.

Stärkere Abweichungen sind beim Vergleich der Werte für das Mikrofon Sennheiser MKH 418S zu beobachten. Es handelt sich um ein Kondensatormikrofon, das in dieser Messung für das Seitensignal ein Übertragungsfaktor in der Größenordnung eines dynamischen Mikrofons erreicht. Auch das Mittensignal müsste laut Hersteller einen mehr als doppelt so hohen Übertragungsfaktor aufweisen.

## 4 Bestimmung des Geräuschpegelabstandes

Der Geräuschpegelabstand ist das in Dezibel ausgedrückte Verhältnis der Spannung, die das Mikrofon bei einem Schalldruck von 1Pa (ca. 94dB SPL) und der Frequenz 1kHz abgibt, zur bewerteten Eigenstörspannung.

Die Eigenstörspannung ist die bei fehlender Schalleinwirkung von Mikrofon abgegebene Spannung. Sie kommt vorwiegend durch Wärmerauschen in den elektrischen und akustischen Wirkwiderständen zustande. Die Eigenstörspannung wird CCIR- oder A- bewertet, um ihre Wirkung auf das menschliche Gehör besser beurteilen zu können.

Für die Ermittlung des Geräuschpegelabstandes erfolgt eine Messung der Eigenstörspannung. Hierbei wird jeweils der Spitzenwert gemessen.

Die Messwerte werden mit einem Präzisionsvoltmeter *Sennheiser Universal Messgerät UPM550* im RAR nach Abbildung 3.1 aufgenommen. Das Messgerät bietet die Möglichkeit der Bewertung eines gemessenen Wertes. Hierzu können CCIR- oder A-Bewertung am Gerät eingeschaltet werden. Die Mikrofone werden zur Messung auf eine Schaumstoffunterlage gelegt.

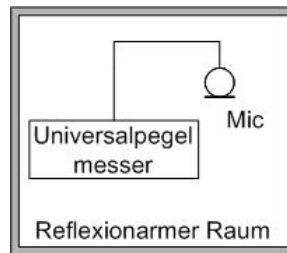


Abb. 3.1 Aufbau für Eigengeräuschpegelmessung

Messergebnisse:

Mikrofon	Gemessene Eigenstörspannung in $\mu\text{V}$		
	unbewertet	A-bewertet	CCIR-bewertet
<b>Microtech Gefell</b>			
KEM 970	900	270	675
<b>Neumann</b>			
KM 130	50	6	4
KM 131	200	6,5	14
GFM 132	18,5*	1,5**	4
<b>Sennheiser</b>			
MKH418S M	24*	3.5	9
S	30*	3.5	10
E 835	220	1.2	4.4
<b>Shure</b>			
SM 58	250	1.5	4.5

\* Mittelwert nach Augenmaß; \*\* kaum messbarer Ausschlag

Aus der gemessenen Eigenstörspannung lässt sich der Ersatzgeräuschpegel berechnen:

$$\text{Ersatzgeräuschpegel} = 20 \cdot \log \left( \frac{\text{Eigenstörspannung}}{\frac{\text{Übertragungsfaktor}}{p_0}} \right), \quad p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

Mikrofon	Berechneter Ersatzgeräuschpegel in dB			Ersatzgeräuschpegel Herstellerangabe in dB	
	unbewertet	A-bewertet	CCIR-bewertet	A-bewertet	CCIR-bewertet
<b>Microtech Gefell</b>					
KEM 970	53,15	42,69	50	15	24
<b>Neumann</b>					
KM 130	44,60	26,18	22,66	16	27
KM 131	56,23	26,44	33,13	16	25
GFM 132	36,3	14,48	23	14	24
<b>Sennheiser</b>					
MKH 418S M	43,63	26,64	34,84	14	-
S	54,55	35,89	45,01	22	-
e 835	72,01	26,74	38,03	-	-
<b>Shure</b>					
SM 58	75,25	30,81	40,35	-	-

- keine Herstellerangaben

Aus den berechneten Ersatzgeräuschpegeln lässt sich der Geräuschpegelabstand ermitteln:

$$\text{Geräuschpegelabstand} = 94 \text{ dB SPL} - \text{Ersatzgeräuschpegel}$$

Mikrofon	Geräuschpegelabstand in dB, Berechnet		Geräuschpegelabstand in dB, Hersteller- angabe		
	A-bewertet	CCIR-bewertet	A-bewertet	CCIR-bewertet	
<b>Microtech Gefell</b>					
KEM 970	51,40	44	79	70	
<b>Neumann</b>					
KM 130	67,82	71,34	78	67	
KM 131	67,56	60,87	78	69	
GFM 132	79,52	71	81	70	
<b>Sennheiser</b>					
MKH418S	M	67,36	59,16	80	-
	S	58,11	48,99	72	-
E 835		67,26	55,97	-	-
<b>Shure</b>					
SM 58		63,19	53,65	-	-

- keine Herstellerangaben

Die Tabelle zeigt die Geräuschpegelabstände der Mikrofone, jeweils mit A- und CCIR-Bewertung. Hierbei sind grundsätzlich die A-bewerteten Pegel höher als vergleichbare Pegel mit CCIR-Bewertung. Der unterschiedliche Verlauf der Bewertungskurven bringt eine unterschiedliche Gewichtung des Pegels bei verschiedenen Frequenzen mit sich und liefert unterschiedliche Einzahlenwerte.

Die A-Bewertung berücksichtigt die Grundtatsachen der Ohrempfindlichkeit und enthält alle Frequenzanteile des Hörbereichs. Der Frequenzgang stellt in etwa die Umkehrung der Kurve gleicher Lautheit mit dem Pegelwert von 30dB bei 1kHz dar.

Die A-bewerteten Geräuschpegelabstände der Mikrofone liegen im Bereich zwischen 51dB und 79dB. Eine klare Unterteilung zwischen Kondensatormikrofonen und dynamischen Mikrofonen kann in Bezug auf den Geräuschpegelabstand nicht beobachtet werden.

Im Vergleich zur Herstellerangabe sind die A-bewerteten Pegel der Kondensatormikrofone - mit Ausnahme des Neumann GFM 132 - deutlich niedriger.

Am stärksten ist die Abweichung beim KEM 970. Möglicherweise liegt die Ursache auch hier in der Tatsache, dass ein Mikrofonvorverstärker andere Ergebnisse, insbesondere positiv Beeinflussung des Geräuschpegelabstands verursachen kann.

Für die dynamischen Mikrofone Neumann E835 und Shure SM58 sind Herstellerangaben des Geräuschpegelabstandes nicht bekannt.

## 5 Zusatzfragen

### 1. Wie funktionieren die sog. 10dB-Schalter an Kondensatormikrofonen?

Der 10dB-Schalter an Kondensatormikrofonen bewirkt eine Vordämpfung um 10dB. Eine Mögliche Realisierung dieser Dämpfung kann durch einen internen Spannungsteiler erzielt werden; z.B. kann durch einen Schalter die Polarisationsspannung für die Kondensatorladung verringert werden. Um eine Absenkung von 10dB zu erreichen, wird die Polarisationsspannung und somit die Ausgangsspannung auf ein Drittel reduziert.

Eine andere Möglichkeit einer Dämpfung kann durch eine Parallelschaltung eines zweiten Kondensators erzielt werden. Die Ausgangsspannung ist zur Kondensatorladung antiproportional. Eine Beeinflussung der Kapazität auf das ca. 3fache der Ruhkapazität bewirkt eine Veränderung der Ausgangsspannung um ca. 10dB.

### 2. Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile von Klein- und Großmembranmikrofonen (tabellarisch).

	Vorteile	Nachteile	Je nach Anwendung vorteil- bzw. nachteilhaft
<b>Großmembranmikrofone</b>	- bessere Tieftonwiedergabe (nur bei Druckgradientenempfängern[5]) möglich	- größere Kapselabmessungen, dadurch: - träger, Membranzmasse höher, Resonanz „früher“ - relativ „früh“ Welligkeit in Frequenzgang, geringere Bandbreite	- höhere Empfindlichkeit - als Druckgradientenempfänger: starke Richtungsempfindlichkeit bei hohen Frequenzen, schwache Charakteristik bei tiefen Frequenzen
<b>Kleinmembranmikrofone</b>	- gute Aufnahme von hohen und tiefen Frequenzen - sehr gutes Impulsverhalten - können in ihrem Gesamtaufbau klein gehalten werden und treten optisch nur wenig in Erscheinung	- optisch weniger Ansprechend	

### *3. Wie kann ein Kondensatormikrofon mit den benötigten Spannungen versorgt werden und wofür werden diese Spannungen benötigt?*

Der Betrieb von Kondensatormikrofonen erfordert die Zufuhr einer Spannung, die zum einen zur Erzeugung und Aufrechterhaltung der Kondensatorladung sowie zur Versorgung des Verstärkers im Mikrofon benötigt wird.

Kondensatormikrofone werden allgemein über zweiadrige geschirmte Kabel betrieben. Bei Mikrofonen für Heim- und Heimstudioeinsatz überträgt eine Ader die Ausgangsspannung und eine zweite Ader den Speisegleichstrom. Der Schirm bildet die gemeinsame Rückleitung.

Im Studiobetrieb wird verlangt, dass beide Tonadern gegenüber dem Bezugspotential (Gehäuse, Kabelschirm, Erde) genau gleiche Potentialdifferenzen besitzen (symmetrische Leitungsführung). Zwei Speisungsarten sind genormt:

#### **Tonaderspeisung**

Bei der Tonaderspeisung nach DIN EN 61938 wird über zwei genau gleichgroße Widerstände von je 180 Ohm eine Tonader mit dem Pluspol, die andere mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle (12V +/- 1V) verbunden. Die Mikrofonschaltung braucht nicht symmetrisch zu sein, darf jedoch nicht elektrisch mit dem Gehäuse und dem Kabelschirm verbunden werden.

#### **Phantomspeisung**

Bei der Phantomspeisung nach DIN EN 61938 fließt der Gleichstrom je zur Hälfte über beide Tonadern zum Mikrofon und gelangt über den Kabelschirm zurück zur Gleichspannungsquelle. Da beide Tonadern auf gleichem Potential liegen, können auf die Anschlussdosen für Phantomgespeiste Mikrofone auch dynamische und andere Mikrofone mit symmetrischer, erdfreier Ausgang geschaltet werden, ohne dass die Speisespannung abgeschaltet werden muss. Versorgungsspannungen können bei 12V +/- 1V, 24V +/- 4V, oder 48V +/- 4V liegen.

### *4. Was ist Interferenzprinzip? Wie kann man noch eine Richtwirkung erzielen?*

Interferenzprinzip ist eine spezielle Methode, durch die der Schall, der aus bestimmten Einfallswinkeln eintrifft beeinflusst werden kann.

Ziel dieses Prinzips bei Richtrohrmikrofonen ist es, seitlich eintreffenden Schall zu dämpfen, um dadurch eine möglichst starke Richtwirkung zu schaffen:

Vor der Membran ist ein Richtelement angeordnet. Das Richtelement besteht aus einem sichtlich geschlitzten oder gelochten, vorne offenen Rohr. Die Richtwirkung eines solchen Mikrofons kommt dadurch zustande, dass Schallanteile aus Richtung der Rohrlängsachse kommend sich im Rohr gleichphasig addieren; Schallanteile, die aus anderen Richtungen eintreffen, werden phasenverschoben überlagert und löschen sich dadurch gegenseitig je nach Phasenlage mehr oder weniger aus.

Grundsätzlich kann eine Richtwirkung durch ein Druckgradientenempfängerprinzip (Abschnitt 1.1.2) erzielt werden. Für Anwendungen, bei denen die Richtwirkung stärker ausgeprägt sein soll, können auch verschiedene Mikrofonkapseln kombiniert werden (z.B. vertikale Richtcharakteristik des KEM 970).

Eine deutlich stärkere Ausprägung der Richtwirkung lässt sich mit dem beschriebenen Interferenzprinzip erzielen, des Weiteren bietet die Variante mit einem Parabolspiegel ebenfalls eine stark ausgeprägte Richtcharakteristik.

*5. Welche Eigenschaften muss eine Membran von Kondensatormikrofonen aufweisen?*

Zu den wichtigsten Eigenschaften einer Membran von Kondensatormikrofonen gehören elektrische Leitfähigkeit, Membranmasse und Steifigkeit.

Die Membran wird aus Metall oder metallisierten Kunststoff hergestellt und ist ca. 1...10µm stark. Je nach Anwendung wird das Verhältnis aus Membranmasse und Luftpolstersteifigkeit (Abschnitt 1.1.6) „hoch“ oder „tief abgestimmt“. Membranmasse in Kombination mit Luftpolstersteifigkeit bestimmen hauptsächlich den durch rein physikalische Eigenschaften gegebenen Frequenzgang.

Zudem soll die Membran auch eine gewisse Steifigkeit aufweisen: Für hohe Frequenzen und schrägen Schalleinfall (Abschnitt 1.1.5) ist der auf die Membran wirkende Druck nicht mehr konstant. Die Steifigkeit nimmt hierbei Einfluss auch die Richtungsabhängigkeit.

Je nach Anwendung wird bei der Herstellung ein Kompromiss dieser Faktoren eingegangen.

## 6 Quellenverzeichnis

- [1] Michael Möser, „Technische Akustik“, 6. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2005
- [2] [www.microphone-data.com](http://www.microphone-data.com)
- [3] Michael Dickreiter, „Handbuch der Tonstudioteknik, Band 1“, 6. Auflage, K. G. Saur Verlag, München 1997
- [4] Gerhart Boré und Stefan Peus, „Mikrophone“, 4. Auflage, Georg Neumann GmbH, Berlin 1999
- [5] Jörg Wuttke, „Mikrofonaufsätze“, 2. Auflage, Schoeps GmbH, Karlsruhe 2000
- [6] Johannes Webers, „Das Handbuch der Tonstudioteknik“, 7. Auflage, Franzis' Verlag, Poing 1999
- [7] Hiroshi Akima, Journal of the ACM, Vol. 17, No. 4, Oktober 1970
- [8] Manfred Krause, “Sound Reproduction”, Encyclopedia of Applied Physics, Vol. 19, VCH Publishers Inc. 1997