

Bestimmung der Richtcharakteristika für unterschiedliche Stereomikrofonierungen

Bachelorarbeit aus Aufnahmetechnik 1, SE

Klammer

Hartwig

Betreuung: Dr. Alois Sontacchi

Graz, 22. Juni 2010



UNIVERSITÄT
FÜR MUSIK UND
DARSTELLENDEN KUNST
GRAZ · AUSTRIA

institut für elektronische musik und akustik



EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am (Unterschrift)

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Betrachtung von verschiedenen Hauptmikrofonierungen für Stereoaufnahmen, wobei der Schwerpunkt bei den jeweiligen Richtcharakteristiken liegt. Es wird versucht die grundlegenden Prinzipien der einzelnen Systeme klar darzustellen und anschliessend die Richtcharakteristiken in MATLAB[®] zu simulieren.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Intensitäts- und der Laufzeitstereofonie. Bei der Intensitätsstereofonie werden das XY-Mikrofonsystem und das MS-Mikrofonsystem genauer betrachtet und bei der Laufzeitstereofonie das Klein-AB-Verfahren und das Groß-AB-Verfahren. Dabei wird versucht, die jeweiligen Vor- und Nachteile zu erläutern und die Theorie hinter den Systemen darzustellen.

Die Simulation in MATLAB[®] beinhaltet die Darstellung der Richtcharakteristik in Polardiagrammen, wobei ideale Mikrofone verwendet werden.

Abstract

The aim of this project is the consideration of the different main microphones for stereo recording. The emphasis is the directivity of the microphones and the trying to figure out the basic principles and simulate the directivity in MATLAB[®].

The main subjects of the project are intensity stereophony and time-of-arrival stereophony. The intensity stereophony contains X-Y technique and M/S technique and the time-of arrival stereophony contains A-B technique with a small distance between the two microphones and a big distance. A discussion about the advantages and disadvantages and the explanation of the theory of the different microphone systems should give more clarification.

The simulation in MATLAB[®] contains the presentation of the directivity in polar plots. Therefore ideal microphones are used.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Abstract.....	3
1. Richtcharakteristik.....	6
1.1 Allgemein.....	6
1.1.2 Richtungsfaktor/Richtungsmaß	8
1.1.3 Bündelungsgrad/Bündelungsmaß	9
1.2 Mikrofonbauformen.....	10
1.2.1 Druckempfänger.....	11
1.2.2 Druckgradientenempfänger	13
2. Stereofonie.....	19
3. Intensitätsstereofonie	21
3.1 XY-Mikrofonverfahren.....	23
3.1.1 Berechnung.....	25
3.1.2 Darstellung der XY-Richtcharakteristik in MATLAB (xy_richtcharakteristik)	26
3.2 MS-Mikrofonverfahren	30
3.2.1 Darstellung der MS-Richtcharakteristik in MATLAB (ms_richtcharakteristik)	34
4. Laufzeitstereofonie.....	37
4.1 Berechnung der Richtcharakteristik.....	40
4.2 Klein-AB-Mikrofonverfahren.....	43
4.2.1 Darstellung der Klein-AB-Richtcharakteristik in MATLAB (ab_richtcharakteristik).....	47
4.3 Groß-AB-Mikrofonverfahren.....	49
4.3.1 Darstellung der Groß-AB-Richtcharakteristik im MATLAB (ab_richtcharakteristik).....	51
4.4 Vergleich von Klein-AB mit Groß-AB	54
5. MATLAB Files.....	56
5.1 Visualisierung der 3-D Richtcharakteristik (richtcharakteristik_3D)	56
5.2 Visualisierung der idealen Richtcharakteristik	

(Richtcharakteristik_Einzelkapsel)	57
5.3 Visualisierung der XY-Richtcharakteristik (xy_richtcharakteristik)	58
5.3 Visualisierung der MS-Richtcharakteristik (ms_richtcharakteristik)	59
5.4 Visualisierung der AB-Richtcharakteristik (ab_richtcharakteristik)	60
6. Literaturverzeichnis	62

1. Richtcharakteristik

1.1 Allgemein

Die Richtcharakteristik beschreibt den Zusammenhang zwischen der Empfindlichkeit eines Mikrofons als Ausgangsspannung in der Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel. Dadurch wird die Richtwirkung des Mikrofons erkenntlich gemacht. Die graphische Darstellung erfolgt mittels einem Polarkoordinatensystem, in dem der Richtungsfaktor oder das Richtungsmaß für wichtige Frequenzen (z.B.: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Hz) eingetragen werden. Bei den Frequenzen handelt es sich eigentlich um Oktavbänder, wobei nicht einzelne Frequenzen herangezogen werden, sondern tatsächlich ein Frequenzband. Die Zusammenfassung in Frequenzbänder ist aussagekräftiger, da diverse Messunsicherheiten damit auch eliminiert werden können. Die Darstellung des Richtungsfaktors lässt die Richtcharakteristik deutlicher erscheinen als die Darstellung des Richtungsmaßes. [1]

Neben dem Wandlertyp (Kondensatormikrofon, dynamisches Mikrofon) dient auch die Richtcharakteristik der Klassifizierung von Mikrofonen. Mit Hilfe der Mikrofonkapsel lässt sich die Richtcharakteristik festlegen. Die Kapseln können als Druckempfänger oder als Druckgradientenempfänger ausgelegt werden. (vgl. 1.2.1 Druckempfänger und 1.2.2 Druckgradientenempfänger)



Abbildung 1: Räumliche Darstellung verschiedener Richtcharakteristiken [5]

Bei den Richtcharakteristiken in Abbildung 1 handelt es sich um Vereinfachungen, die nur der anschaulichen Darstellung dienen sollen, da diese in Wirklichkeit frequenzabhängig sind.

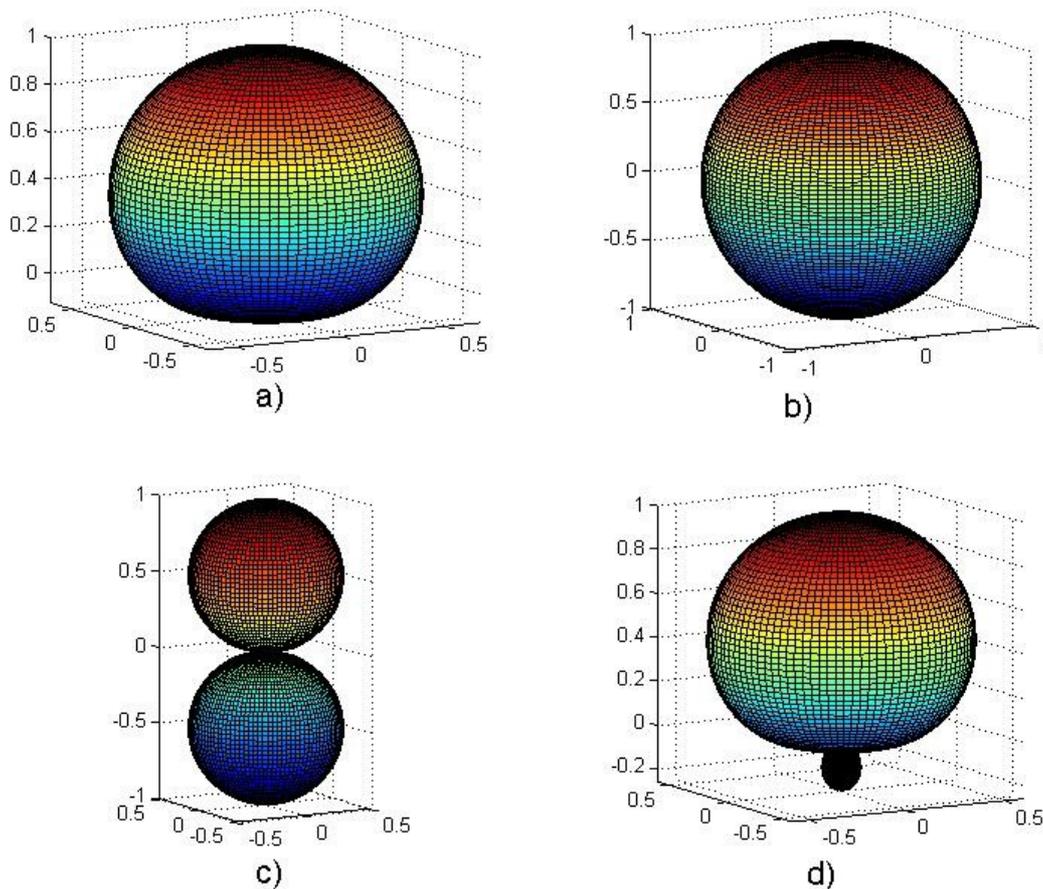


Abbildung 2: 3-D Richtcharakteristiken a) Niere, b) Kugel, c) Acht, d) Superniere

Die 3-D Richtcharakteristiken in Abbildung 2 wurden in MATLAB mit dem M-File *richtcharakteristik_3D* erstellt. Zu beachten ist wieder, dass die hier dargestellten Charakteristika ideale Werte haben, d.h. nicht frequenzabhängig sind und somit in erster Linie wieder der Anschauung dienen. Die Berechnung beruht auf der Richtfunktion, wobei die Werte für A und B aus der Tabelle 1 entnommen worden sind.

Richtfunktion:

$$\Gamma(\vartheta) = A + B \cdot \cos(\vartheta) \quad (1)$$

A...Druck-Skalar (Kugel-Anteil)

B...Druckgradienten-Vektor (Achter-Anteil)

j...gegenphasig

Richtcharakteristik	A	B	Rückwärtsdämpfung
Kugel	1	0	(±) 0 dB
Breite Niere	0,63	0,37	(-) 11,7 dB
Niere	0,5	0,5	(-) unendl. dB
Superniere	0,37	0,63	(-) j 11,4 dB
Hyperniere	0,25	0,75	(-) j 6 dB
Acht	0	1	(±) j 0 dB

Tabelle 1: Eigenschaften idealer Mikrofonkapseln [2]

1.1.2 Richtungsfaktor/Richtungsmaß

Dickreiter beschreibt und definiert den Richtungsfaktor Γ in [1] wie folgt:

„Der Richtungsfaktor Γ eines Mikrofons für eine bestimmte Frequenz und Richtung ist das Verhältnis des Feld-Übertragungsfaktors für eine ebene Schallwelle, die das Mikrofon aus einer bestimmten Richtung trifft, zu demjenigen aus der Bezugsrichtung (Richtung 0° , Bezugsachse). Der Richtungsfaktor hängt von der Einfallrichtung und der Frequenz ab. Er ist dimensionslos.“

„Das Richtungsmaß D ist der 20fache Zehnerlogarithmus des Richtungsfaktors. Er wird in dB angegeben.“

$$D = 10 \cdot \log(|\Gamma|)^2 = 20 \cdot \log(\Gamma) \quad [dB] \quad (2)$$

Γ^2 ...Richtungsgrad [7]

1.1.3 Bündelungsgrad/Bündelungsmaß

Der Bündelungsgrad γ ist eine reine Zahl, die das Verhältnis angibt, um wie viel geringer der Bündelungsgrad im Vergleich zu dem einer idealen Kugel ist. Das heißt, je größer der Unterschied ist, desto mehr wird auch vom umgebenden Raum und vom Diffusschall ausgeblendet. Er charakterisiert den Grad der Bündelung bzw. der Richtwirkung der abgestrahlten Schalleistung. Für den Bündelungsgrad gilt: $\gamma \geq 1$ [7]

Als Beispiel: Eine ideales Nierenmikrofon hat den Bündelungsgrad 3 (vgl. Tabelle 2). Es nimmt somit nur 1/3 der Schalleistung einer Kugel auf, die für die Bezugsrichtung den gleichen Übertragungsfaktor besitzt. Der Abstand des Nierenmikrofons zur Schallquelle kann dadurch um den Faktor $\sqrt{3} = 1,73$ mal größer sein als der eines idealen Kugelmikrofons [1] [6]. In Abbildung 3 sieht man sehr anschaulich die Auswirkung des Bündelungsgrades der einzelnen Mikrofontypen. Je größer der Bündelungsgrad des Mikrofans ist, desto gerichteter ist es und desto weiter kann es von der Quelle entfernt aufgestellt werden.

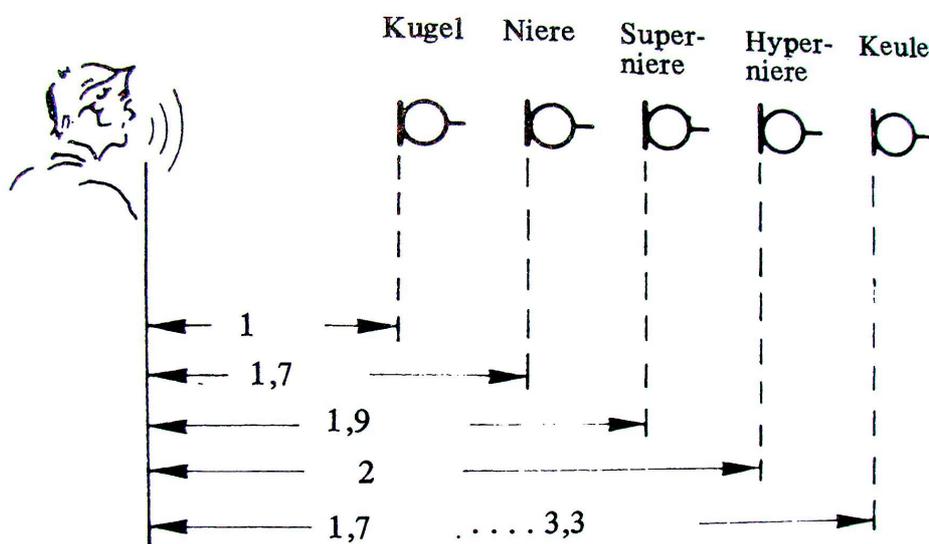


Abbildung 3: Vergrößerungsfaktor für Richtmikrofone [1]

In der englischsprachigen Literatur wird der Kehrwert des Bündelungsgrad verwendet. Dieser wird als „Random Energy Efficiency REE“ bezeichnet.

Mikrofoncharakteristik	Bündelungsgrad γ	Bündelungsmaß [dB]	REE = $1/\gamma$
Kugel	1,000	0	1,000
Breite Niere	2,077	3,17	0,481
Niere	3,000	4,77	0,333
Superniere	3,732	5,72	0,268
Hyperniere	4,000	6,02	0,250
Acht	3,000	4,77	0,333

Tabelle 2: Mikrofon-Bündelungsfähigkeit [4]

„Das Bündelungsmaß d ist der 10fache Zehnerlogarithmus des Bündelungsgrades. Er wird in dB angegeben.“ [1] [7]

$$d = 10 \cdot \log(\gamma) \quad [dB] \quad (3)$$

1.2 Mikrofonbauformen

Ein entscheidender Faktor für die Richtcharakteristik eines Mikrofons ist sein Empfängerprinzip, welches die Art der Umwandlung von akustischen in mechanische Schwingungen vorgibt. Die anschließende Umwandlung in elektrische Schwingungen wird durch das Wandlerprinzip festgelegt, welches auch starken Einfluss auf die Qualität des Mikrofonsignals hat. Um welche Art des Empfängerprinzips es sich handelt, hängt von der Konstruktion der Mikrofonkapsel, der Art des Einbaus der Membran und bei Doppelmembranmikrofonen auch von dem elektrischen Zusammenwirken der beiden Membranen ab. Dabei wird zwischen Druckempfängern und Druckgradientenempfängern unterschieden.

1.2.1 Druckempfänger

Der Druckempfänger ist der einfachste physikalische Aufbau einer Mikrofonkapsel. Dabei ist die Membran rückseitig geschlossen. Dadurch wird verhindert, dass der sich um die Kapsel beugende Schall auf die Rückseite der Membran trifft und diese dadurch beeinflusst. Zur Membranauslenkung kommt es nur dann, wenn der eintreffende Schalldruck sich vom Kapselinnendruck unterscheidet. Das Innere der Kapsel ist nur durch eine kleine Öffnung mit der Außenluft verbunden damit ein Druckausgleich zwischen innen und außen stattfinden kann und überall der gleiche Luftdruck herrscht. Die schnellen Druckschwankungen des Schall werden dabei jedoch nicht ausgeglichen.

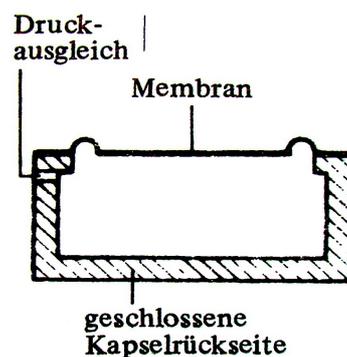


Abbildung 4: Prinzipieller Kapselaufbau eines Druckempfängers [1]

Bei großen Wellenlängen wird der Schall um die Kapsel herum gebeugt und es liegt überall an der Kapsel der gleiche Druck an, der sich mit dem Signalverlauf ändert. Es kommt dadurch weder zu Reflexionen noch zu Schallschatten und somit ist die auf die Membran einwirkende Kraft aus jeder Einfallsrichtung gleich. Der Schall wird somit ungerichtet und immer mit der gleichen Polarität aufgenommen, was letztendlich zu einer kugelförmigen Richtcharakteristik führt.

Die Richtfunktion eines idealen Druckempfängers lautet somit:

$$F(\vartheta) = 1 \quad (4)$$

Mit dieser Richtfunktion erhält man das Polardiagramm in Abbildung 5. Dieses Polardiagramm wurde mit dem M-File *Richtcharakteristik_Einzelkapsel* erstellt. Bei dem Diagramm ist zu beachten, dass die Schalleinfallrichtung aus der 0° -Richtung, also von rechts, kommt.

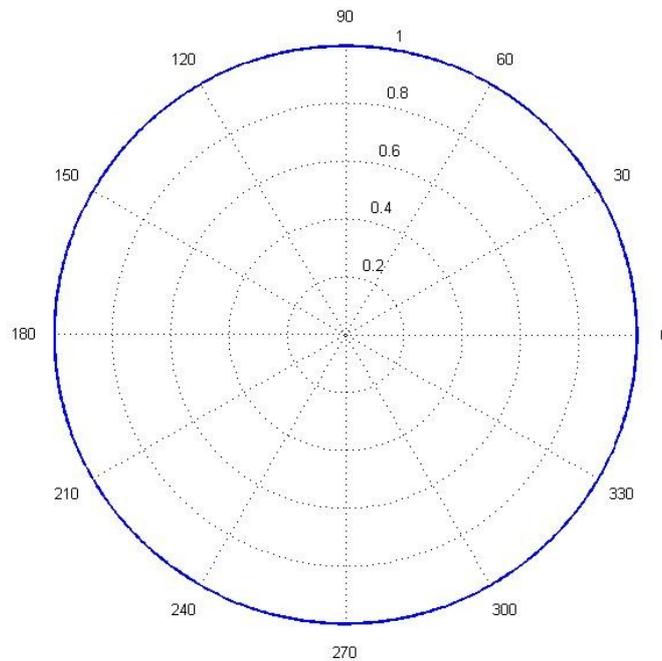


Abbildung 5: Polardiagramm eines idealen Druckempfängers (Kugelcharakteristik)

Werden die Wellenlängen kleiner, d.h. die Frequenzen höher, kommt es bei der Richtcharakteristik zu Abweichungen von der idealen Form (Abbildung 6). Dabei ist zu erkennen, dass bei hohen Frequenzen die Richtcharakteristik eine gerichtete Form annimmt und ihre Kugelform verliert. Dafür sind 3 Phänomene verantwortlich: die Abschattung vom Schall, der rückwärtig oder von der Seite auf die Kapsel trifft, die Interferenzerscheinungen für schräg auf die Membran treffenden Schall und der Druckstau für an der Membran reflektierte Schallwellen. [1] Im Polardiagramm wirken sich diese Phänomene bei zunehmender Frequenz mit einer Ausrichtung der Richtcharakteristik aus.

Druckempfänger weisen eine gute Übertragung auf, haben eine gerade Frequenzganglinie bis in den Bassbereich und sind durch ihre steife

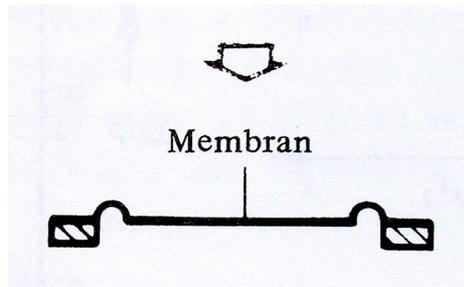


Abbildung 7: Prinzipieller Kapselaufbau eines Druckgradientenempfängers mit Achtercharakteristik [1]

Wird diese Membran von der Seite beschallt, entstehen keine Druckdifferenzen zwischen der Vorderseite und der Rückseite, wodurch es auch zu keiner Membranauslenkung kommt und somit das Mikrofon für diese Schalleinfallrichtung unempfindlich ist (akustischer Dipol). Trifft der Schall jedoch von vorn oder von hinten auf die Membran, so bewirkt die nun auftretende Druckdifferenz die größtmögliche Auslenkung der Membran. Es entsteht die achterförmige Richtcharakteristik, wobei der Schall zwischen vorn und hinten eine Gegenphasigkeit aufweist. Diese Gegenphasigkeit ermöglicht in weiterer Folge das MS-Stereomikrofonverfahren.

Die Richtfunktion für einen idealen offenen Druckgradientenempfänger lautet:

$$\Gamma(\vartheta) = \cos(\vartheta) \quad (5)$$

Mit dieser Richtfunktion erhält man das Polardiagramm in Abbildung 8. Dieses Polardiagramm wurde mit dem M-File *Richtcharakteristik_Einzelkapsel* erstellt. Bei dem Diagramm ist zu beachten, dass die Schalleinfallrichtung aus der 0°-Richtung, also von rechts kommt.

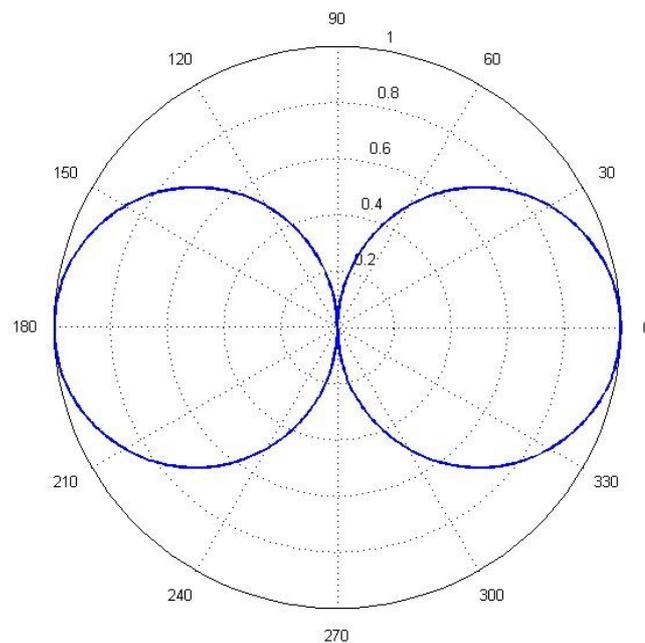


Abbildung 8: Polardiagramm eines idealen offenen Druckgradientenempfängers

Die Achtercharakteristik bietet den Vorteil, dass bei der Aufnahme auftretender seitlicher Störschall gut ausgeblendet werden kann und sie eignet sich gut für Aufnahmen von zwei Sprechern oder Instrumenten, die sich einander gegenüber stehen und nur mit einem Mikrofon aufgenommen werden sollen. [1]

Auf Grund der Entfernungsabhängigkeit des Schalldrucks in der Kugelwelle entsteht bei den Druckgradientenempfängern der Nahbesprechungseffekt. Dieser Effekt bewirkt eine Bassanhebung, wenn der Abstand zwischen Mikrofon und Schallquelle klein wird ($r < \lambda$ bzw. weniger als 1m).

r ...Abstand zwischen Mikrofon und Schallquellen

λ ...Wellenlänge des Schalls

Mit dem Druckgradientenempfänger ist es aber auch möglich andere Richtcharakteristiken zu realisieren. Will man eine Nierencharakteristik erhalten, kann man entweder die Ausgangssignale von eng beieinander stehenden Kugel- und Achtermikrofonen kombinieren (vgl. Abbildung 10) oder aber, was weitaus häufiger gemacht wird, eine Kapsel verwenden, deren hinteres Ende mit einem akustischen

Laufzeitglied versehen ist (vgl. Abbildung 9). Trifft Schall von vorn auf die Membran (0°-Richtung), so hat der von vorn kommende Schall eine andere Wegdistanz zurückzulegen als der von hinten kommende. Dies führt zu einer Druckdifferenz die wiederum zu einer Membranauslenkung führt. Trifft der Schall von hinten auf das Mikrofon (180°-Richtung), so sind die Wegdistanzen, die der Schall für vorn und hinten zurücklegen muss, in etwa gleich. Es kommt zu keiner Druckdifferenz und auch zu keiner Membranauslenkung. Das Ergebnis ist eine nierenförmige Richtcharakteristik.

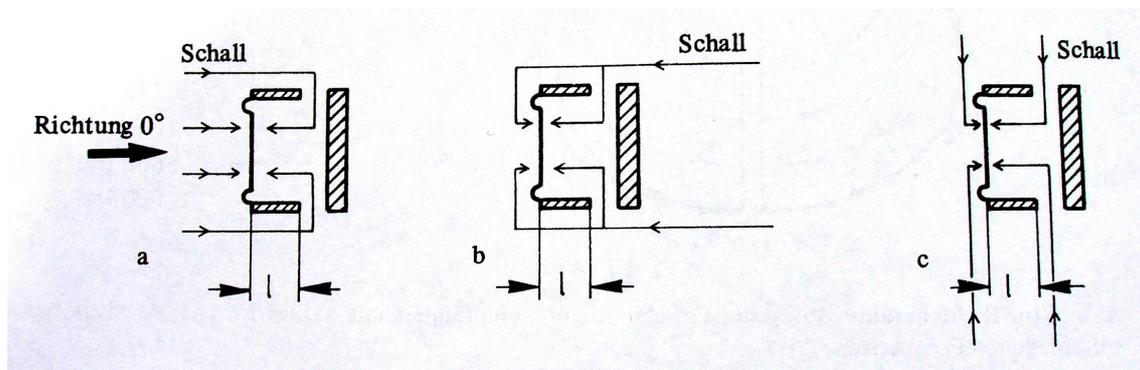
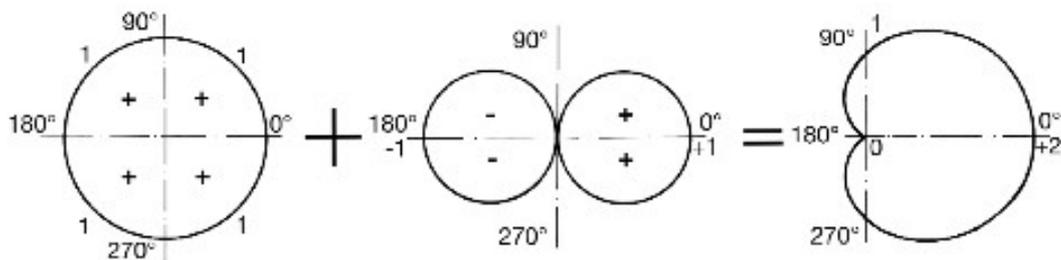


Abbildung 9: Prinzipieller Kapselaufbau eines Druckgradientenempfängers mit Nierencharakteristik durch ein Laufzeitglied [1]



Schallrichtung	Signale von Kugel und Acht (in Schallrichtung)	Summe
0° (axial)	1 + 1	2
90° oder 270°	1 + 0	1*
180°	1 - 1	0

* Dies entspricht -6dB bezogen auf axialen Schalleinfall

Abbildung 10: Nierencharakteristik aus Kombination mit Kugel und Acht [11]

Die Richtfunktion einer idealen Niere ist die Summe aus Kugel ($\Gamma = 1$) und Acht ($\Gamma = \cos(\vartheta)$) normiert auf 1 und lautet:

$$\Gamma(\vartheta) = 0,5 + 0,5 \cos(\vartheta) \quad (6)$$

Mit dieser Richtfunktion erhält man das Polardiagramm in Abbildung 11. Dieses Polardiagramm wurde mit dem M-File *Richtcharakteristik_Einzelkapsel* erstellt. Bei dem Diagramm ist zu beachten, dass die Schalleinfallrichtung aus der 0° -Richtung, also von rechts kommt.

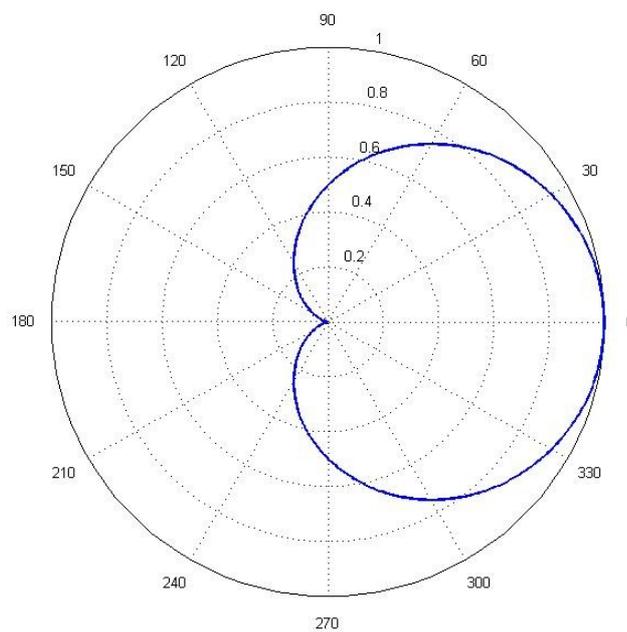


Abbildung 11: Polardiagramm eines Mikrofons mit idealer Nierencharakteristik

Erhöht man bei der Kombination den Anteil der Achtercharakteristik oder verkürzt das Laufzeitglied, so dass geringere Laufzeiten entstehen, erhält man Zwischenformen der Richtcharakteristik zwischen Niere und Acht. Diese sind je nach Verhältnis Hyperniere, Breite Niere oder Superniere.

In Abbildung 12 sind die Frequenzgänge und Richtcharakteristiken eines modernen Studiomikrofons für verschiedene Frequenzen abgebildet. Auch hier ist wieder die deutliche Abweichung von der idealen Form bei hohen Frequenzen erkennbar. Der Frequenzgang eines Mikrofons stellt die Abhängigkeit des Übertragungsmaßes von der Frequenz bei senkrecht auf die Membran eintreffenden Direktschall grafisch dar. In

Abbildung 12 wäre dies der 0° - Frequenzgang. Dieser wird in den Typenblättern angegeben. Die Differenz der Pegel des Diffusfeldfrequenzgangs und des Freifeldfrequenzgangs ist der Bündelungsgrad des Mikrofons. In diesem Fall liegt der Pegel des Diffusfeldfrequenzgangs um 5 dB unterhalb demjenigen des Freifeldfrequenzgangs. [1] Der Diffusfeldfrequenzgang wird in Typenblättern üblicherweise nicht angegeben.

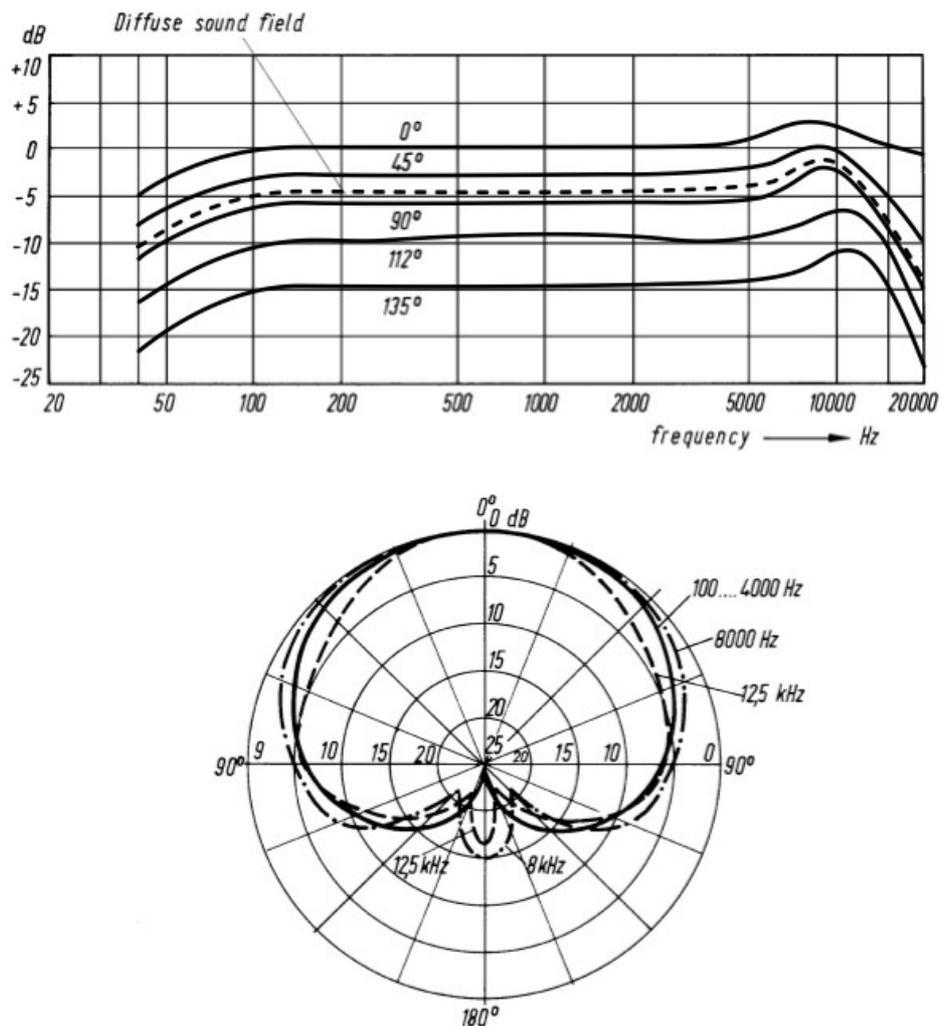


Abbildung 12: Frequenzgang und Polardiagramm eines Druckgradientenempfängers bei unterschiedlichen Frequenzen (Neumann KM 84 i) [15]

2. Stereophonie

Im Gegensatz zur Monowiedergabe versucht die Stereophonie mit Hilfe von mehreren Übertragungskanälen das Klangbild räumlich darzustellen. Dies kann mit zwei, aber auch mit mehreren Kanälen erfolgen (z.B. 3/2-Stereowiedergabe). Das Klangbild erhält dadurch mehr Durchsichtigkeit, Klangfülle und Räumlichkeit, wodurch dem Zuhörer das Gefühl vermittelt wird, er säße direkt im Aufnahmerraum. Da der Mensch zwei Ohren besitzt, ist es ihm möglich, binaural zu hören. Dadurch hat er die Fähigkeit die Richtung und Entfernung einer Schallquelle zu bestimmen (Lokalisation). Im Wesentlichen wird bei der Stereophonie zwischen der kopfbezogenen und der raumbezogenen Stereophonie unterschieden.

Kopfbezogene Stereophonie erreicht man mit dem Verfahren der Kunstkopfstereophonie (vgl. [3] S.122). Bei der raumbezogenen Stereophonie erfolgt die Schallquellenlokalisierung aufgrund der Intensitäts- und/oder Laufzeitdifferenzen zwischen den Kanälen. Damit die Stereophonie aber einen stereofonen Klangeindruck vermitteln kann, müssen bestimmte Bedingungen eingehalten werden:

- Die Lautsprecher sollten gleicher Bauart sein und von Rück- und Seitenwand jeweils die gleichen Abstände haben (ca. 1m).
- Die Hörposition und die Lautsprecher sollten sich in den Spitzen eines gleichschenkeligen Dreiecks befinden, wobei die Lautsprecher direkt auf die Hörposition zeigen sollten (vgl. Abbildung 13)
- Der Hochtöner sollte sich in Ohrhöhe befinden
- Der Raum sollte eine hohe Dämpfung aufweisen (geringer Hall und Reflexionen)

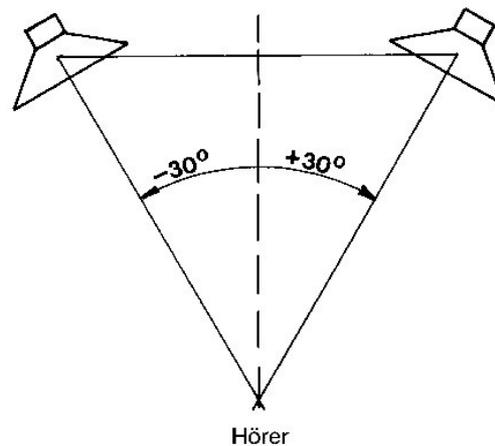


Abbildung 13: Klassische Abhörordnung [11]

Räumlichkeit

Die Räumlichkeit beschreibt, wie viel Rauminformation ein Hörer von einem Raum mitbekommt. Sie ist im wesentlichen von den Reflexionen an den Wänden abhängig. Deshalb wird bei geringer Lautstärke auch wenig Räumlichkeit empfunden, da diese Reflexionen gering sind. Steigt die Lautstärke, nehmen auch die Reflexionen an Boden, Decke, Seitenwänden, Emporen usw. zu. Man erhält einen Raumeindruck und hat das Gefühl, dass der Raum komplett mit Schall gefüllt ist. Die Räumlichkeit gehört zu den raumakustischen Gütemaßen.

Durchsichtigkeit

Eine gute Durchsichtigkeit erlaubt es, in geschlossenen Räumen einzelne Stimmen bzw. Instrumente trotz des überlagerten Raumschalls voneinander zu unterscheiden. (vgl. Klarheitsmaß [9] S.112)

Klangfülle

Die Klangfülle beschreibt mehrere Klänge, die eine große Dichte bzw. Intensität aufweisen.

Als Aufnahmeverfahren für die raumbezogene Stereophonie eignen sich die Intensitätsstereophonie, die Laufzeitstereophonie und die Äquivalenzstereophonie (hat sowohl Intensitäts- als auch Laufzeitdifferenzen z.B. ORTF).

3. Intensitätsstereofonie

Bei der Intensitätsstereofonie werden für die Aufnahme zwei Mikrofone koinzident (d.h. beide Mikrofone befinden sich möglichst nah übereinander auf einer gemeinsamen Achse) aufgestellt. Dies kann als XY-Verfahren (vgl. 3.1 XY-Mikrofonverfahren), aber auch als MS-Verfahren (vgl. 3.2 MS-Mikrofonverfahren) geschehen. Durch diese Anordnung der Mikrofone unterscheiden sich die Stereosignale L (links) und R (rechts) nur durch ihre Pegel, welche letztendlich auch für das Zustandekommen des stereofonen Klangbildes verantwortlich sind. Deshalb müsste das Intensitätsverfahren korrekterweise auch „Pegelstereofonie“ genannt werden, jedoch hat sich der Begriff „Intensitätsstereofonie“ bereits durchgesetzt und wird daher weiterverwendet. [1]

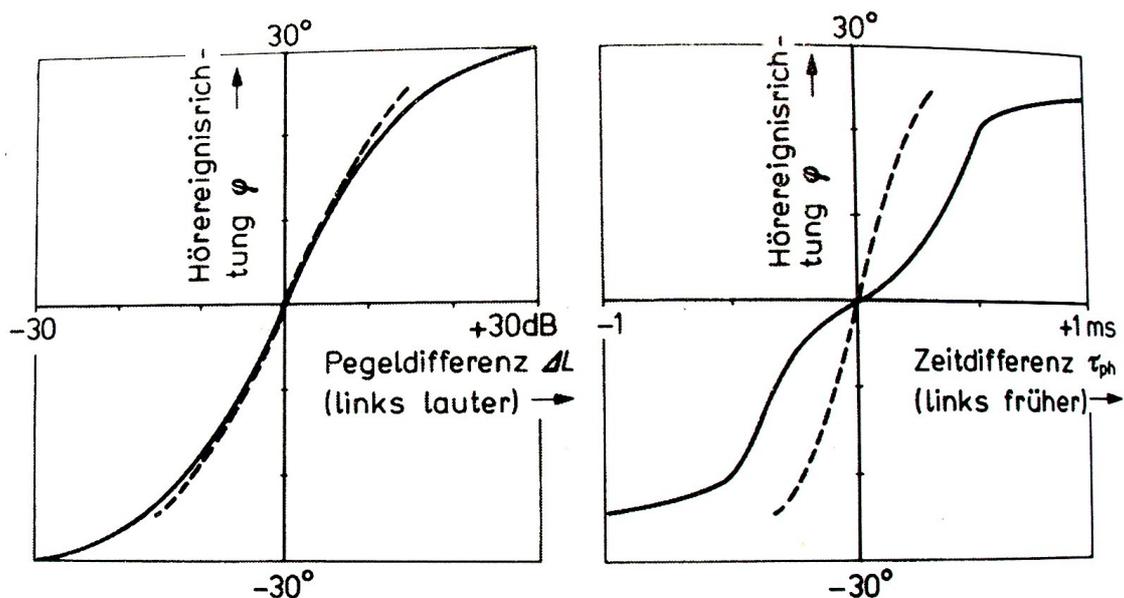


Abbildung 14: Panoramaregler-Kennlinien für die Richtungswahrnehmung von Phantomschallquellen bei Laufzeit- und Pegeldifferenzabhängigkeit. Durchgezogene Linie: für Sprache, gestrichelte Linie: für Impulse [3]

Bei der Intensitätsstereofonie lässt sich die Phantomschallquelle durch Änderung der Pegeldifferenzen zwischen den Signalen in Richtung der Lautsprecher verschieben. Sie wandert bereits ab einer Pegeldifferenz von ca. 0,6 - 2 dB in Richtung des größeren Pegels. Dies funktioniert bis ca. 10 - 20 dB. Ab diesem Wert wird die

Phantomschallquelle nur mehr im Lautsprecher mit dem größeren Pegel wahrgenommen und der Höreindruck ändert sich, auch bei Erhöhung der Pegeldifferenzen, nicht mehr. Damit die Lautheit beim Ändern der Pegel gleich bleibt, muss dafür gesorgt werden, dass auch die Summe der Einzelsignale konstant bleibt. Dafür gibt es die Panoramaregler-Kennlinien (vgl. Abbildung 14). Diese Kennlinien gelten für die klassische Lautsprecheraufstellung bei stereofoner Klangwiedergabe (vgl. Abbildung 13).

Phantomschallquellen sind keine richtigen physikalischen Quellen, sondern werden nur durch die Wahrnehmung erzeugt, wenn ein Schallsignal über mehrere Schallquellen (z.B. Lautsprecher in Stereo- oder Surroundanordnung) abgestrahlt wird. Werden zwei gleiche Signale über zwei Lautsprecher abgegeben, so entsteht der Eindruck, als ob der Schall aus der Mitte zwischen den Lautsprechern kommen würde. Diese Phantomschallquelle lässt sich nicht von einer Monoquelle unterscheiden. Beim natürlichen Hören stimmt hingegen die wahrgenommene Richtung der Schallquelle mit dem tatsächlichen Standort der Quelle überein.

Eine Aufnahme mit der Intensitätsstereofonie kann mittels Hauptmikrofon und mittels Einzelmikrofonverfahren gemacht werden. Als Hauptmikrofon wird ein Koinzidenzmikrofon verwendet. Dabei werden zwei Mikrofone so angeordnet, dass die Kapseln eng übereinander stehen, damit es zu keinen Laufzeitdifferenzen kommt. Zwei verbreitete Verfahren sind XY-Stereofonie und MS-Stereofonie. Die Hauptmikrofone erreichen für die Lokalisierbarkeit der Phantomschallquellen relativ gute Werte von $\pm 5^\circ$ bei den üblichen Lautsprecheranordnungen, doch aufgrund der fehlenden Laufzeitdifferenzen ist die Tiefenstaffelung nicht so stark ausgeprägt wie bei anderen Hauptmikrofonierungen (z.B.: AB-Stereofonie vgl. 4. Laufzeitstereofonie). [1] In Abbildung 15 ist die Lokalisationsschärfe für Intensitätsstereofonie abgebildet. Wie schon erwähnt, sind die Phantomschallquellen auf der Stereo-Lautsprecherbasis leicht zu lokalisieren. Sie sind schmal, genau und gut fokussiert. Wandern sie zum Lautsprecher hin, nehmen sie in ihrer Präzision sogar zu. Ist die Pegeldifferenz so groß, dass die Phantomschallquelle aus nur einem Lautsprecher kommt, so wird aus der virtuellen Quelle eine reale Quelle, nämlich der Lautsprecher selbst. [10]

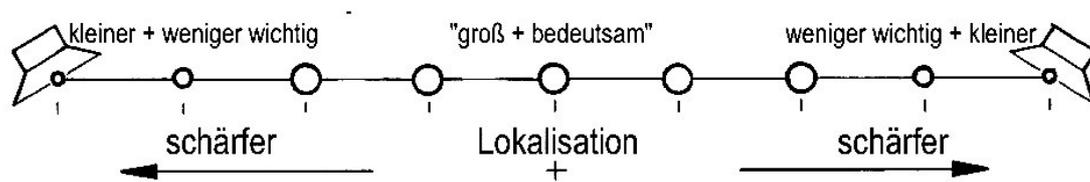


Abbildung 15: Lokalisationsschärfe bei Intensitätsstereofonie [10]

Beim Einzelmikrofonverfahren werden die Schallquellen getrennt aufgenommen, wodurch bei der Wiedergabe eine gute Ortbarkeit und eine gute Tiefenstaffelung entsteht. Der Nachteil dabei ist die fehlende Information der originalen Raumakustik der Aufnahme.

3.1 XY-Mikrofonverfahren

Bei der XY-Stereofonie werden zwei Einzelmikrofone mit gleicher Richtcharakteristik verwendet, wobei dafür entweder Nieren-, Hypernieren- oder Achtercharakteristik in Frage kommen. Die Membranen der Mikrofone sollen dabei möglichst nahe übereinander stehen und nach außen gewinkelt werden. Das nach links gerichtete Mikrofon (X-Mikrofon) liefert das Stereosignal L (linker Kanal), das nach rechts gerichtete Mikrofon (Y-Mikrofon) das Stereosignal R (rechter Kanal). Der dabei entstehende Versatzwinkel ϑ ist abhängig vom erforderlichen Aufnahmebereich bzw. vom Aufnahmewinkel 2φ . Innerhalb dieses Winkels erfolgt die nutzbare stereofone Auflösung. Wählt man einen kleinen Versatzwinkel, so wird der Aufnahmebereich größer.

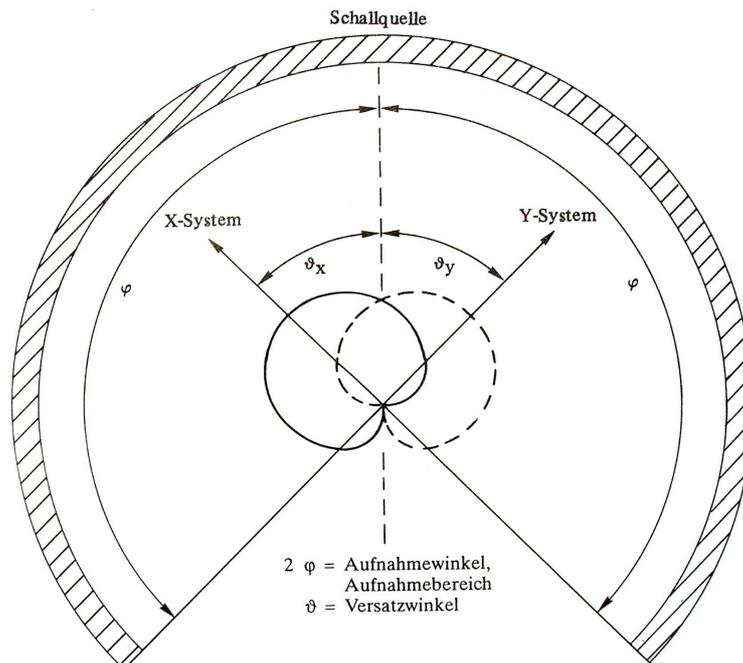


Abbildung 16: XY-Mikrofonanordnung mit zwei Nieren [1]

Richtcharakteristik	Versatzwinkel ϑ
Niere	$\pm 66^\circ$
Superniere	$\pm 58^\circ$
Hypernieren	$\pm 52^\circ$
Acht	$\pm 45^\circ$

Tabelle 3: Theoretisch optimale Versatzwinkel für die XY – Anordnung [3]

Die Werte in Tabelle 3 geben diejenigen Versatzwinkel an, bei denen der -3dB – Punkt der Richtcharakteristik nach vorne zeigt. Eine XY-Anordnung mit diesen Versatzwinkeln nimmt über den gesamten Öffnungsbereich mit nahezu gleichen Pegeln auf (vgl. [3] S.303).

Das XY-Verfahren liefert eine gute Lokalisationsschärfe und gute Kompatibilität zu Mono [1].

3.1.1 Berechnung

Die Pegeldifferenz ΔL der beiden Stereosignale berechnet sich mit folgender Formel:

$$\Delta L [dB] = 20 \cdot \log\left(\frac{X}{Y}\right) \quad (7)$$

$$X = A + B \cdot \cos(\vartheta + \Theta) \quad (8)$$

$$Y = A + B \cdot \cos(\vartheta - \Theta) \quad (9)$$

wobei:

Θ ...Schalleinfallswinkel von der Mikrofonssystemmitte 0° aus

ϑ ...Versatzwinkel

A...Druck-Skalar (Kugel-Anteil)

B...Druckgradienten-Vektor (Achter-Anteil)

Bei den Formeln 8 und 9 entspricht die Variabel X dem Stereosignal L (linker Kanal) und die Variable Y dem Stereosignal R (rechter Kanal).

Höreignisrichtung	0%	25%	50%	75%	100%
ΔL	0 dB	3 dB	6-7 dB	11 dB	18 dB

Tabelle 4: Pegeldifferenzen für verschiedene Höreignisrichtungen für stereofone Wiedergabe [2]

Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, dass bei einer Pegeldifferenz von 0 dB der Schall, der von den Lautsprechern abgestrahlt wird, direkt von vorn, also einer Abweichung von 0% wahrgenommen wird. Bei einer Pegeldifferenz zwischen den Stereosignalen von 18 dB hingegen wird der Schall zu 100% aus jenem Lautsprecher kommend wahrgenommen, der das stärkere Stereosignal wiedergibt.

3.1.2 Darstellung der XY-Richtcharakteristik in MATLAB (*xy_richtcharakteristik*)

Die folgenden Polardiagramme für die XY-Richtcharakteristik wurden in MATLAB mit dem M-File *xy_richtcharakteristik* erstellt. Die Schalleinfallrichtung kommt aus der 0°-Richtung, also von rechts. Die beiden langen Pfeile grenzen jeweils den Aufnahmebereich ein, wobei der halbe Aufnahmewinkel φ von der 0°-Achse aus gemessen wird. Die beiden kurzen Pfeile zeigen die Versatzwinkel ϑ der Mikrofonkapseln an. Auch sie werden von der 0°-Achse aus gemessen. Die Darstellung in Radialrichtung erfolgt nicht logarithmisch, sondern linear von 0 bis 1. Die Gesamtrichtcharakteristik wurde auf 1 normiert und die Einzelrichtcharakteristiken sind demnach um die entsprechenden Werte kleiner. Die theoretischen Grundlagen dieses Kapitels sind [1] entnommen worden.

Der Aufnahmewinkel einer XY-Anordnung lässt sich mit Formel (10) ausrechnen. Wird der Versatzwinkel ϑ vergrößert, so erfolgt eine Einengung des Aufnahmebereichs. Dieser Aufnahmebereich darf in der Praxis nicht größer sein als die Ausdehnung des Klangkörpers. [1]

$$\varphi = \psi - \vartheta \quad (10)$$

ϑ ...Versatzwinkel

φ ...halber Aufnahmewinkel

ψ ...Auslöschungswinkel (Winkel zwischen den Achsen größter und geringster Empfindlichkeit)

$$\psi = 180^\circ \text{ (Niere)}$$

$$\psi = 90^\circ \text{ (Acht)}$$

$$\psi = 126^\circ \text{ (Superniere)}$$

$$\Psi = \pm \arccos\left(\frac{A}{A-1}\right) \quad (11)$$

A...Kugelanteil (Werte vgl. Tabelle 1), Formel (11) gilt nur für Werte zwischen 0 und 0,5

Wählt man für das XY-Mikrofonverfahren zwei Nierenkapseln mit einem Versatzwinkel von 45° , so erhält man laut Formel (11) für den Aufnahmebereich einen Aufnahmewinkel von 270° (vgl. Abbildung 17). Da dieser Wert aber relativ groß ist, erhält man eine recht schmale Stereobasis, d.h. bei der Wiedergabe wird der Klangkörper eher in der Mitte zwischen den Lautsprechern abgebildet. Eine Abbildung der Phantomschallquelle ganz links oder rechts ist kaum möglich.

Dabei sei aber zu beachten, dass in der Praxis der halbe Aufnahmewinkel φ nur in einem Bereich von 0° bis 90° eine gute Auflösung aufweist. Darüber hinaus lässt diese Auflösung stark nach. Der gut nutzbare Bereich 2φ beschränkt sich damit auf 180° . Die Gesamtrichtcharakteristik ähnelt in ihrer Form einer Einzelnieren, doch sie ist wegen der Überlagerung von den zwei Kapseln größer als die einer einzelnen Kapsel. Unter der Annahme, dass die Mikrofone ideale Werte besitzen, lässt sich dieselbe Richtcharakteristik auch mit der MS-Stereofonie erzeugen (vgl. Abbildung 23).

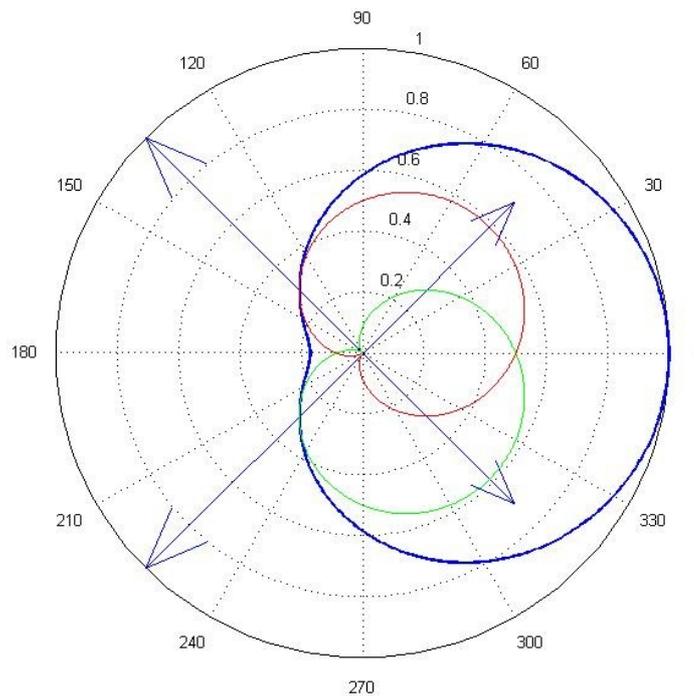


Abbildung 17: XY-Richtcharakteristik mit zwei Nieren mit einem Aufnahmewinkel 2Φ von 270° und Versatzwinkel ϑ von 45°

Vergrößert man den Versatzwinkel ϑ nun von 45° auf 90° , so verkleinert sich der Aufnahmewinkel 2φ auf den für die meisten Fälle günstigeren Wert von 180° (vgl. Abbildung 18). Mit dieser Anordnung kann die Phantomschallquelle gut zwischen beiden Lautsprechern auf der gesamten Stereobasis abgebildet werden. Die Gesamtrichtcharakteristik entspricht hier der einer Kugel. Die Anordnung ist nach vorne und hinten gleich empfindlich. Die rückwärtigen Quellen werden seitenrichtig nach vorne geklappt und mit den vorderen Schallquellen überlagert. Die äquivalente MS-Anordnung ist in Abbildung 24 abgebildet.

Da die Richtcharakteristiken in Wirklichkeit aber nicht ideal, sondern frequenzabhängig sind, lassen sich die XY- und die MS-Technik nicht in gleicher Weise realisieren, da die einzelnen Richtcharakteristiken unterschiedlich frequenzabhängig sind. Die Achtercharakteristik ist am wenigsten frequenzabhängig, gefolgt von der Kugelcharakteristik. Deshalb wird in der Praxis bei einer Aufstellung wie in Abbildung 18 auch die äquivalente MS-Anordnung bevorzugt.

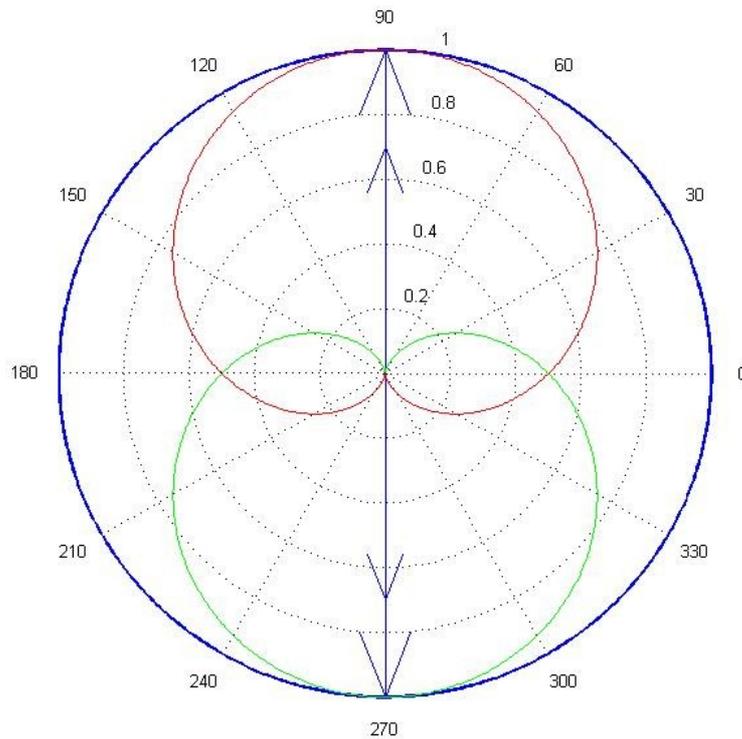


Abbildung 18: XY-Richtcharakteristik mit zwei Nieren mit einem Aufnahmewinkel 2Φ von 180° und Versatzwinkel ϑ von 90°

Die Abbildung 19 stellt die optimale Anordnung dar. Laut Tabelle 3 ist dazu ein Versatzwinkel von $\vartheta = 66^\circ$ notwendig. Daraus ergibt sich ein Aufnahmewinkel 2φ von 228° . Bei dieser Anordnung wird über den gesamten Öffnungsbereich mit nahezu gleichen Pegeln aufgenommen. In Abbildung 25 ist die äquivalente MS-Anordnung dargestellt.

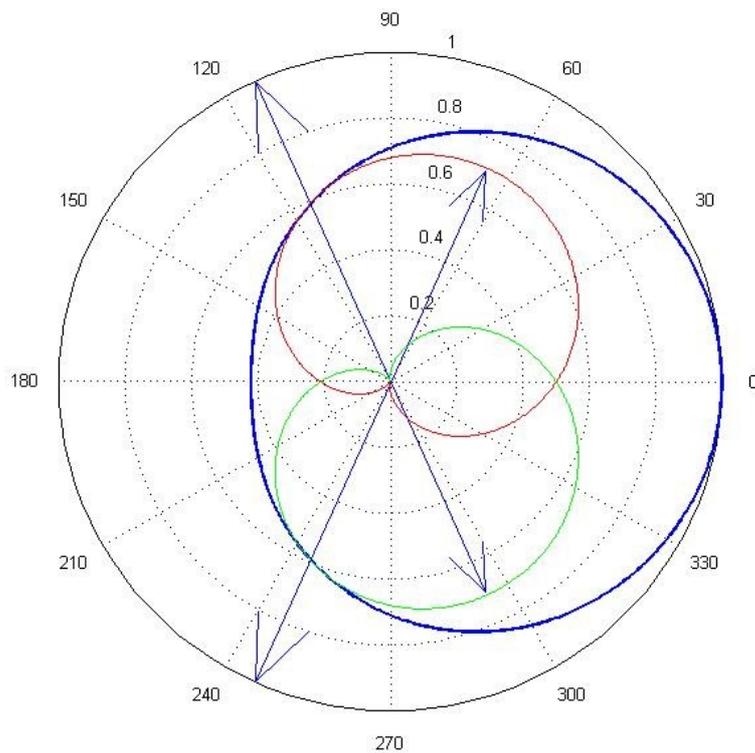


Abbildung 19: XY-Richtcharakteristik mit zwei Nieren mit einem Aufnahmewinkel 2Φ von 228° und Versatzwinkel ϑ von 66°

3.2 MS-Mikrofonverfahren

Bei dem MS-Mikrofonverfahren werden die zwei aufgenommen Stereosignale auf einen Mitten-Kanal (M-System) und einen Seiten-Kanal (S-System) aufgeteilt. Das M-System kann Kugel-, Nieren-, oder Achtercharakteristik besitzen, wobei das Mikrofon auf das Zentrum des Klangkörpers gerichtet wird. Der Versatzwinkel entspricht 0° (vgl. Abbildung 20). Das S-System muss immer aus einer Achtercharakteristik bestehen. Dabei ist zu beachten, dass die positive Polung nach links zeigt und der Versatzwinkel 90° beträgt.

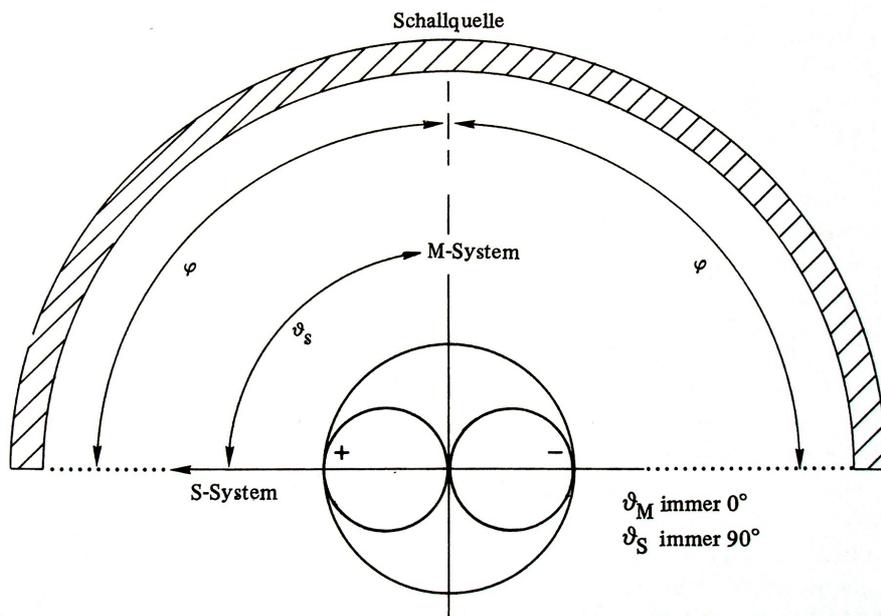


Abbildung 20: MS-Mikrofonanordnung mit Kugel und Acht [1]

Die Schnittpunkte der Mitten-Richtcharakteristik und Seiten-Richtcharakteristik geben den Aufnahmewinkel φ (Öffnungswinkel) an (vgl. Abbildung 21). Mit der Richtcharakteristik des S-Systems und den eingestellten Mikrofonverstärkungen kann man den Aufnahmebereich 2φ einstellen. Vergrößert man den Pegel des S-Signals, verkleinert sich der Aufnahmewinkel. Dadurch vergrößert sich die Abbildung. Aber auch mit dem Pegel des M-Systems lässt sich der Aufnahmewinkel beeinflussen. Je mehr der Pegel des M-Systems zunimmt, desto größer wird der Aufnahmewinkel.

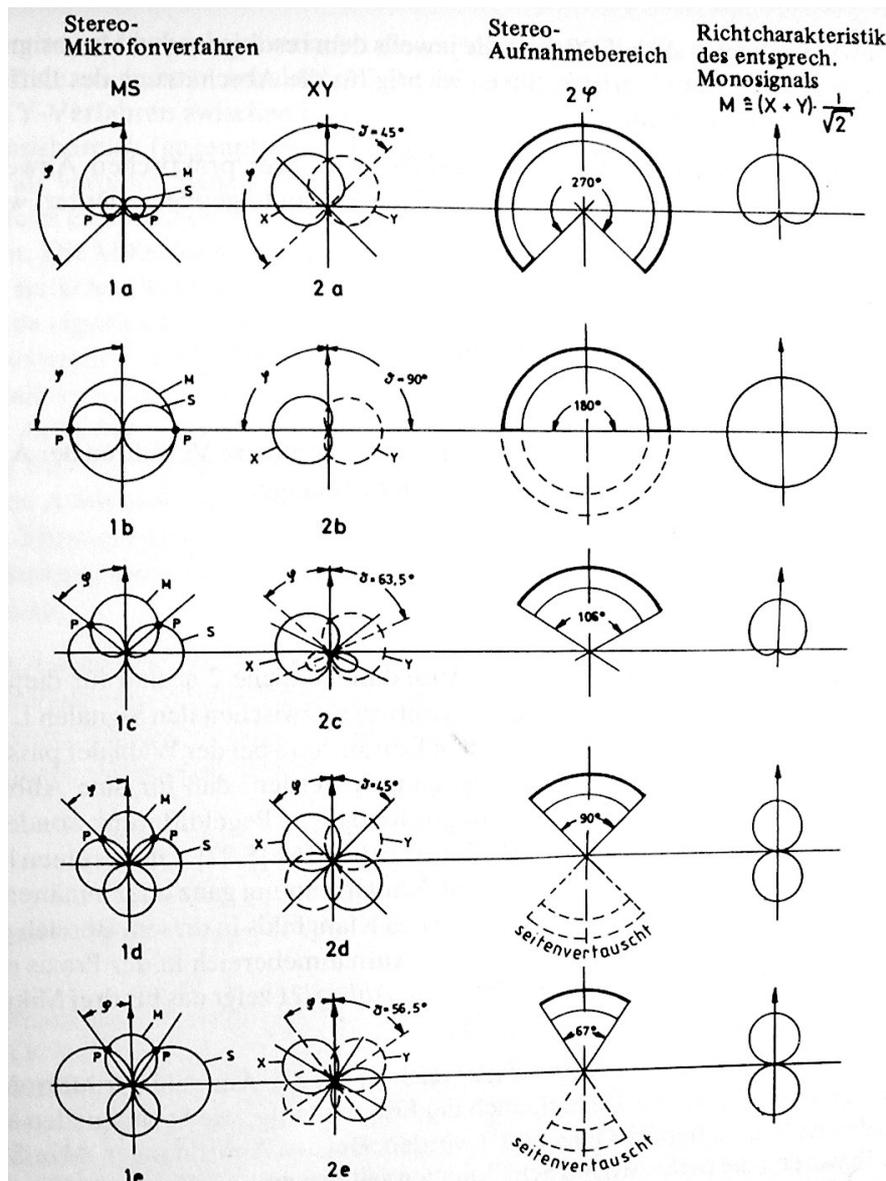


Abbildung 21: "Äquivalente Richtcharakteristik-Kombinationen von MS- und XY-Mikrofonverfahren mit Versatzwinkel ϑ und halbem Aufnahme- oder Öffnungswinkel φ sowie den zugehörigen Aufnahmebereichen 2φ und der Richtcharakteristik der aus den Stereosignalen gewonnenen Monosignale" [1]

Da man mit dem MS-Verfahren nicht direkt die Signale für den linken (L) und rechten (R) Kanal erhält, muss man diese erst mittels folgenden Summen- und Differenzgleichungen aus dem Mittensignal (M) und dem Seitensignal (S) bilden. Der Faktor $1/\sqrt{2}$ entspricht einer Pegelabsenkung um 3dB (Normierung des Signals auf

die Energie). Dies ist notwendig, da sich die Amplitude verdoppelt, wenn ein Stereosignal MS-codiert und wieder decodiert wird. [3]

$$L = (M + S) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (12)$$

$$R = (M - S) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (13)$$

$$M = (L + R) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (14)$$

$$S = (L - R) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (15)$$

Nimmt man an, dass die Mikrofone ideale Richtcharakteristiken besitzen, sind das XY- und das MS-Verfahren äquivalent. Durch Matrizierung mit den obigen Formeln lassen sich die zwei Verfahren ineinander überführen. Diese Umwandlung bezeichnet man oft auch als Stereoumsetzung.

Die Abbildung 22 zeigt die technische Realisierung der MS-Decodierung mit einem Mischpult. Das Seitensignal kann entweder mittels einem Kabeladapter aufgesplittet werden, oder vom Mischpultkanal des ersten Seitensignal über einen Ausspielweg des Pultes in den zweiten Kanal des Seitensignals geroutet werden. Die Signalinvertierung erfolgt entweder mittels eines phasendrehenden Kabeladapters oder mit dem Phasendreher des Mischpultkanals. Bei modernen digitalen Mischpulten wird diese spezielle Einstellung bereits als eigene Konfiguration angeboten (z.B DM 2000)

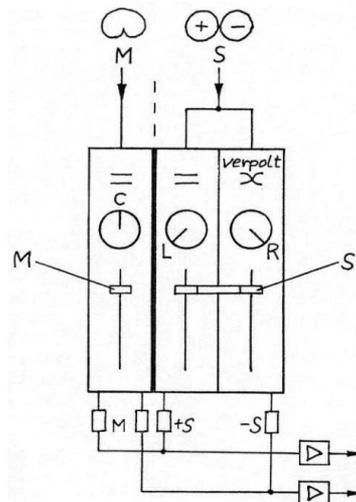


Abbildung 22: MS-Decodierung mit dem Mischpult [14]

Ein Vorteil des MS-Verfahren liegt darin, dass man durch Veränderung des M-Pegels zum Seitenkanalpegel auch nachträglich (z.B. im Tonstudio) noch die Basisbreite des Stereosignals verändern kann. Erhöht man den Pegel des S-Signals, wird die Stereoabbildung breiter und halliger. Senkt man den S-Pegel ab, wird die Abbildung enger und trockener.

3.2.1 Darstellung der MS-Richtcharakteristik in MATLAB (*ms_richtcharakteristik*)

Die folgenden Polardiagramme für die MS-Richtcharakteristik wurden in MATLAB mit dem M-File *ms_richtcharakteristik* erstellt. Die Schalleinfallrichtung kommt aus der 0° -Richtung, also von rechts. Die beiden langen Pfeile grenzen jeweils den Aufnahmebereich ein, wobei der halbe Aufnahmewinkel φ von der 0° -Achse aus gemessen wird. Der Versatzwinkel ϑ der Mikrofonkapseln beträgt in allen Diagrammen die vorgeschriebenen 90° von der 0° -Achse aus gemessen. Die Darstellung in Radialrichtung erfolgt nicht logarithmisch, sondern linear von 0 bis 1. Die Gesamtrichtcharakteristik wurde auf 1 normiert und die Einzelrichtcharakteristiken sind demnach um die entsprechenden Werte kleiner. Die theoretischen Grundlagen dieses Kapitels sind [1] entnommen worden.

Bei der MS-Stereophonie wird der Aufnahmewinkel 2φ durch die Schnittpunkte von den M- und S-Richtcharakteristiken gegeben. Wird der Pegel des S-Signals größer, verkleinert sich der Winkel. Ebenso gilt, wenn der Pegel des M-Signals größer wird, vergrößert sich der Aufnahmewinkel.

In Abbildung 23 ist die MS-Anordnung mit einem Aufnahmewinkel von $2\varphi = 270^\circ$ dargestellt. Diese Anordnung entspricht, unter der Voraussetzung idealer Mikrofone, der XY-Anordnung in Abbildung 17. Bei diesen Anordnungen ist die Empfindlichkeit für rückwärtige Schallquellen so gering, dass dieser Bereich bei einer Aufnahme praktisch nicht nutzbar ist. Um einen Aufnahmewinkel von 270° zu erreichen, muss der Pegel des M-Signals ca. um den Faktor 5 größer als der Pegel des S-Signals sein (vgl. 5.3 Visualisierung der MS-Richtcharakteristik (ms_richtcharakteristik))

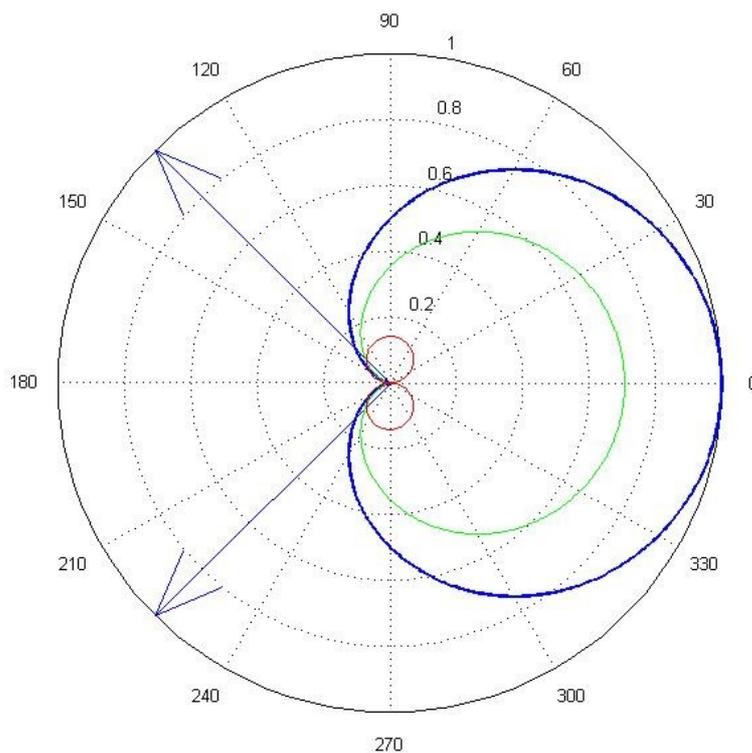


Abbildung 23: MS-Richtcharakteristik mit Niere und Acht und einem Aufnahmewinkel 2Φ von 270°

Verwendet man, wie in Abbildung 24 für das M-System ein Mikrofon mit

Kugelcharakteristik und für das S-System ein Mikrofon mit Achtercharakteristik, so ergibt sich in Summe als Gesamtrichtcharakteristik ebenfalls eine Kugel. Das dies auch mit anderen Richtcharakteristiken des M-Systems gilt, kann über die Gleichungen für die Matrizierung (vgl. 3.2 MS-Mikrofonverfahren, Formel (12) und (13)) hergeleitet werden:

Es gilt:

$$MS = L + R \quad (16)$$

$$MS = (M + S + M - S) \quad (17)$$

$$MS = (2 \cdot M) \quad (18)$$

Wie in Formel (18) ersichtlich, beträgt die Gesamtrichtcharakteristik MS 2x der Richtcharakteristik des M-Systems. Der Faktor $1/\sqrt{2}$ wurde bei der Herleitung weggelassen, da er bei der Herleitung keine relevante Aussage hat, jedoch bei der Darstellung in den Polardiagrammen berücksichtigt.

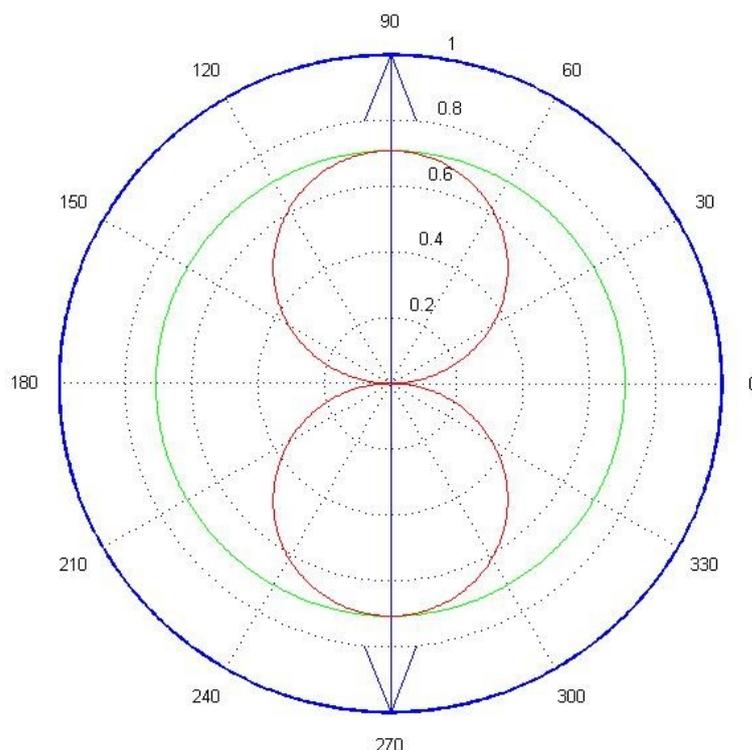


Abbildung 24: MS-Richtcharakteristik mit Kugel und Acht und einem Aufnahmewinkel 2Φ von 180°

Die Abbildung 25 stellt das Äquivalent zur optimalen XY-Anordnung in Abbildung 19 dar. Um den Aufnahmewinkel von $2\varphi = 228^\circ$ zu erhalten, muss das Verhältnis vom Pegel des Mittensignals zum Pegel des Seitensignals ca. 3:1 betragen.

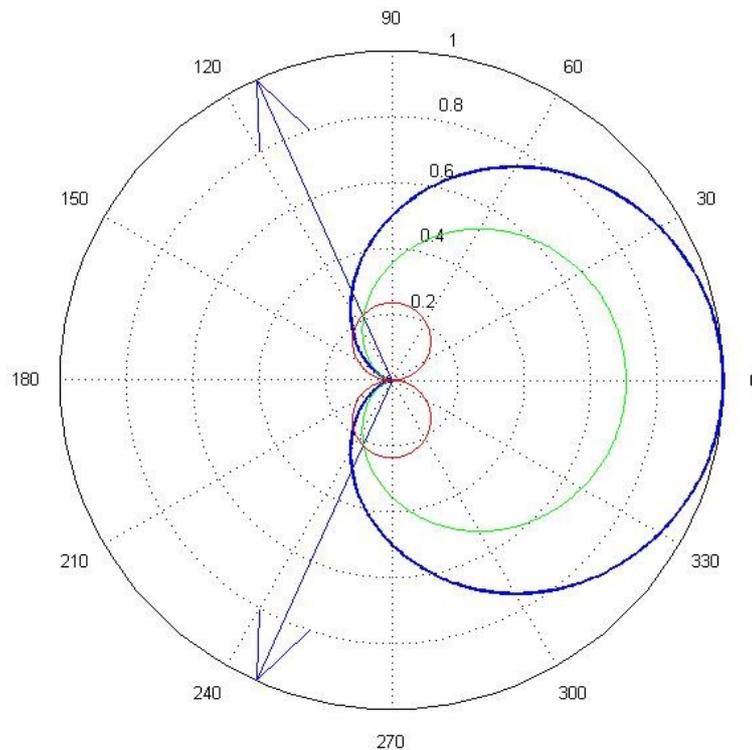


Abbildung 25: MS-Richtcharakteristik mit Kugel und Acht und einem Aufnahmewinkel 2Φ von 228°

4. Laufzeitstereofonie

Bei der Laufzeitstereofonie werden zwei Monomikrofone mit einer gewissen Basisbreite B (Abstand zwischen den beiden Mikrofonen) nebeneinander angeordnet (vgl. Abbildung 26). Mit dieser Anordnung entsteht das AB-Stereomikrofonverfahren, welches als Hauptmikrofon einsetzbar ist. Durch den unterschiedlichen Abstand der Mikrofone A und B zum Quellpunkt p entsteht eine Längendifferenz Δl , die zu den typischen Laufzeitdifferenzen führt. Diese Laufzeitdifferenzen zwischen den beiden

Signalen bilden bei der Wiedergabe über Lautsprecher Phantomschallquellen aus. Im Gegensatz zur Intensitätsstereofonie (vgl. Kapitel 3. Intensitätsstereofonie) hängt hier die Wahrnehmung ausschließlich von den Laufzeitdifferenzen ab. Da der Schall mit nahezu gleichen Winkel auf die beiden Mikrofonskapseln trifft, sind die Pegel der Signale gleich. In der Praxis trifft der Schall aber nicht mit exakt gleichen Winkeln auf die Mikrofone, deshalb treten auch kleine Pegeldifferenzen auf. [1]

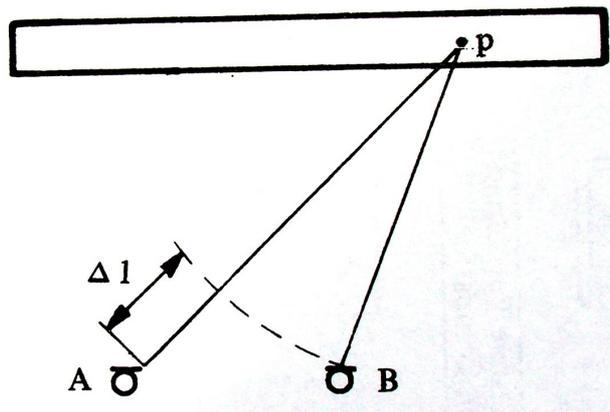


Abbildung 26: AB-Mikrofonverfahren [1]

Die Phantomschallquellen lassen sich bei der Laufzeitstereofonie mit Hilfe der entstehenden Laufzeitdifferenzen zwischen den Lautsprechern hin und her verschieben. Wird eines der beiden Signale um nur 0,01 ms verzögert, wandert die Phantomschallquelle entlang der Stereo-Lautsprecherbasis in Richtung des Lautsprechers mit dem früheren Signal. Das Maximum der Verzögerung liegt bei 0,6 – 1 ms. Ab dieser Verzögerung nimmt man die Phantomschallquelle vollständig beim Lautsprecher des früheren Signals wahr. [3]

Die Lokalisation der Phantomschallquellen ist bei der Laufzeitstereofonie relativ schlecht. Die Schallquellen erscheinen zum Rand hin etwas verbreitert, sind unklarer und wenig fokussiert (vgl. Abbildung 27). Wie in der Abbildung verdeutlicht wird, kommt es in der Nähe der Lautsprecher zu einer Verdichtung bei der Wiedergabe und zu einer Spreizung des Klangkörpers. Dadurch entsteht die Gefahr eines „Lochs in der Mitte“.

Die Vorteile der Laufzeitstereofonie sind dafür eine große erreichbare Abbildungsbreite, eine gute Tiefenstaffelung und eine hervorragende Illusion des Raumes. Dafür muss der

Aufnahmerraum aber eine gute Raumakustik aufweisen, wodurch sich das Hinzufügen von künstlichem Nachhall erübrigt. [1] Das AB-Mikrofonverfahren eignet sich gut für Solisten bei klassischen Aufnahmen, da dieser Klang harmonisch gut mit den begleitenden Instrumenten vermischt wird.

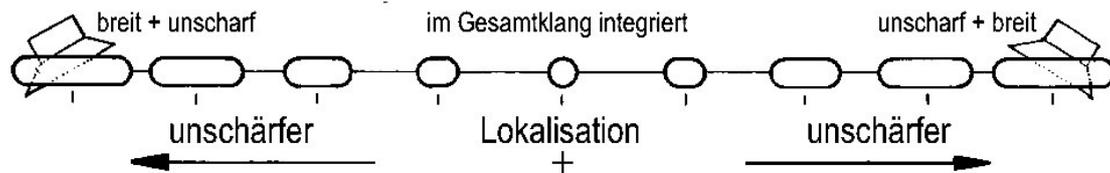


Abbildung 27: Lokalisationsschärfe bei Laufzeitstereofonie [10]

Als Richtcharakteristik werden bevorzugt Kugelcharakteristiken genommen, doch es eignen sich auch Nieren- und Achtercharakteristiken. Wichtig ist, dass beide Mikrofone die gleiche Richtwirkung aufweisen (mehr zu den Mikrofontypen vgl. [1] S.318).

Für die Stereosumme geben die zwei Mikrofone direkt den linken und rechten Kanal ab. Will man jedoch die beiden Signale zu einem Monosignal zusammenfassen, kommt es zu Auslöschungen bzw. Dämpfungen und einem Frequenzgang, der die Form einer Kammfilterkurve hat, da die Laufzeitdifferenzen zu Interferenzen führen. Akustisch ist dies als Klangfärbung hörbar. Da aber bei korrektem Aufbau beide Kanäle gleich klingen, empfiehlt es sich, für den Mono-mix nur einen Kanal zu nehmen. Dies gilt in erster Linie nur für die Klein-AB-Aufstellung, da es bei Groß-AB zu wahrnehmbaren Unterschieden zwischen den beiden Kanälen kommen kann. In der Praxis sind die erwähnten Auslöschungen nicht so gravierend, da die AB-Anordnung meistens in größerem Abstand zur Schallquelle aufgestellt wird. Sie befindet sich damit im Diffusfeld, wo sich die Phasendifferenzen ständig ändern [1] [3].

Mit der Mikrofonbasis B lässt sich der Aufnahmebereich bestimmen. Der Abstand der Mikrofone variiert von ca. 17cm bis zu mehreren Metern. Von Klein-AB spricht man, wenn die Mikrofonbasis ungefähr den Abstand zwischen den Ohren hat, im Durchschnitt also 17,5 cm und von Groß-AB, wenn der Abstand in den Meterbereich geht.

4.1 Berechnung der Richtcharakteristik

Die Theorie für die folgende Berechnung beruft sich auf [13].

Für die Berechnung wird vorausgesetzt, dass die Mikrofoncharakteristiken ideal sind.

Für die Mikrofonanordnung sind folgende Parameter gegeben:

- Basisbreite B
- Richtcharakteristika der Mikrofone

Die von der Signalquelle abhängigen Parameter sind:

- Einfallswinkel α
- Abstand R zur Basismitte des Mikrofons

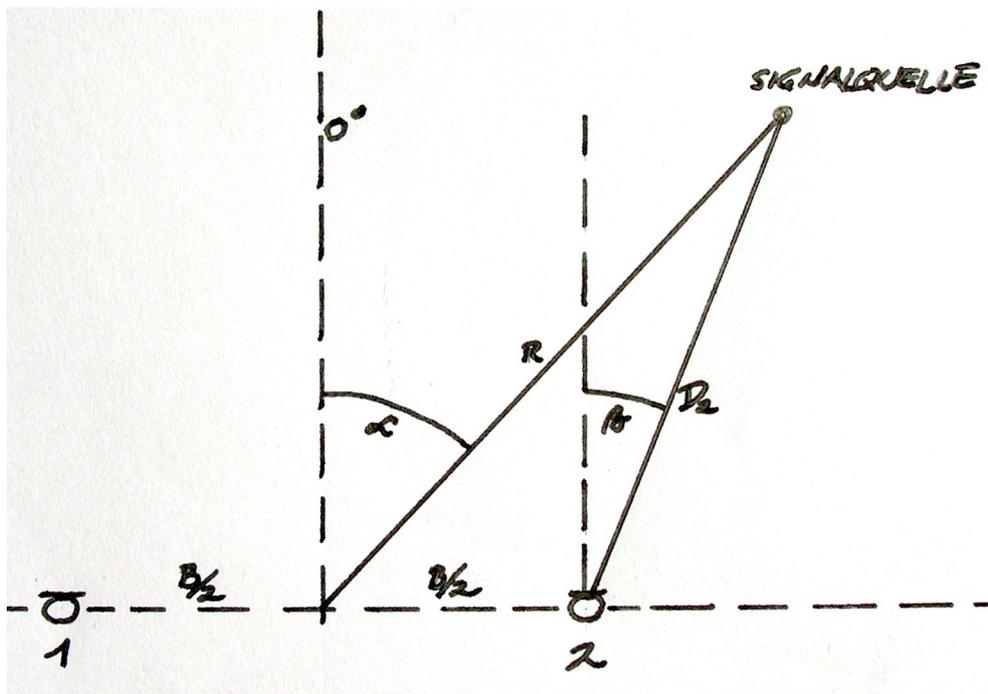


Abbildung 28: Parameter einer AB-Mikrofonanordnung mit Signalquelle

Die folgenden Formeln beschreiben die Herleitung für die Mikrofone 1 und 2.

Über geometrische Ansätze (vgl. Abbildung 28) lassen sich für die Weglängen D_1 und D_2 die Formeln (19) und (20) herleiten.

$$D_1 = \sqrt{R^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2 + R \cdot B \cdot \cos(90 - \alpha)} \quad (19)$$

$$D_2 = \sqrt{R^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2 - R \cdot B \cdot \cos(90 - \alpha)} \quad (20)$$

Mit den Formeln (21) und (22) lassen sich die Laufzeiten berechnen, die der Schall von der Quelle bis zu den Mikrofonen 1 und 2 benötigt.

$c = 340 \text{ m/s}$...Schallgeschwindigkeit

$$t_1 = \left(\frac{D_1}{c}\right) \quad (21)$$

$$t_2 = \left(\frac{D_2}{c}\right) \quad (22)$$

Die Formeln (23) und (24) geben die Eintreffwinkel β_1 und β_2 des Signals auf die Hauptachsen der Mikrofone 1 und 2 an.

$$\beta_1 = 90^\circ - \arctan\left(\frac{(R \cdot \cos(\alpha))}{\left(-R \cdot \sin(\alpha) + \left(\frac{B}{2}\right)\right)}\right) \quad (23)$$

$$\beta_2 = 90^\circ - \arctan\left(\frac{(R \cdot \cos(\alpha))}{\left(-R \cdot \sin(\alpha) - \left(\frac{B}{2}\right)\right)}\right) \quad (24)$$

Dadurch dass die Entfernungen der Mikrofone zur Schallquelle voneinander abweichen, kommt es zu einem Einfluss auf die Amplitude. Dieser Einfluss wird in den Formeln (25) und (26) berücksichtigt.

$$A_1 = \left(\frac{R}{D_1} \right) \cdot A \quad (25)$$

$$A_2 = \left(\frac{R}{D_2} \right) \cdot A \quad (26)$$

A...Mikrofongleichung

für Niere: $A = 0,5 + 0,5 \cdot \cos(\beta)$

für Kugel: $A = 1$

Die Formeln (27) und (28) geben die Pegel an den Mikrofonen 1 und 2 an, die vom Signal verursacht werden.

$$L_1 = 20 \cdot \log_{10}(|A_1|) \quad (27)$$

$$L_2 = 20 \cdot \log_{10}(|A_2|) \quad (28)$$

Die Laufzeitdifferenz Δt und die Pegeldifferenz ΔL zwischen den Mikrofonen berechnet sich mit Formel (29) und Formel (30).

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad (29)$$

$$\Delta L = L_1 - L_2 \quad (30)$$

Der Summenleistungspegel P der zwei Mikrofone ergibt sich somit mit Formel (31).

$$P = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\left(\frac{L_1}{10} \right)} + 10^{\left(\frac{L_2}{10} \right)} \right) \quad (31)$$

4.2 Klein-AB-Mikrofonverfahren

Beim Klein-AB-Mikrofonverfahren werden zwei Mikrofone im Abstand von ca. 17 bis 80 cm voneinander aufgestellt. In der Praxis werden häufig $B = 50$ cm verwendet. Um eine Schallquelle ganz links oder rechts darstellen zu können, benötigt man eine Laufzeitdifferenz von ungefähr 1 ms. Sitzt ein Musiker also ganz links, so muss die Laufzeitdifferenz zwischen den beiden Mikrofonen 1 ms betragen. Dies ist ab einer Basisbreite von ca. $B = 34$ cm der Fall, wenn das Stereomikrofon ganz nah am Orchester platziert ist und der Winkel zwischen der ganz linken und ganz rechten Schallquelle 180° beträgt (vgl. Abbildung 29). Würde man die Basisbreite in dieser Aufstellung verringern, ist es nicht möglich, den Schall aus nur einem Lautsprecher zu lokalisieren, da die Laufzeitdifferenz einfach zu kurz ist. Das AB-Verfahren wird aber bevorzugt im Diffusfeld aufgestellt, also in größerer Entfernung von der Schallquelle. Damit nun trotzdem die 1 ms Laufzeitdifferenz erreicht werden, ist es notwendig, den Abstand zwischen den Mikrofonen zu erhöhen. [11]

Der Aufnahmewinkel φ der AB-Anordnung lässt sich mit folgender Formel näherungsweise berechnen [12]:

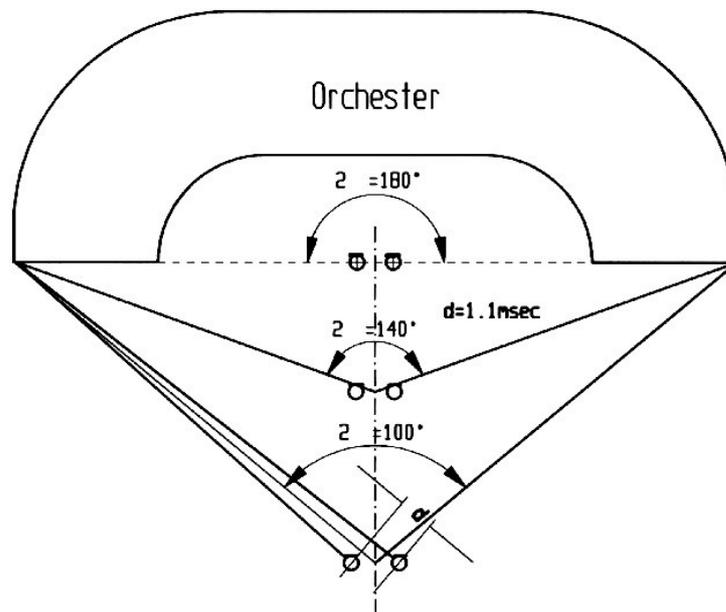
$$\varphi = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{\Delta L}{B}\right) \quad (32)$$

ΔL ...Wegunterschied, den eine Schallquelle von einem zum anderen Mikrofon aufweist, wenn sie am Rand des Aufnahmewinkels steht

B...Basisbreite

Wenn man erreichen will, dass die Schallquelle ganz außen abgebildet wird, muss die Laufzeitdifferenz $\Delta t = 1$ ms entsprechen. Dadurch ergibt sich bei einer Schallgeschwindigkeit von $v = 340$ m/s eine Wegdifferenz $\Delta L = v \cdot \Delta t = 34$ cm.

Wird dieser Wert in Formel (32) eingefügt, erhält man mit einer Basisbreite $B = 40$ cm einen Aufnahmewinkel von $\varphi = 116^\circ$. Dabei ist ersichtlich, dass wenn sich die Basisbreite vergrößert, der Aufnahmewinkel kleiner wird.

Abbildung 29: Aufnahmewinkel ϕ zur Bestimmung der Basisbreite B [11]

In Abbildung 30 ist die rechnerische Lokalisationskurve für das Klein-AB-Verfahren mit einer Basisbreite von $B = 40 \text{ cm}$ abgebildet. Es ist erkenntlich, dass der Verlauf nach außen hin deutlich abflacht. In der Basismitte werden daher nur relativ kleine Bereiche des Aufnahmebereichs abgebildet. [13] In Abbildung 31 ist die Lokalisationskurve für das Klein-AB-Verfahren mit einer Basisbreite von 17 cm abgebildet. Wie bereits schon erwähnt ist es hier nicht möglich, eine Laufzeitdifferenz von 1 ms zu erreichen. Die Phantomschallquelle kann daher nicht zu 100% in nur einem der beiden Lautsprecher lokalisiert werden. Bei einer Basisbreite von 50 cm wird bei ca. 40° Schalleinfallrichtung der Schall bereits zu 100° aus nur einem Lautsprecher abgestrahlt (vgl. Abbildung 32).

Für die Berechnung der Lokalisationskurve werden die Laufzeitdifferenzen in die entsprechenden Pegeldifferenzen umgerechnet und anschließend mit den tatsächlichen Pegeldifferenzen addiert.

Die optimale Lokalisationskurve sollte einen möglichst linearen Verlauf, keine Verzerrung der Aufnahmeverhältnisse, einen möglichst konsistenten Zusammenhang zwischen Pegel- und Laufzeitdifferenzen und einen möglichst ausgeglichenen Verlauf

des Summenpegels haben.

Die Visualisierung der Lokalisationskurven erfolgt mit dem JAVA Applet „Image Assistent 2.1“ [16]. Es wurden für die Abbildungen nur AB-Verfahren mit Kugelcharakteristik verwendet, da sich beim Vergleich mit Nierencharakteristik kein großer Unterschied einstellt. Dass die Winkel für den Aufnahmebereich in den Lokalisationskurven von den Werten im Text abweichen, liegt daran, dass der Wert für die mindestens benötigte Laufzeitdifferenz zwischen den Mikrofonen je nach Literatur zwischen 1 ms und 1,2 ms liegt.

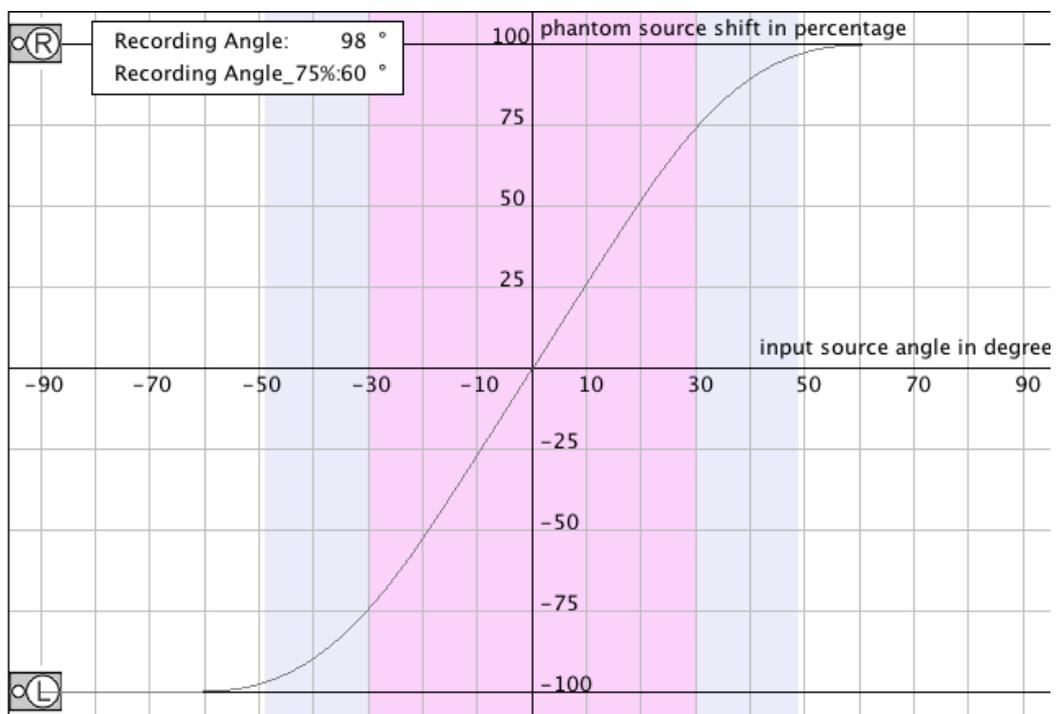


Abbildung 30: Rechnerische Lokalisationskurve bei Klein-AB-Verfahren mit 2 Kugeln und 40 cm Basisbreite [16]



Abbildung 31: Rechnerische Lokalisationskurve bei Klein-AB-Verfahren mit 2 Kugeln und 17 cm Basisbreite [16]

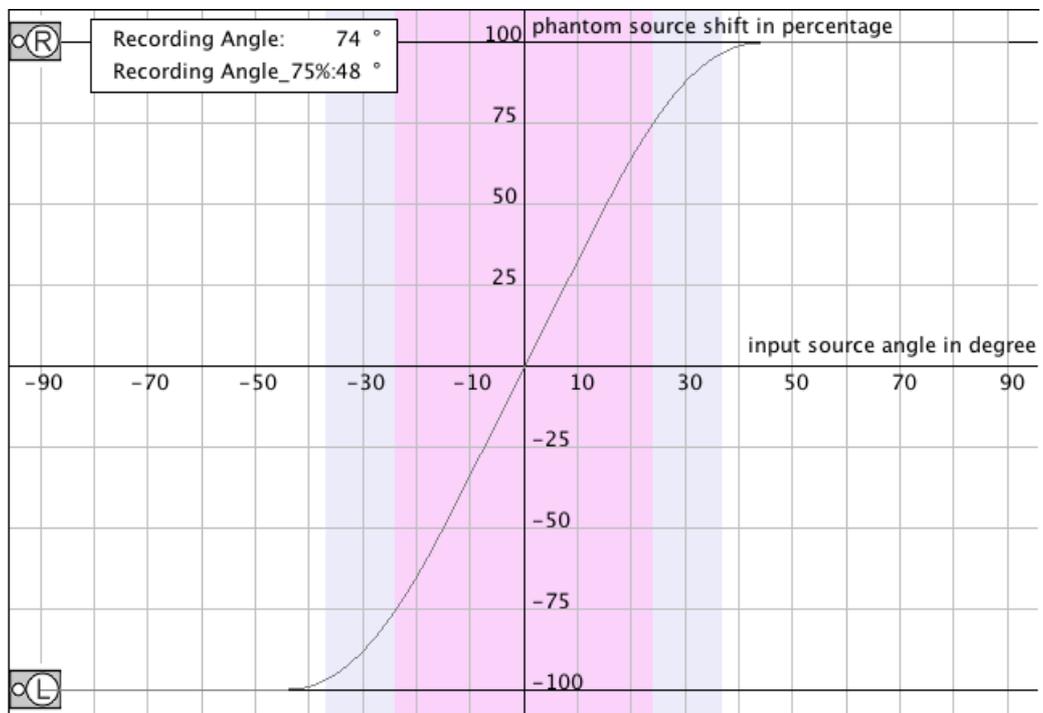


Abbildung 32: Rechnerische Lokalisationskurve bei Klein-AB-Verfahren mit 2 Kugeln und 50 cm Basisbreite [16]

4.2.1 Darstellung der Klein-AB-Richtcharakteristik in MATLAB (*ab_richtcharakteristik*)

Bei den Richtcharakteristiken, die mit dem M-File *ab_richtcharakteristik* geplottet wurden, ist zu beachten, dass die Schalleinfallrichtung aus der 0° -Achse, d.h. von rechts kommt. Die Darstellung in radialer Richtung erfolgt linear von 0 bis 1 und die Summenrichtcharakteristik ist auf 1 normiert..

Trägt man nun die Summenleistungspegel aus allen Einfallsrichtungen aus Formel (31) in ein Polardiagramm ein, so erhält man die Richtcharakteristik der Klein-AB-Anordnung (vgl. Abbildung 33). In dieser Abbildung beträgt die Basisbreite 17 cm. Die Laufzeitdifferenz Δt zwischen den Mikrofonen beträgt daher nur 0,5 ms, wodurch es mit dieser Aufstellung nicht möglich ist, den Schall in Richtung einer der Lautsprecher zu lokalisieren. Die Phantomschallquellen werden eher mittig zwischen den Lautsprechern abgebildet.

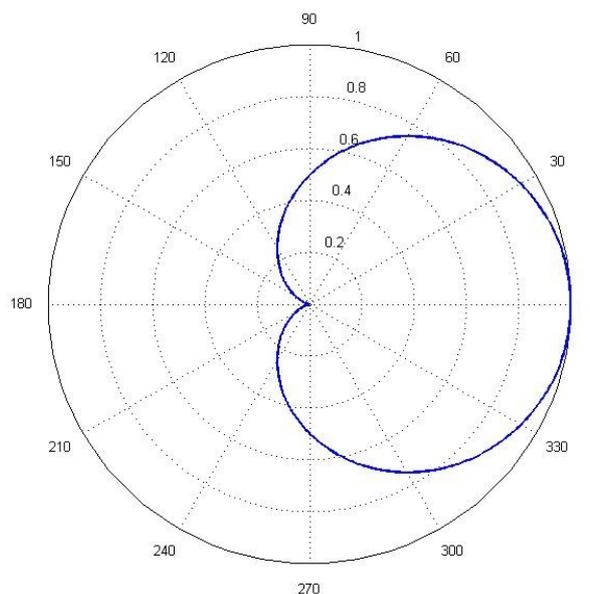


Abbildung 33: Klein-AB-Richtcharakteristik mit 2 Nieren und 17 cm Basisbreite

Vergrößert man die Basisbreite auf die in der Praxis üblichen 50 cm, so erhält man die Richtcharakteristik in Abbildung 34. Mit dieser Aufstellung erhält man einen Aufnahmewinkel von $\varphi = 86^\circ$ und es ist auf Grund der genügend großen

Laufzeitdifferenz bereits möglich, die Phantomschallquellen aus der Richtung eines Lautsprechers zu lokalisieren.

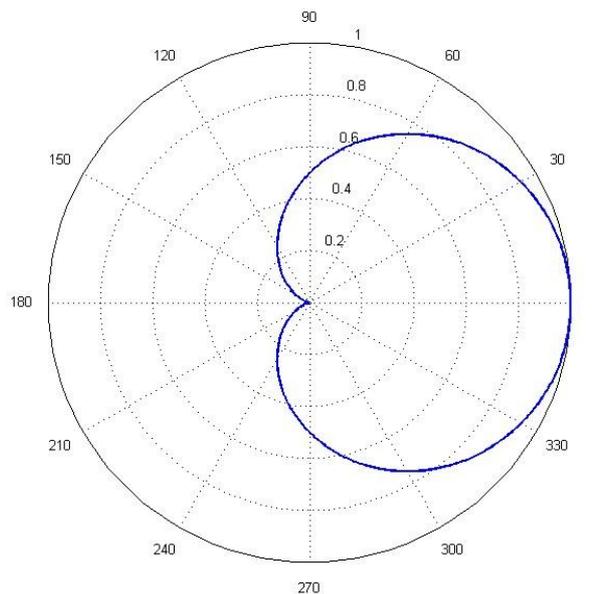


Abbildung 34: Klein-AB-Richtcharakteristik mit 2 Nieren und 50 cm Basisbreite

Nimmt man anstatt der Nieren Mikrofone mit Kugelcharakteristik, so erhält man als Richtcharakteristik bei 17 cm Basisbreite Abbildung 35 und bei 50 cm Basisbreite Abbildung 36.

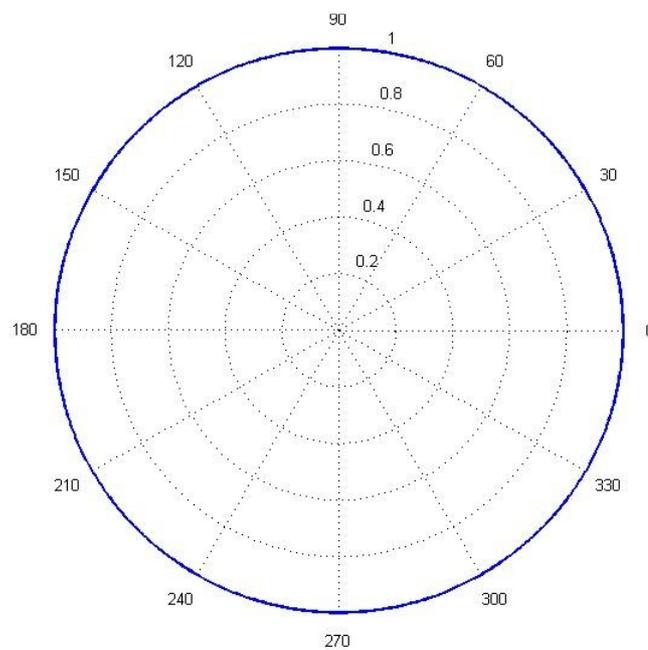


Abbildung 35: Klein-AB-Richtcharakteristik mit 2 Kugeln und 17 cm Basisbreite

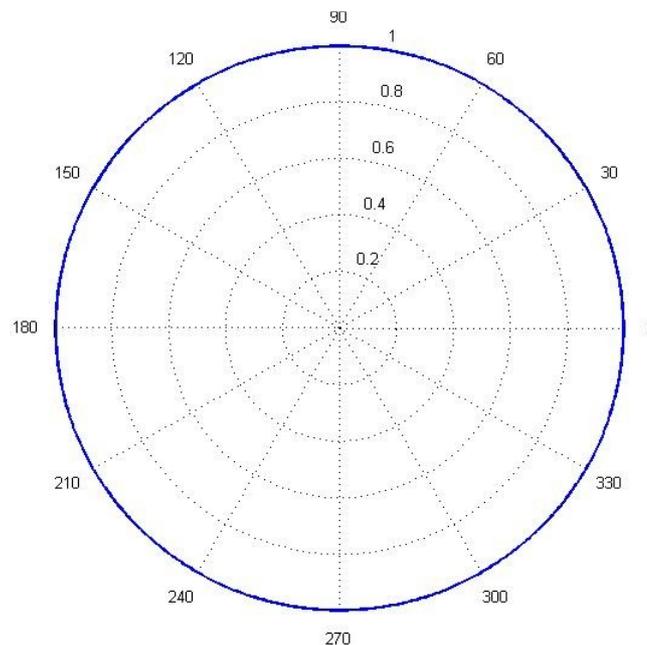


Abbildung 36: Klein-AB-Richtcharakteristik mit 2 Kugeln und 50 cm Basisbreite

Der Unterschied zwischen den einzelnen Richtcharakteristiken bei Klein-AB-Aufstellung ist relativ gering. Was sich jedoch bei einer Veränderung der Basisbreite B ändert, ist der Aufnahmewinkel φ und die Abbildung der Phantomschallquellen (vgl. Kapitel 4.2 Klein-AB-Mikrofonverfahren).

4.3 Groß-AB-Mikrofonverfahren

Von Groß-AB-Mikrofonverfahren spricht man, wenn der Abstand zwischen den beiden Mikrofonen in den Meterbereich geht. Vergrößert man den Mikrofonabstand, wird der Aufnahmewinkel kleiner. Man zoomt sich somit an die Schallquelle heran, dadurch werden kleine Schallquellen auch größer abgebildet [3]. Die Gefahr beim Groß-AB-Verfahren besteht darin, dass die Abbildungsorte gespreizt werden und es dadurch zu einem „Loch in der Mitte“ kommt, d.h. die Hörereignisse sind alle entweder dem einen oder dem anderen Lautsprecher zugeordnet. Dies kann sich durch ein zusätzliches

Mikrofon, das die Mitte stützt, vermeiden lassen.

Hat man zum Beispiel ein AB-Mikrofonsystem mit einer Basisbreite von $B = 200\text{cm}$, so ergibt sich laut Formel (32) ein Aufnahmewinkel von gerade einmal 20° , womit eine befriedigende Richtungsabbildung kaum möglich ist.

In Abbildung 37 ist die rechnerische Lokalisationskurve für das Groß-AB-Verfahren mit einer Basisbreite von $B = 200\text{ cm}$ dargestellt. Man erkennt, dass bereits ab einer Schalleinfallrichtung von ca. 10° die Phantomschallquelle vollständig in dem Lautsprecher mit dem früheren Signal lokalisiert wird und ein Großteil des Schallbildes in der Nähe der Lautsprecher abgebildet wird. Es bildet sich das „Loch in der Mitte“ aus. Bei einer Basisbreite von 350 cm vergrößert sich dieser Effekt noch mehr (vgl. Abbildung 38).

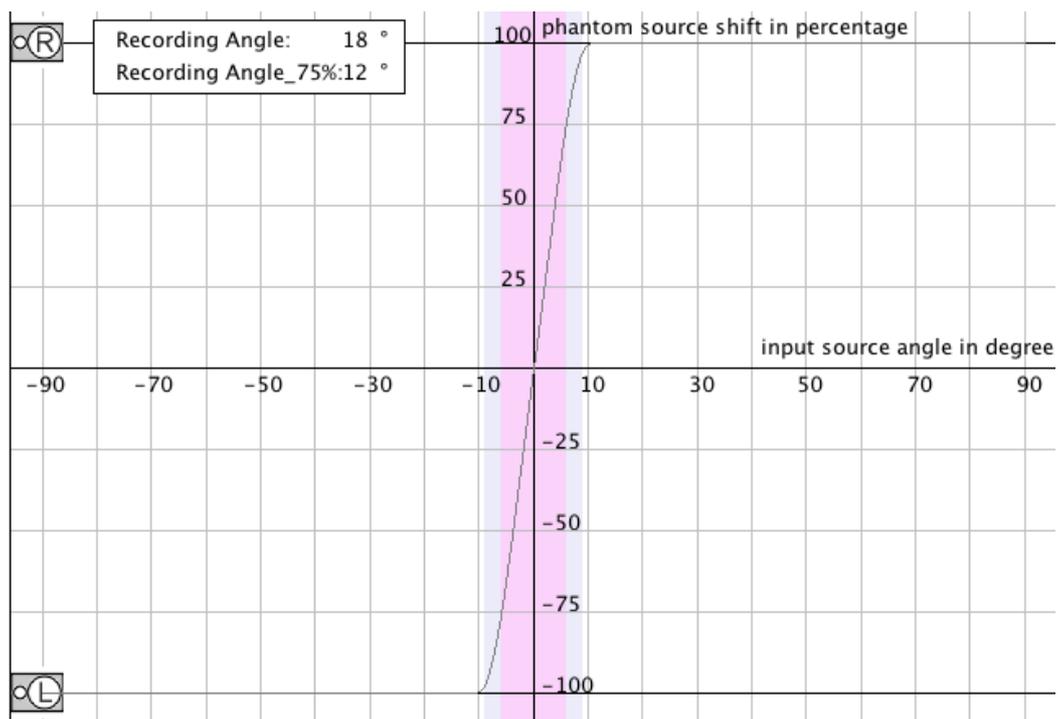


Abbildung 37: Rechnerische Lokalisationskurve bei Groß-AB-Verfahren mit 2 Kugeln und 200 cm Basisbreite [16]

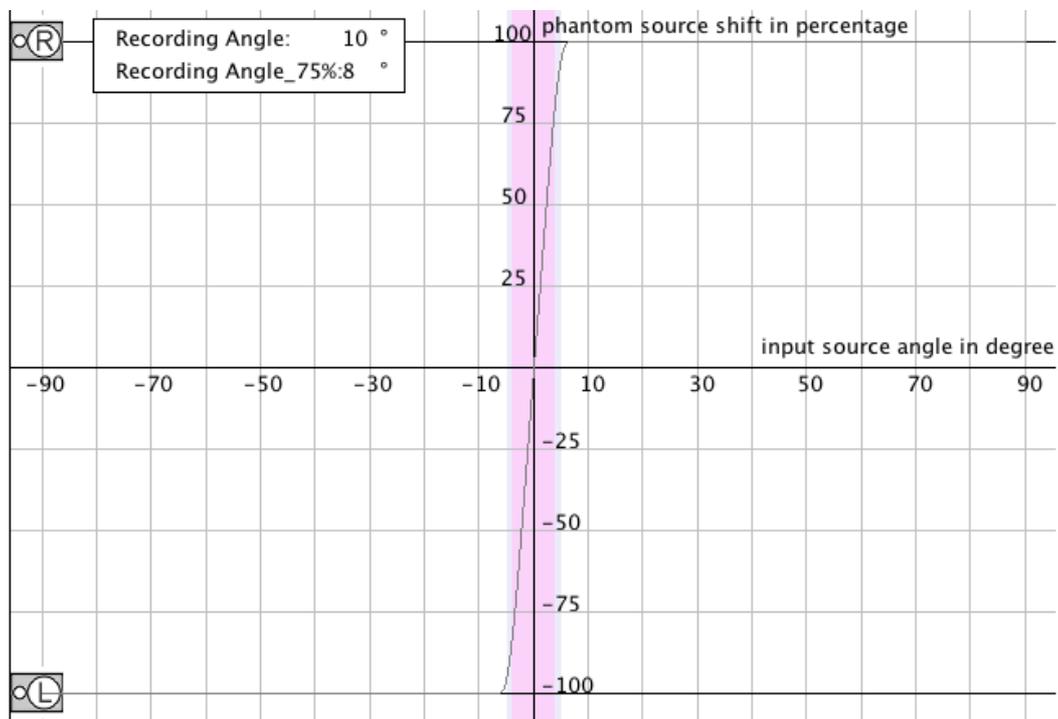


Abbildung 38: Rechnerische Lokalisationskurve bei Groß-AB-Verfahren mit 2 Kugeln und 350 cm Basisbreite [16]

4.3.1 Darstellung der Groß-AB-Richtcharakteristik im MATLAB (*ab_richtcharakteristik*)

Die Richtcharakteristik einer Groß-AB-Anordnung mit 2 Nieren und 200 cm Basisbreite ist in Abbildung 39 abgebildet.

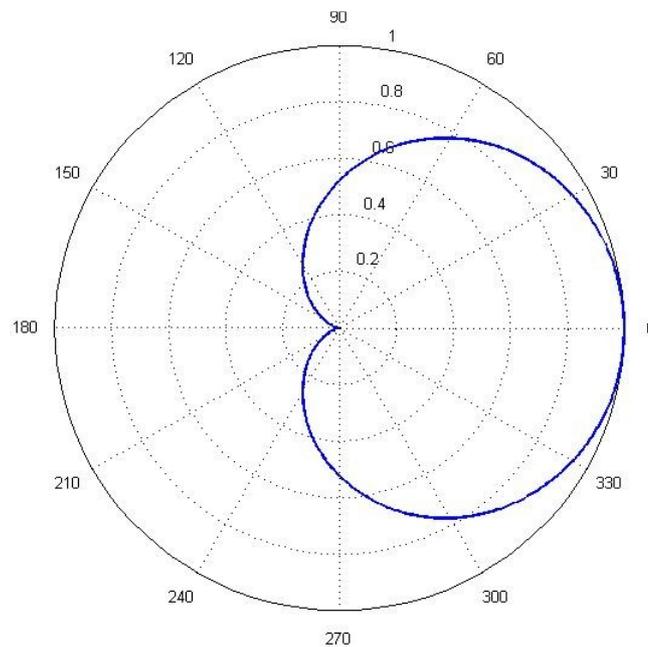


Abbildung 39: Groß-AB-Richtcharakteristik mit 2 Nieren und 200 cm Basisbreite

Wird die Basisbreite auf 350 cm vergrößert, so erhält man die Richtcharakteristik in Abbildung 40.

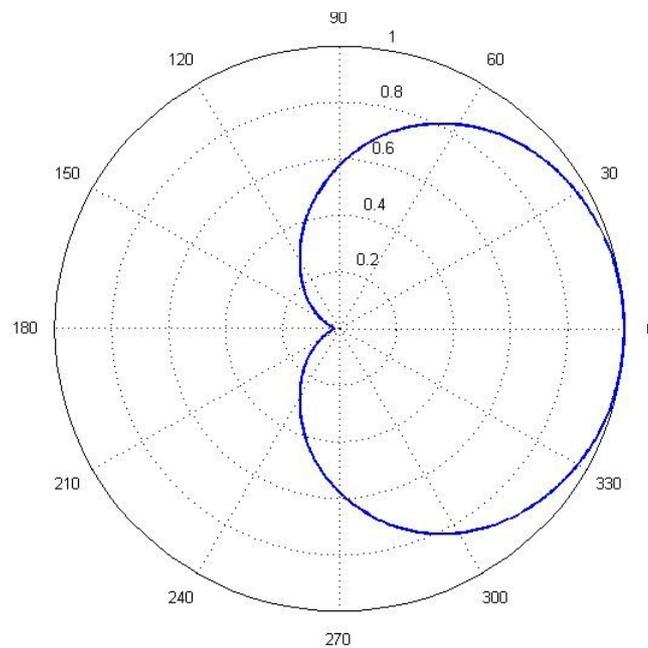


Abbildung 40: Groß-AB-Richtcharakteristik mit 2 Nieren und 350 cm Basisbreite

Nimmt man anstatt der Nieren Mikrofone mit Kugelcharakteristik, so erhält man als Richtcharakteristik mit Basisbreite $B = 200$ cm Abbildung 41 und mit Basisbreite $B = 350$ cm Abbildung 42 .

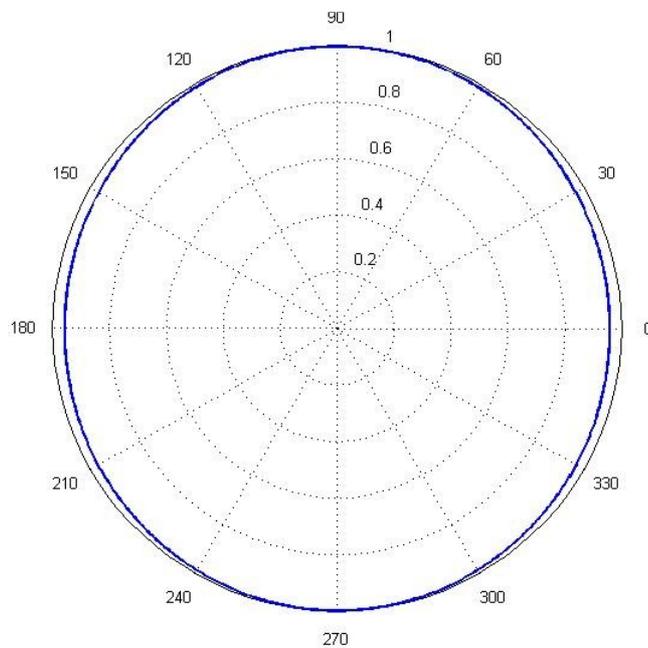


Abbildung 41: Groß-AB-Richtcharakteristik mit 2 Kugeln und 200 cm Basisbreite

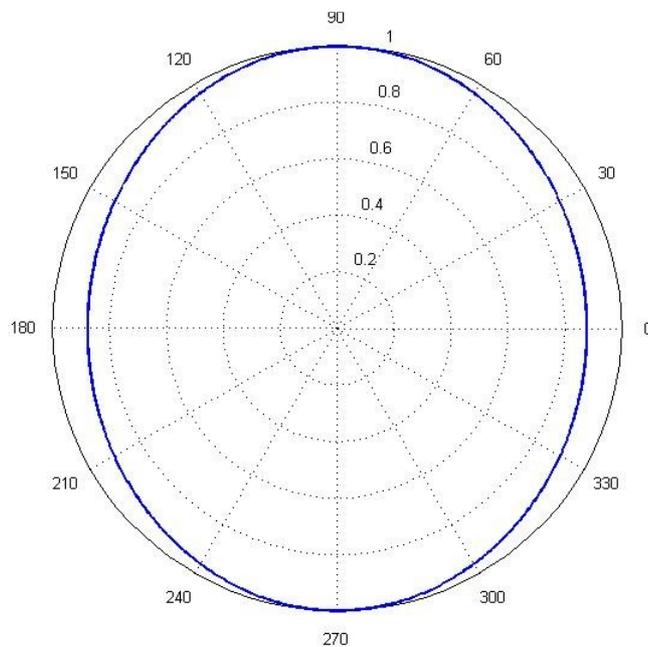


Abbildung 42: Groß-AB-Richtcharakteristik mit 2 Kugeln und 350 cm Basisbreite

4.4 Vergleich von Klein-AB mit Groß-AB

Um den Einfluss der Basisbreite bei der Richtcharakteristik zu verdeutlichen, wurden in Abbildung 43 und Abbildung 44 jeweils die Richtcharakteristik bei $B = 17 \text{ cm}$ und bei $B = 350 \text{ cm}$ gegenübergestellt. Zu erkennen ist eine deutliche Verbreiterung in 90° und 270° Richtung (in Abbildung 44 wegen der Normierung auf 1 nicht erkennbar). Weiters kommt es auch zu einer Abflachung in 0° -Richtung (in Abbildung 43 wegen der Normierung auf 1 nicht erkennbar).

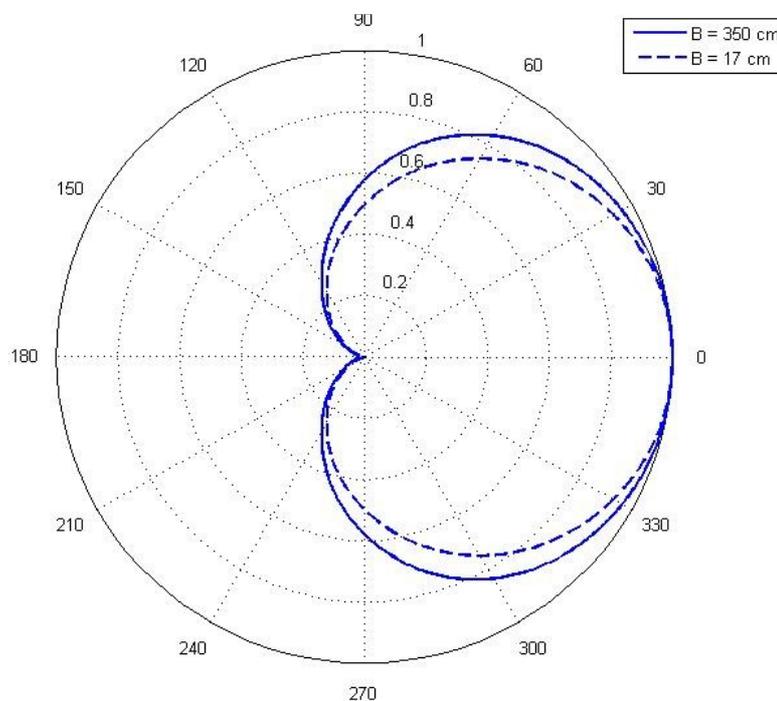


Abbildung 43: Vergleich der AB-Richtcharakteristiken von zwei Nieren mit 17cm und 350cm Basisbreite

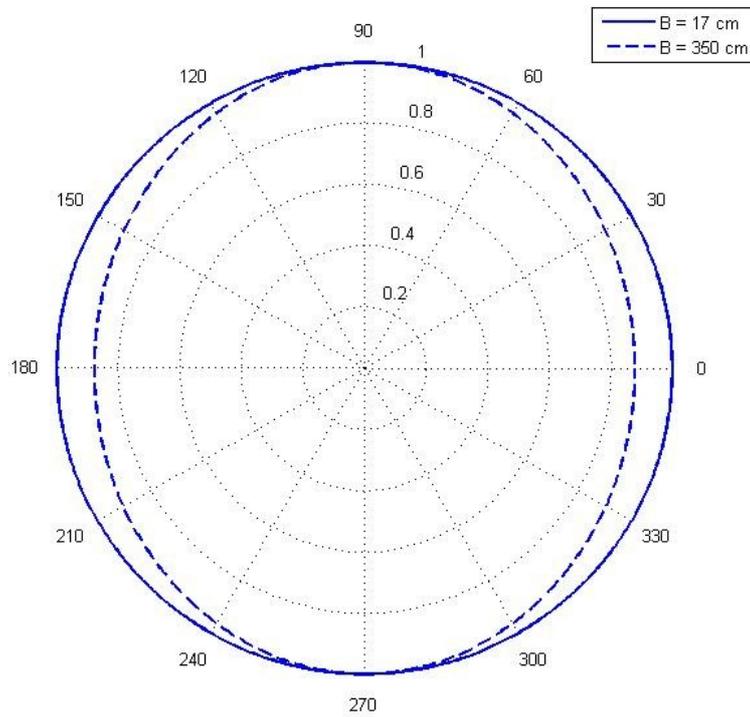


Abbildung 44: Vergleich der AB-Richtcharakteristiken von zwei Kugeln mit 17cm und 350cm Basisbreite

5. MATLAB Files

5.1 Visualisierung der 3-D Richtcharakteristik (*richtcharakteristik_3D*)

```
%%3-D Richtcharakteristiken

[X,Y,Z]=sphere(100);
[tau,phi,r]=cart2sph(X,Y,Z); %Umwandlung von kartesischen Koordinaten
gamma=acos(Z); %in Kugelkoordinaten

richtniere=abs(0.5+0.5*cos(gamma)); %Niere
[x_niere,y_niere,z_niere]=sph2cart(tau,phi,richtniere);

kugel=abs(1); %Kugel
[x_kugel,y_kugel,z_kugel]=sph2cart(tau,phi,kugel);

acht=abs(cos(gamma)); %Acht
[x_acht,y_acht,z_acht]=sph2cart(tau,phi,acht);

s_niere=abs(0.37+0.63*cos(gamma)); %Superniere
[x_s_niere,y_s_niere,z_s_niere]=sph2cart(tau,phi,s_niere);

figure;
subplot(2,2,1);
surf(x_niere,y_niere,z_niere);
axis equal;
view(-30,10);
title('Richtcharakteristik Niere');

subplot(2,2,2);
surf(x_kugel,y_kugel,z_kugel);
axis equal;
view(-30,10);
title('Richtcharakteristik Kugel');

subplot(2,2,3);
surf(x_acht,y_acht,z_acht);
axis equal;
view(-30,10);
title('Richtcharakteristik Acht');

subplot(2,2,4);
surf(x_s_niere,y_s_niere,z_s_niere);
axis equal;
view(-30,10);
title('Richtcharakteristik Superniere');
```

Published with MATLAB® 7.7

5.2 Visualisierung der idealen Richtcharakteristik (*Richtcharakteristik_Einzelkapsel*)

```
%%Richtcharakteristik für Acht
theta=0:0.01:2*pi;
THETA=abs(cos(theta));

figure;
polar(theta,THETA);
title('Polardiagramm eines idealen offenen
Druckgradientenempfängers');
axis equal;

%%Richtcharakteristik für Kugelcharakteristik
theta=0:0.01:2*pi;
THETA=abs(1*ones(1,length(theta)));

figure;
polar(theta,THETA);
title('Polardiagramm eines idealen Druckempfängers');
axis equal;

%%Richtcharakteristik für Niere
theta=0:0.01:2*pi;
THETA=abs(0.5+0.5*cos(theta));

figure;
polar(theta,THETA);
title('Polardiagramm eines Druckgradientenempfängers mit Laufzeitglied
und Nierencharakter');
axis equal;
```

Published with MATLAB® 7.7

5.3 Visualisierung der XY-Richtcharakteristik (xy_richtcharakteristik)

Die Vektoren V1 und V2 schließen den Aufnahmewinkel 2φ ein. Die Vektoren V3 und V4 zeigen den Versatzwinkel der Mikrofonkapseln an. Der Winkel ψ (psi) hängt von der Richtcharakteristik der Einzelmikrofonkapsel ab und lässt sich mit Formel (11) berechnen.

```
%A=0.5;      %Kugel-Anteil bei Niere
%B=0.5;      %Achter-Anteil bei Niere
A=0.25;      %Kugel-Anteil bei Hyperniere
B=0.75;      %Achter-Anteil bei Hyperniere
alpha=45;    %Versatzwinkel
rad_alpha= (pi/180)*alpha;
psi=109;     % Winkel zwischen den Achsen größter und geringster
             % Empfindlichkeit
             % Niere: psi=180°
             % Acht:  psi=90°
             %Superniere: psi=126°
             %Hyperniere: psi=109°
phi=psi-alpha; % phi=halber Aufnahmewinkel

%%Richtcharakteristik für XY-Nieren
theta=0:0.01:2*pi;
XTHETA=abs(A+B*cos(theta+rad_alpha));
YTHETA=abs(A+B*cos(theta-rad_alpha));
XY=XTHETA+YTHETA;

V1 = cos((phi)*(pi/180))+1i*sin((phi)*(pi/180)); %Vektor gibt
                                                Aufnahmewinkel an
V2 = cos((phi)*(pi/180))-1i*sin((phi)*(pi/180)); %Vektor gibt
                                                Aufnahmewinkel an
V3 = 0.7*cos((alpha)*(pi/180))+0.7*1i*sin((alpha)*(pi/180)); %Vektor
gibt Versatzwinkel an
V4 = 0.7*cos((alpha)*(pi/180))-0.7*1i*sin((alpha)*(pi/180)); %Vektor
gibt Versatzwinkel an

M = [V1,V2,V3,V4];

figure;
compass (M)                                % Anzeige der Vektoren
hold on
polar(theta,XY/max(XY));
hold on
polar(theta,XTHETA/max(XY),'g');
polar(theta,YTHETA/max(XY),'r');
hold on

title(['XY-Richtcharakteristik für einen Aufnahmewinkel 2\phi von
',num2str(2*phi),' Grad bei einem Versatzwinkel \vartheta von
```

```

',num2str(alpha),' Grad']);
axis equal;
%legend('Richtcharakteristik links','Richtcharakteristik
rechts','Gesamtrichtcharakteristik');
hold off

```

Published with MATLAB® 7.7

5.3 Visualisierung der MS-Richtcharakteristik (*ms_richtcharakteristik*)

Um die verschiedenen Aufnahmewinkel zu erhalten, wurden durch Veränderung des Faktors C die Schnittpunkte zwischen dem M- und dem S-Signal so verschoben, dass sich der gewünschte Aufnahmewinkel einstellte. Für den Aufnahmewinkel von $2\varphi = 270^\circ$ in Abbildung 23 musste das Verhältnis C:D (Anteil des Mittensignals zu Anteil des Seitensignals) ca. 5:1 betragen und für den Aufnahmewinkel von $2\varphi = 228^\circ$ in Abbildung 25 ca. 3:1.

```

%%Richtcharakteristik für MS-Kugel-Acht

A=0.5;      %Kugel-Anteil
B=0.5;      %Achter-Anteil
C=5;        %Anteil des Mittensignals
D=1;        %Anteil des Seitensignals
alpha=90;   %Achsenwinkel
phi=270;    %Aufnahmewinkel

rad_alpha= (pi/180)*alpha;   %in RAD umrechnen
theta=0:0.01:2*pi;

%MTHETA=abs(1*ones(1,length(theta)));   %Mittencharakteristik Kugel
MTHETA=C*(A+B*cos(theta));             %Mittencharakteristik Niere
STHETA=D*(cos(theta+rad_alpha));       %Seitencharakteristik Acht

L=(MTHETA+STHETA)*(1/sqrt(2)); %Matrizieren, damit man aus Mitte-
Seite Signal
R=(MTHETA-STHETA)*(1/sqrt(2)); %ein Links-Rechts Signal bekommt
MS=L+R;

V1 = cos((phi/2)*(pi/180))+1i*sin((phi/2)*(pi/180)); %Vektor gibt
Aufnahmewinkel an

```

```

V2 = cos((phi/2)*(pi/180))-li*sin((phi/2)*(pi/180)); %Vektor gibt
Aufnahmewinkel an

M = [V1,V2]; %Vektoren grenzen den Aufnahmewinkel ein

figure;
compass (M) % Anzeige der Vektoren
hold on
polar(theta,MS/max(MS));
hold on;
polar(theta,MTHETA/max(MS),'g');
polar(theta,abs(STHETA)/max(MS),'r');
hold on;

%title('MS-Richtcharakteristik mit Kugel+Acht und einem Aufnahmewinkel
2\phi = 180 Grad')
title(['MS-Richtcharakteristik mit Niere+Acht und einem Aufnahmewinkel
2\phi = ',num2str(phi),' Grad'])
axis equal;
%legend('Richtcharakteristik Seite','Richtcharakteristik
Mitte','Gesamtrichtcharakteristik');
hold off;

```

Published with MATLAB® 7.7

5.4 Visualisierung der AB-Richtcharakteristik (*ab_*richtcharakteristik)

```

B=17; %Basisbreite
R=600; %Radius (Abstand) zur Schallquelle
c=340; %Schallgeschwindigkeit

alpha=0:0.01:2*pi;
len=length(alpha);

for n=1:len

    D1(n)=sqrt(R^2+(B/2)^2+R*B*cos((pi/2)-alpha(n))); %Länge von D1
    D2(n)=sqrt(R^2+(B/2)^2-R*B*cos((pi/2)-alpha(n))); %Länge von D2
    t1(n)=D1(n)/c; %Laufzeit von Signal zu Mikrofon 1
    t2(n)=D2(n)/c; %Laufzeit von Signal zu Mikrofon 2

    betal(n)=pi/2-(atan2(R*cos(alpha(n)),-sin(alpha(n))*R+B/2));
%Eintreffwinkel auf Basissenkrechte von Mikrofon 1
    beta2(n)=pi/2-(atan2(R*cos(alpha(n)),-sin(alpha(n))*R-B/2));
%Eintreffwinkel auf Basissenkrechte von Mikrofon 2

    A01(n)=0.5+0.5*cos(betal(n)); %Mikrofonegleichung Niere 1

```

```
A02(n)=0.5+0.5*cos(beta2(n)); %Mikrofongleichung Niere 2
% A01(n)=1; %Mikrofongleichung Kugel 2
% A02(n)=1; %Mikrofongleichung Kugel 2

A1(n)=(R/D1(n))*A01(n); %Durch abweichende Entfernungen
verursachter Einfluss auf Amplitude
A2(n)=(R/D2(n))*A02(n); %Durch abweichende Entfernungen
verursachter Einfluss auf Amplitude

dt(n)=t1(n)-t2(n); %Laufzeitdifferenz

% L1(n)=20*log(abs(A1(n))); %Pegel an Mikrofon 1
% L2(n)=20*log(abs(A2(n))); %Pegel an Mikrofon 2
% P(n)=10*log((10^(L1(n)/10)+10^(L2(n)/10))); %Summenpegel

L1(n)=(A1(n)); %Signal an Mikrofon 1
L2(n)=(A2(n)); %Signal an Mikrofon 2

P(n)=L1(n)+L2(n); %Summe der Signale
end

out=(P/max(P));

theta=0:0.01:2*pi;
polar(theta,out);
title(['Richtcharakteristik für AB-Stereofonie mit ',num2str(B),'
cm Basisbreite']);
```

Published with MATLAB® 7.7

6. Literaturverzeichnis

- [1] Dickreiter Michael, „Handbuch der Tontechnik“, Band 1, ISBN 3-598-11321-8, Verlag: G.K.Saur, 1997
- [2] Eberhard Sengpiel, „Theroiegrundlagen: "Intensitäts"-Stereofonie“, PDF-Datei, www.sengpielaudio.com, Mai 2010
- [3] Görne Thomas, „Tontechnik“, ISBN 978-3-446-41591-1, Verlag: Hanser, 2008
- [4] WWW-Dokument, www.wikipedia.org, Mai 2010
- [5] Eberhard Sengpiel, „Mikrofon-Richtcharakteristiken und weitere Parameter“, PDF-Datei, www.sengpielaudio.com, Mai 2010
- [6] Eberhard Sengpiel, „Bündelungsgrad und Bündelungsmaß der Mikrofone“, PDF-Datei, www.sengpielaudio.com, Mai 2010
- [7] Deutsche Gesellschaft für Akustik, „DGA-Empfehlung - Akustische Wellen und Felder“, März 2006
- [8] „Mikrofone“, WWW-Dokument, <http://www.senkpiels.de>, Juni 2010
- [9] Werner Weselak, Gerhard Graber, Raumakustik – Skriptum der TU-Graz, Institut für Breitbandkommunikation, Version 5.1, 2007
- [10] Eberhard Sengpiel, „Stereo-Abbildung und Lokalisationsgenauigkeit“, PDF-Datei, www.sengpielaudio.com, Juni 2002
- [11] Jörg Wuttke, „Mikrofonaufsätze“, 2. Auflage, Herausgegeben von Schoeps GmbH, 2000
- [12] Oliver Neumann, Markus Schäffler, „Optimierung der Raummikrofonanordnungen bei Mehrkanal-Musikaufnahmen im 3/2-Stereo Format“, Fachhochschule Stuttgart, Studiengang für Audiovisuelle Medien, März 2001
- [13] Helmut Wittek, „Untersuchung zur Richtungsabbildung mit L-C-R Hauptmikrofonen“, Fachhochschule Düsseldorf, Institut für Rundfunktechnik, Studiengang für Ton- und Bildtechnik, Dezember 2000
- [14] Eberhard Sengpiel, „Mischpultkanäle als M/S-Matrix-Decoder“, PDF-Datei, www.sengpielaudio.com, Juni 2010
- [15] Gerhart Boré, Stephan Peus, „Microphones, Methods of Operation and Type

Example“, Georg Neumann GmbH Berlin, 1999

[16] Helmut Wittek, JAVA Applet „Image Assistant 2.1“, www.hauptmikrofon.de,
September 2008