

Daniel Mariano

Überblick über verschiedene Erklärungsansätze
für das Zustandekommen des Nahbesprechungseffekts
und Verifizierung derselben
anhand der physikalischen Gegebenheiten im Schallfeld.

eingereicht als
MINIDIPLOM
an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Medien
Mittweida, 2006

Prüfer: Prof. Dr. phil. Ludwig Hilmer

Autor: Daniel Mariano

Seminargruppe: MT 02wH1

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Der Nahbesprechungseffekt – gesicherte Erkenntnisse.....	1
2.1	Aufbau eines Druckgradientenempfängers und Winkelabhängigkeit des Nahbesprechungseffekts.....	2
2.2	Schallfeld und Schallfeldgrößen.....	6
3	Darstellung und Erläuterung der einzelnen Ansätze.....	7
3.1	Bassverstärkung am Mikrofon.....	8
3.2	Abstand der Schalleinlässe am Druckgradientenempfänger.....	9
3.3	Krümmung der Wellenfronten.....	10
3.4	Gegenseitige Abhängigkeiten von Schalldruck, Schallschnelle, Druckgradient und Schallimpedanz.....	11
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	13

1 Einleitung

Wenn man versucht, sich tiefergehend mit dem Nahbesprechungseffekt und dessen Funktionsweise auseinanderzusetzen, stellt man relativ schnell fest, dass es verschiedenste Erklärungen beziehungsweise Ansätze in der Literatur gibt. Es gibt teilweise Übereinstimmungen zwischen den Autoren, dann aber auch davon abweichende Erklärungsversuche. Allerdings reichen diese Begründungen meist nie tief genug, als dass man den Nahbesprechungseffekt in seiner Physik verstehen könnte.

Diese Arbeit soll sich daher kritisch mit den verschiedenen Erklärungen auseinandersetzen und diese auf Zusammenhänge überprüfen oder gegebenenfalls herstellen, um am Schluss den Nahbesprechungseffekt anhand konkreter Faktoren festmachen zu können.

Kapitel 2 wird sich mit den gesicherten Erkenntnissen des Nahbesprechungseffekts befassen. Darin werden auch die Grundlagen der Mikrofontechnik und Kenntnisse über das akustische Schallfeld vermittelt.

Kapitel 3 wird sich dann mit den einzelnen in der Literatur gefundenen Ansätzen und Erklärungen des Nahbesprechungseffekts auseinandersetzen und sie auf Stichhaltigkeit überprüfen.

Abschließend werden in Kapitel 4 die gewonnenen Erkenntnisse aus Kapitel 3 zusammengefasst und kommentiert. Am Ende des letzten Kapitels findet sich dann ein Ausblick, um Ansätze für die Einordnung der gefundenen Ergebnisse zu finden.

2 Der Nahbesprechungseffekt – gesicherte Erkenntnisse

Neben allen abweichenden Meinungen zum Zustandekommen des Nahbesprechungseffekts herrscht einhellige Meinung über den Effekt selber.

Mit dem Nahbesprechungseffekt ist die Anhebung tiefer Frequenzen an gerichteten Mikrofonen in der Nähe einer Schallquelle gemeint. Diese Überbetonung tiefer Frequenzen wird umso stärker, je näher man der Schallquelle kommt, und setzt ungefähr bei einem Mikrofonabstand ein, der kleiner als die Wellenlänge λ der betrachteten Frequenz ist.¹

1 vgl. Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 151

Der Nahbesprechungseffekt tritt nur an Druckgradientenmikrofonen, also gerichteten Mikrofonen auf,² und ist zudem abhängig vom Einfallswinkel des Schalls, im Bezug zur Hauptachse des Schallempfängers.³

Zunächst soll näher auf den Druckgradientenempfänger selbst und die Winkelabhängigkeit des Nahbesprechungseffekts eingegangen werden. Danach sollen die äußeren Bedingungen des Schallfelds in der Nähe einer Schallquelle erläutert werden. Eine Erläuterung der Zusammenhänge der einzelnen Schallfeldgrößen erfolgt in Kap. 3.4.

2.1 Aufbau eines Druckgradientenempfängers und Winkelabhängigkeit des Nahbesprechungseffekts

Im Gegensatz zum Druckempfänger⁴ ist die Membran beim Druckgradientenempfänger von beiden Seiten für den Schall zugänglich. Abb. 1a⁵ zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Kapsel nach diesem Prinzip.

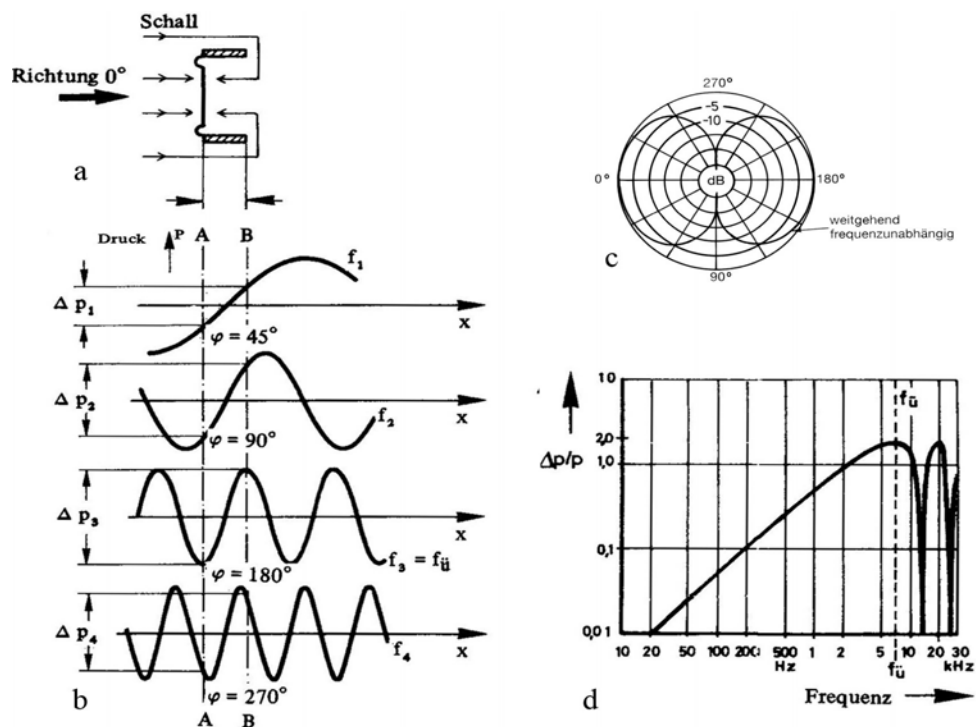


Abbildung 1: a) Prinzipaufbau eines Druckgradientenempfängers
 b) Druckgradienten bei verschiedenen Frequenzen
 c) prinzipielles Richtdiagramm eines Druckgradientenempfängers
 d) Diffusfeldfrequenzgang

2 vgl. Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 151

3 vgl. Sengpiel (1995), „Nahbesprechungs-Effekt und Schalleinfallswinkel“

4 eine Erläuterung des Druckempfängers findet sich zum Beispiel in: Dickreiter (1997), Bd.1, S. 162 ff

5 Quelle: Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 168

Man kann erkennen, dass frontal einfallender Schall nun die Möglichkeit hat, auf die Rückseite der Membran zu gelangen. Der zur Membranauslenkung benötigte Druckunterschied bildet sich nun dadurch aus, dass der Schall, um auf die Membranrückseite zu gelangen, etwas mehr Weg zurücklegen muss. Dadurch ergibt sich ein Gangunterschied des Schalldrucks zwischen Vorder- und Rückseite, und die Membran wird ausgelenkt. In Abb. 1b⁶ ist dies dargestellt. Im einfachsten Fall ist die Richtcharakteristik eine Acht (vgl. Abb. 1c)⁷, da parallel zur Membran einfallender Schall keine Wegdifferenz zwischen Membranvorder- und Rückseite zu überwinden hat und daher keine Druckdifferenz entsteht, die die Membran auslenken kann.⁸ Somit ist der reine Druckgradientenempfänger auf der Hauptachse von vorne und hinten am empfindlichsten, von der Seite jedoch gar nicht.

Modifiziert man die „Acht“ mit einem akustischen Laufzeitglied, verlängert also die Wegdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite, erhält man eine kombinierte Richtcharakteristik, die sich aus verschiedenen Anteilen der Kugelcharakteristik und der „Acht“ zusammensetzt.⁹ In Abb 2 ist dieser Sachverhalt dargestellt.¹⁰

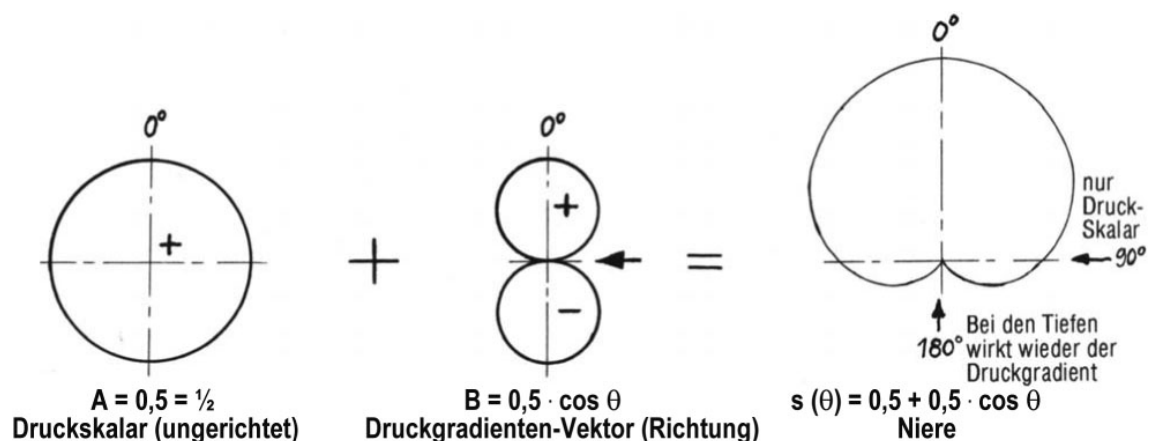


Abbildung 2: Kombinierte Richtcharakteristik aus "Kugel" und "Acht"

6 Quelle: Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 165

7 Quelle: Wuttke (o.J.), S. 14

8 vgl. Dickreiter (1997), Bd. 1, S.164 ff

9 vgl. Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 169 f

10 Quelle: Sengpiel (1993), „Geometrische Konstruktion ...“

Die vom Winkel θ abhängige Gesamtcharakteristik (Sensitivity s) ergibt sich zu $s(\theta) = a + b \cdot \cos(\theta)$, wobei a den Anteil des Drucksalars (Kugel) angibt und $b \cdot \cos(\theta)$ die Druckgradienten-Richtungskomponente (Druckgradienten-Vektor) widerspiegelt.^{11,12} So erhält man beispielsweise für $a=b=0,5$ die Charakteristik einer Niere.

Durch das Wandlerprinzip des Mikrofons bedingt, ergibt sich ein spezieller Frequenzgang, wie er in Abb. 1d¹³ abzulesen ist. Es ist zu erkennen, dass der Druckgradient frequenzabhängig ist und mit tiefer werdender Frequenz abnimmt. Hierauf wird in Kap. 3.4 näher eingegangen.

Um zu verstehen wie die Winkelabhängigkeit des Nahbesprechungseffekts zu Stande kommt, muss man die Zusammensetzung einer Richtcharakteristik aus den beiden genannten Komponenten im Hinterkopf behalten. Ebenfalls muss berücksichtigt werden, dass der Effekt nur bei Druckgradientenmikrofonen auftritt (siehe Kap. 2).

Am einfachsten lässt sich die Winkelabhängigkeit an der Charakteristik der „Niere“ erläutern, weil dort der Anteil von Druckkomponente und Druckgradientenkomponente gleichgroß ist. Abb. 3 zeigt den relativen Pegel in Abhängigkeit vom Winkel und der Frequenz.¹⁴

Man erkennt, dass der Nahbesprechungseffekt als auch der Pegel von 0° bis 60° immer weiter abnimmt. Bei einem Winkel von 90° ist der Effekt ganz verschwunden, und der Pegel beträgt nun -6dB. Dass der Effekt an dieser Stelle verschwindet, liegt an der Ausprägung der Druckgradientenkomponente, denn diese ist unter einem Winkel von 90° (und 270°) gleich Null. Der Nahbesprechungseffekt hängt aber nur davon ab (siehe Kap. 2), so dass unter 90° und 270° Schalleinfallswinkel nur noch der ungerichtete Druckska-lar wirksam ist.¹⁵ Alle anderen Winkel sind als Summen aus Druckska-lar und Druckgradienten-Vektor zu verstehen, womit der Effekt dort je nach Anteil stärker oder schwächer ausfällt.

11 Sengpiel (1993), „Geometrische Konstruktion ...“

12 Josephson(1999), S. 3

13 Quelle: Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 165

14 Quelle: Sengpiel (1995), „Nahbesprechungs-Effekt und Schalleinfallswinkel“

15 vgl. Sengpiel (1995), „Nahbesprechungs-Effekt und Schalleinfallswinkel“

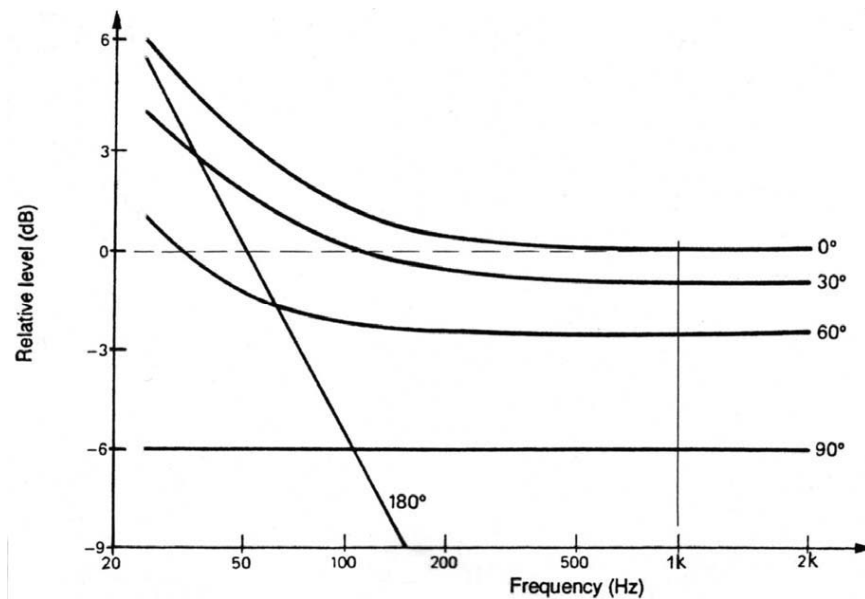


Abbildung 3: Nahbesprechungseffekt in Abhängigkeit zum Einfallswinkel

2.2 Schallfeld und Schallfeldgrößen

Da der Nahbesprechungseffekt nur in der Nähe einer Schallquelle auftritt und mit geringer werdendem Abstand r stärker wird, muss dieser Effekt mit dem Wesen der Schallquelle zusammenhängen. In der Akustik wird zwischen zwei Arten der Wellenausbreitung unterschieden: Man unterscheidet die kugelförmige Schallausbreitung als **Kugelwelle** und die Schallausbreitung als **ebene Welle**.^{16,17} Äquivalent dazu wird auch vom Nahfeld ($r < \lambda$) einer Schallquelle gesprochen, wenn sich die Schallwellen kugelförmig von einer Kugelschallquelle ausbreiten. Vom Fernfeld ($r > \lambda$) wird hingegen gesprochen, wenn die Schallwellen nahezu eine Ebene bilden. Dies ist dann der Fall, wenn man zum Beispiel einen kleinen Ausschnitt einer Kugelschallwelle in ausreichender Entfernung betrachtet.¹⁸ Der Übergang von Nah- zu Fernfeld ist frequenzabhängig. Doch schon hier findet man abweichende Angaben. Veit teilt Nah- und Fernfeld an der Stelle $r = 2 \cdot \lambda$ (vgl. S. 31), während Sengpiel in „Mikrofone im Kugelschallfeld – fern und nah“ bei $r = \lambda$ trennt. Eine weitere Marke findet man bei Zwicker, Zollner (vgl. S. 98). Durch die Eigenheiten der Schallimpedanz in der Nähe von Kugelschallquellen wird hier bei annähernder Gleichheit zwischen Kugelwellenimpedanz und Schallkennimpedanz getrennt.

¹⁶ vgl. Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 6

¹⁷ auf alle Schallfeldgrößen wird in Kap. 3.4 eingegangen

¹⁸ vgl. Veit (1988), S. 27

Kurz zu den Schallfeldgrößen:

Immer wenn Schwingungen erzeugt, abgegeben, weitergeleitet und empfangen werden, werden die Moleküle der jeweiligen Materie in Schwingung versetzt. Bei Luftschall zum Beispiel schwingen Luftmoleküle um ihre Ruhelage. Durch die Weitergabe der Schwingung unter den Mediumteilchen bildet sich ein Schallfeld aus.¹⁹ Die Mediumteilchen selber bilden die physikalische Dichte ρ des Mediums, welche räumlich und zeitlich durch Schall moduliert werden kann.

Werden die Moleküle durch Schall angeregt, bezeichnet man die Geschwindigkeit, mit der sie um ihre Ruhelage oszillieren, Schallschnelle v , die ebenfalls räumlich und zeitlich veränderlich ist. Ebenso veränderlich ist der Schalldruck p ²⁰, welcher im Schallfeld immer an den Orten groß ist, an denen die Luftmoleküle durch Anregung verdichtet werden.. Umgekehrt gilt das auch für den kleinsten Schalldruck.

Zu den schallfeldbestimmenden Größen (Schalldruck p , Schallschnelle v , Gradient $-\text{grad } p$, Schallimpedanz Z) sei angemerkt, dass sie im Allgemeinen in der Akustik im Zusammenhang mit ebenen Schallwellen (Fernfeld) hergeleitet und erläutert werden, da sie sich in nur eine Raumrichtung ausbreiten und daher ihre „quantitative Behandlung [...] infolgedessen sehr übersichtlich (ist) und [...] zu relativ einfachen Gleichungen (führt).“²¹ Der Nahbesprechungseffekt tritt aber nur im Nahfeld von Schallquellen auf. Dass heißt: Der Nahbesprechungseffekt tritt nur im Kugelschallfeld auf.

3 Darstellung und Erläuterung der einzelnen Ansätze

In der Literatur fanden sich hauptsächlich folgende, von mir konkretisierten, Erklärungen des Nahbesprechungseffekts. Dickreiter erklärt den Nahbesprechungseffekt damit, dass sich das Schallfeld in geringer und großer Entfernung zum Mikrofon unterscheidet und die **Bassverstärkung des Mikrofons, auf Grund des Diffusfeldfrequenzgangs**, für die Anhebung der tiefen Frequenzen sorgt.²² Pawera sieht den Nahbesprechungseffekt durch den **geringen Abstand der Schalleinlässe** eines Druckgradientenempfängers begründet.²³ Görne hingegen favorisiert die **Krümmung der Schallwellen** in

19 vgl. Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 2

20 vgl. Veit (1988), S. 28

21 Veit (1988), S. 29

22 vgl. Dickreiter (1995), S. 93

23 vgl. Pawera (1993), S. 27

der Nähe einer Schallquelle zur Erklärung des Effekts, die letztlich für einen überproportionalen Anstieg des Druckgradienten zur Schallquelle hin sorgen.²⁴

Des Weiteren finden sich in der Literatur weitere Angaben, die *einzelne Komponenten des Schallfelds* (Schalldruck, Schallschnelle, Druckgradient) mit in die Erklärung einbeziehen. So nimmt Dickreiter für die Ursache des Nahbesprechungseffekts zusätzlich einen starken Druckabfall bei zunehmender Entfernung im Nahfeld einer Schallquelle an.^{25,26} Ebenso Ederhof, der den Druckabfall konkretisiert und sagt, der Druck nehme im Nahfeld mit dem Quadrat der Entfernung ab. Gleichzeitig spricht dieser aber auch über den exponentiellen Anstieg des Druckgradienten mit geringer werdender Entfernung zur Schallquelle.²⁷ Görne sieht den Druckgradienten „im Vergleich zum Schalldruck überproportional“ ansteigen.²⁸

In den folgenden Kapiteln soll auf die genannten Hauptpunkte eingegangen werden und eine Prüfung auf Relevanz für den Nahbesprechungseffekt erfolgen. Die vielen ähnlichen Erklärungen, die das Schallfeld betreffen, werden in Kap. 3.4 in einer Art Themenkomplex behandelt.

3.1 Bassverstärkung am Mikrofon

Wie in Kap. 2.1 aufgezeigt wurde, besitzt das Druckgradientenmikrofon einen speziellen Frequenzgang, der sich aus dem Wandlerprinzip begründet. Da aber diese Mikrofone auch im Fernfeld eingesetzt werden sollen und auch die natürliche Bassanhebung durch den Nahbesprechungseffekt vom Abstand zur Schallquelle veränderlich ist, werden sie mit besonderen Filtern ausgestattet. Der Mikrofonbauer hat dafür zwei Varianten. Entweder geschieht die Filterung durch akustische Laufzeitglieder oder durch eine elektronische Schaltung.²⁹ Dabei werden meistens die hohen Frequenzen mittels Masse und- Reibungshemmung gedämpft.³⁰

Wichtig zu wissen ist an dieser Stelle, dass die versuchte Linearisierung des Frequenzgangs nur für eine bestimmte Entfernung (in der Regel 0,5 bis 1 m) zur Schallquelle

24 vgl. Görne (1994), S. 45

25 vgl. Dickreiter (1995), S. 93

26 vgl. Dickreiter (1997), Bd.1, S. 151

27 vgl. Ederhof (2004), S 47

28 Görne (1994), S. 45

29 vgl. Sengpiel (1995), „Mikrofone im Kugelschallfeld – fern und nah“

30 vgl. Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 165 f.

realisiert werden kann.^{31,32} Verringerte man den Abstand des linearisierten Mikrofons zur Schallquelle, würden die Tiefen jedoch wieder an Präsenz gewinnen, genauso wie sie nach dem Linearisierungspunkt wieder abfallen und sich dem bereits bekannten Verlauf des Frequenzgangs annähern.³³

Darin liegt auch die Begründung, warum die Bassanhebung nicht für den Nahbesprechungseffekt verantwortlich sein kann. Trotz der Filter steigt bei Verringerung des Abstands zur Schallquelle der Pegel tiefer Frequenzen. So gesehen würde eine Bassanhebung den Effekt verstärken, aber nicht auslösen.

3.2 Abstand der Schalleinlässe am Druckgradientenempfänger

Interessanterweise lässt sich der Nahbesprechungseffekt auch mit Parametern der Mikrofontechnik erklären, wo dieser als Anstieg der Mikrofonempfindlichkeit bei tiefen Frequenzen gesehen wird.³⁴ Was Pawera andeutet, findet man bei Torio näher erläutert. Der Nahbesprechungseffekt hängt auch vom Abstand der Schalleinlässe des jeweiligen Druckgradientenempfängers ab. Torio betrachtet den Nahbesprechungseffekt als regelbaren Tiefpass-Filter, dessen Verstärkung (Gain) proportional zum Abstand d der Schalleinlässe und umgekehrt proportional zur Entfernung r der Schallquelle ist.³⁵ Zu gleichen Schlüssen kommen auch Milanov und Milanova (2000) [vgl. S. 3].

Jedoch trägt der Abstand der Schalleinlässe nur zur Ausprägung des Effekts bei und bestimmt dessen Stärke am jeweiligen Mikrofon. Daher der Vergleich Torios mit dem regelbaren Gain eines Tiefpasses. Die physikalische Ursache liegt aber nicht dort, sondern verschlüsselt in der Antiproportionalität des Effekts zur Entfernung r , wohinter die Betrachtung des Schallfeldes im Nahfeld einer Schallquelle steckt, die für die nötigen Berechnungen unabdingbar sind. Denn je näher man der Schallquelle kommt, desto kugelförmiger wird das Schallfeld. Letztendlich ist der Übergang von der ebenen Welle zur Kugelwelle der Auslöser für die Änderung der Mikrofonempfindlichkeit bei tiefen Frequenzen und damit für den Nahbesprechungseffekt verantwortlich.³⁶

31 vgl. Sengpiel (1995), „Mikrofone im Kugelschallfeld – fern und nah“

32 vgl. Josephson (1999), S. 6

33 vgl. Josephson (1999), S. 6

34 vgl. Torio (1998), S. 1

35 vgl. Torio (1998), S. 7

36 vgl. Milanov, Milanova (2000), S. 3

3.3 Krümmung der Wellenfronten

Zu diesem Thema finden sich nur sehr wenige Hinweise in der Literatur als auch im Internet, welche sich nichteinmal entsprechen müssen. Görne meint, dass die Krümmung der Wellenfronten zur Schallquelle hin an Einfluss gewinnt und dadurch der Druckgradient im Vergleich zum Schalldruck überproportional steigt.³⁷

Im Mic-Tutorial von Behringer findet sich eine ähnliche Aussage. Nur dass man dort sagt, dass sich durch die Krümmung der Wellenfront zusätzlich die vorhandene Wegdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite der Membran verlängert und dadurch der Druckgradient erhöht wird.³⁸ Es stellt sich allerdings die Frage, ab welchem Ort und zwischen welchen Punkten diese Wegdifferenz gemessen werden soll, denn der Druckgradient ist eine differentielle Größe.

Es ist in gewisser Weise richtig, dass die Krümmung der Wellenfronten zum Nahbesprechungseffekt beiträgt. Wie im vorherigen Kapitel erkannt und in Kap. 2.2 angedeutet, hängt der Nahbesprechungseffekt unmittelbar mit dem Kugelschallfeld zusammen. Wie in Kap. 3.4 gezeigt werden wird, besteht im Kugelschallfeld eine Phasenverschiebung zwischen Schnelle und Druck, wodurch die Schallimpedanz komplex wird und nicht, wie im ebenen Schallfeld, nur eine reale Größe ist. Also meint vielleicht die ‚Krümmung der Wellenfronten‘ lediglich diesen Umstand.

Es gibt aber auch Hinweise dafür, dass die Krümmung ein fester Faktor im Kugelschallfeld ist.

In den Gleichungen für die Schallimpedanz als auch für den Schalldruck im Kugelschallfeld ist der Faktor $k r$ enthalten.³⁹ k ist die Wellenzahl, die angibt, wie viele Wellenlängen λ auf den Umfang des Einheitskreises passen.⁴⁰ $k r$ gilt für den Umfang einer Kugel und ergibt sich zu⁴¹

$$k r = \frac{2 \pi r}{\lambda} = \frac{2 \pi f r}{c} = \frac{\omega r}{c}.$$

37 vgl. Görne (1994), S. 45

38 vgl. Behringer (o.J.), Kap. 2.2.3

39 vgl. Zollner, Zwicker (1993), S. 64

40 vgl. Zollner, Zwicker (1993), S. 59

41 vgl. Zollner, Zwicker (1993), S. 64

Hierin steckt die Information der Krümmung. Je größer r , desto mehr Wellenlängen passen auf den Kugelumfang (bei konstanter Frequenz). Analog gilt dies für ein konstantes r und eine veränderliche (Kreis-)Frequenz. Diese Beziehung drückt ebenfalls den Umstand aus, dass das Nahfeld für tiefe Frequenzen größer und für geringe Frequenzen kleiner ist. Eine interessante Frage in diesem Zusammenhang ist allerdings, ob man sich das bildlich wirklich so vorstellen muss, dass für hohe Frequenzen die Wellenfronten schon nach wenigen Zentimetern annähernd eben sind und tiefe Frequenzen am gleichen Ort noch eine Krümmung aufweisen. So ist doch bei einem Steinwurf ins Wasser die Wellenkrümmung nur vom Abstand zum Einwurfpunkt abhängig.

Gegen die Theorie mit der Krümmung unter dem Faktor kr spricht allerdings, dass in den Gleichungen zur ebenen Welle der Faktor k ebenfalls auftaucht, obwohl dieser sich auf den Einheitskreis bezieht. Zum Beispiel⁴²:

$$\underline{p}(x, t) = \underline{p}_{ab} e^{-jkx}$$

3.4 Gegenseitige Abhängigkeiten von Schalldruck, Schallschnelle, Druckgradient und Schallimpedanz

Das Schallfeld um eine Schallquelle lässt sich qualitativ durch verschiedene Größen erfassen. Die wichtigsten und charakteristischsten Größen sind der Schalldruck p , die Schallschnelle v , der Druckgradient $-grad\ p$ und die Schallimpedanz Z . Diese vier Größen hängen alle voneinander ab und bedingen sich gegenseitig. Dabei ist es ein grundsätzlicher Unterschied, ob es sich um ein Kugelschallfeld bzw. Kugelwellen handelt oder um ein ebenes Schallfeld bzw. ebene Wellen.

Bei der Betrachtung des Nahbesprechungseffekts ist vor allem der Zusammenhang der Größen im Nahfeld einer Kugelschallquelle von Bedeutung. Hier verhalten sich Schalldruck und Schallschnelle nicht mehr proportional zueinander. Während der Schalldruck **immer** in kugelförmigen, aber auch in ebenen Wellen mit $1/r$ abnimmt, nimmt die Schallschnelle im Nahfeld mit $1/r^2$ ab, also viel schneller als der Schalldruck. Damit einhergehend kommt es zu einer Phasenverschiebung zwischen Schnelle und Schalldruck, wobei der Schalldruck der Schnelle um bis zu 90° vorseilt. Abb. 4 veranschau-

42 vgl. Zollner, Zwicker (1993), S. 59

licht diesen Sachverhalt.⁴³ Dies äußert sich ebenfalls in der Schallkennimpedanz, welche im Nahfeld nun zur komplexen Größe wird und sich aus einem Blind- und einem Wirkanteil zusammensetzt. Sie wird dann spezifische Impedanz Z_s genannt und ist im Nahfeld von der Frequenz (bzw. Wellenlänge) und der Schallquellenentfernung abhängig.⁴⁴ Der Druckgradient steht ebenfalls in Phasenbeziehung zu Schnelle und Schalldruck. In einer ebenen Welle, wo v und p in Phase sind, eilt ihnen der Druckgradient um 90° voraus. In einer Kugelwelle sind Druckgradient und Schalldruck in Phase und eilen der Schnelle um 90° voraus.⁴⁵

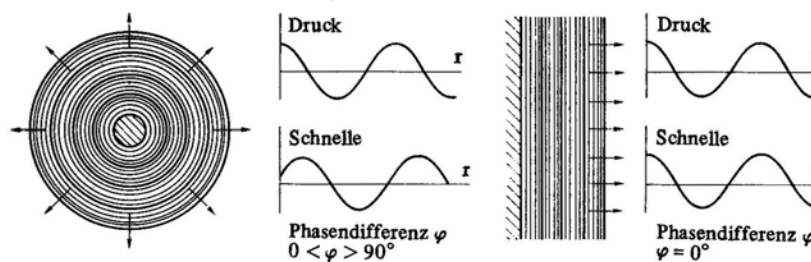


Abbildung 4: Kugelwelle und ebene Welle

Somit sind die Aussagen von Dickreiter und Ederhof (vgl. Kap. 3) widerlegt, da sie den Nahbesprechungseffekt auf einen starken Druckabfall im Nahfeld angenommen haben. Der Schalldruck fällt aber immer konstant mit $1/r$.

Nun führt die rapide Abnahme der Schallschnelle mit $1/r^2$ in der Literatur häufig zu dem Schluss, dass es die Schallschnelle sei, die den Nahbesprechungseffekt verursacht. Ebenso häufig wird der Begriff des Druckgradientenempfängers äquivalent mit dem des Schnelleempfängers verwendet. Analog dazu findet man als Begründung für den Nahbesprechungseffekt den exponentiell ansteigenden Druckgradienten (vgl. Kap. 3). Aber wie passt das zusammen? Verhält sich der Druckgradient proportional zur Schallschnelle, und lassen sich Schnelle und Druckgradient überhaupt äquivalent verwenden?

Nach Kammann sind Schallschnelle und Druckgradient nicht äquivalent zu benutzen. Schnelle und Druckgradient sind zwar jeweils Vektoren, aber anders definiert. Die Schallschnelle ist ein Vektor, der Richtung und Betrag der *mittleren Geschwindigkeit* angibt, mit der die Luftmoleküle um ihre Ruhelage oszillieren. Der Druckgradient ist ein Vektor, der Richtung und Betrag einer *Druckdifferenz* zwischen zwei dicht benach-

43 Quelle: Dickreiter (1997), Bd. 1, S. 6

44 vgl. Veit (1988), S. 31 ff.

45 vgl. Kammann (2002), „Schallschnelle und Druckgradient sind nicht das Gleiche“

barten Orten angibt.⁴⁶ Jedoch gehen beide Größen eine Verbindung zueinander ein. Die so genannte Eulersche Bewegungsgleichung ist die zweite Grundgleichung des Schallfelds⁴⁷ und lautet bei Kammann:

$$\frac{dp}{dr} = -\rho \frac{dv}{dt}$$

Mit $v = v_0 \cdot \sin(\omega t)$ und der Ableitung der Schnelle nach der Zeit ergibt sich abschließend

$$\frac{dp}{dr} = -\rho \cdot \omega \cdot v_0 \cdot \cos \omega t = -\rho \cdot \omega \cdot v_0 \cdot \sin(\omega t + 90^\circ) .$$

Hieraus leiten sich die oben genannten Phasenbeziehungen zwischen Schnelle, Gradient und Schalldruck ab. Nimmt man nun eine konstante Schnelle an, ändert sich der Druckgradient proportional zur Frequenz ω , womit Druckgradient und Schallschnelle nicht gleichgesetzt werden können.⁴⁸ Was ist aber bei konstanter Kreisfrequenz und dem Wissen, dass sich im Nahfeld die Schnelle mit $1/r^2$ verändert? Damit ergibt sich, dass sich auch der Druckgradient mit $1/r^2$ verändern muss, womit der Nahbesprechungseffekt über den Druckgradienten und nicht über die Schallschnelle erklärt wäre.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In den vorhergehenden Kapiteln wurde gezeigt, welche Ansätze und Erklärungen es für den Nahbesprechungseffekt gibt. Dabei wurde herausgestellt, dass der Nahbesprechungseffekt nicht von der Bassanhebung des Mikrofons und auch nicht durch den Abstand der jeweiligen Schalleinlässe hinter und vor der Membran für den Nahbesprechungseffekt verantwortlich ist. Sie stellen nur jeweils verstärkende Faktoren dar, die im Mikrofon selber den Frequenzgang bestimmen.

Damit blieben zur Erklärung des Effekts nur noch die Krümmung der Wellenfronten im Nahfeld eines Mikrofons und die Schallfeldeigenschaften des Kugelschallfelds als physikalische Grundlage übrig.

46 vgl. Kammann (2002), „Schallschnelle und Druckgradient sind nicht das Gleiche“

47 vgl. Zollner, Zwicker (1993), S. 51

48 vgl. Kammann (2002), „Schallschnelle und Druckgradient sind nicht das Gleiche“

Hierbei wurde gezeigt, dass der Faktor kr ein Indiz für die Krümmung der Wellenfronten sein kann. Denn mit der Krümmung kommen wesentliche Veränderungen im Schallfeld zustande, wie in Kapitel 3.4 gezeigt wurde. Daher taucht der Faktor kr in den Gleichungen des Kugelschallfelds auf. Problem aber ist, dass die Wellenzahl k , die die Anzahl der Wellenlängen auf dem Einheitskreis beschreibt, ebenfalls in den Gleichungen des ebenen Schallfelds auftaucht, wo an sich eine Ebene und kein Kreis/ bzw. keine Kugel angenommen wird.

Zuletzt wurde festgestellt, dass es wesentliche Unterschiede zwischen Druckgradient, Schallschnelle und Schalldruck gibt. Diese drei Größen stehen je nach Ort (Nah- oder Fernfeld) in anderen Phasenwinkeln zueinander, wobei die Auswirkungen dessen nicht abzusehen sind. Zudem sind Schallschnelle und Druckgradient anders definiert, so dass die äquivalente Verwendung der Begriffe Schallschnelle und Druckgradient nicht möglich ist, wenngleich sie in einer festen Proportion, über die Eulersche Bewegungsgleichung, zueinander stehen. Daraus ergibt sich, dass Schallschnelle und Druckgradient jeweils mit $1/r^2$ im Nahfeld abnehmen und damit der überproportional ansteigende Druckgradient (mit kleiner werdendem r !) den Nahbesprechungseffekt verursachen kann.

Letztendlich erscheint die Erklärung des Nahbesprechungseffekts immer noch unlogisch, obwohl die Formeln eindeutige Indizien liefern, denn:

Der Druckgradient definiert sich zunächst als Druckdifferenz zwischen zwei Punkten im Schallfeld.⁴⁹ Jetzt verhält sich der Schalldruck überall mit $1/r$ proportional. Damit müsste der Verlauf des Druckgradienten auch zu $1/r$ proportional sein. Die Herleitung der Eulerschen Bewegungsgleichung erfolgt aber über das Newtonsche Grundgesetz der Mechanik, wodurch sich der Druckgradient durch die partielle Ableitung der Schnelle nach der Zeit darstellt.^{50,51} Damit verbunden ergeben sich die in Kapitel 3.4 dargestellten Zusammenhänge. Ist der Druckgradient nun ein Druckunterschied? Oder entspricht er eher der Beschleunigung eines Luftmoleküls, die aber durch einen Druckunterschied ausgelöst wird?

49 vgl. Zollner, Zwicker (1993), S. 51

50 vgl. Zollner, Zwicker (1993), S. 51

51 $\partial v / \partial t$ meint die Beschleunigung des Masseteilchens am festen Ort x , **nicht** die Beschleunigung dv/dt eines bestimmten Masseteilchens. Für kleine Schnellen lassen sich die Größen aber annähern. [vgl. Zollner, Zwicker (1993), S. 61]

Eine nähere Betrachtung der Energieformen im Schallfeld würde mit Sicherheit weiterführen, denn der Druckunterschied zwischen zwei Punkten ist ein Vektor, der zwischen zwei Orten mit verschiedenen potentiellen Energien (Schalldrücken) verläuft. Diese potentielle Energie wandelt sich schließlich über die Schallimpedanz in kinetische Energie, die eine Beschleunigung der Luftmoleküle und letztlich deren Schnelle bestimmt. Damit wäre der Druckgradient die entsprechende Kraft, die auf die Moleküle wirkt, so wie es bei der Herleitung der Eulerschen Bewegungsgleichung zu sehen ist.

Letzten Endes ist die Diskussion über das Zustandekommen des Nahbesprechungseffekts müßig, da es offensichtlich keine anderen logischen Erklärungsansätze als die über das Schallfeld gibt. Eher sollte eine Diskussion über die Bezeichnung von Mikrofonen stattfinden. Wenn das Wandlerprinzip eines Mikrofons danach bezeichnet wird, welche physikalische Größe die Membran antreibt bzw. wonach sie sich bewegt, müsste sie für Druck- als auch Druckgradientenempfänger jeweils Schnelleempfänger lauten, da die Schnelle das Resultat aus Druckunterschieden vor und hinter der Membran ist. Es ist nur ein Unterschied, welche potentielle Energie (Luftdruck, Schalldruck) hinter der Membran zur Ausbildung der Kraft auf die Luftmoleküle führt. Dies ist beim Druckempfänger ein Referenzdruck, der gleich dem Luftdruck ist. Beim Druckgradientenempfänger ist es der phasenverschobene Schalldruck.

Also ergäbe sich die Bezeichnung von Mikrofonen sinnvoller aus der Basis der Kraft, die die Membran antreibt. Beim Mikrofon mit abgeschlossener Kapsel ist das der atmosphärische Luftdruck, beim Mikrofon mit offener Kapsel der phasenverschobene Schalldruck. So ließe sich die Bezeichnung Druckgradientenempfänger beibehalten. Für den Druckempfänger käme die Bezeichnung Luftdruck-Referenz-Empfänger der antreibenden Kraft am nächsten.

Literaturverzeichnis

BEHRINGER (o.J.): Mic-Tutorial. 2. Kap, <http://www.behringer.com/04_ultranet/tutorials/mic-tutorial/kapselbauweisen.html>, verfügbar am 01.03.2006

DICKREITER Michael (1995): *Mikrofon-Aufnahmetechnik*. 2., neu bearb. und erw. Aufl., Stuttgart: Hirzel, S., Verlag GmbH & Co.

DICKREITER Michael (1997): *Handbuch der Tonstudioteknik*; 6. Aufl., Bd 1, München: K G-Saur

EDERHOF Andreas (2004): *Das Mikrofonbuch. Optimaler Einsatz im Studio und auf der Bühne*. München: GC Carstensen.

GÖRNE Thomas (1994): *Mikrofone in Theorie und Praxis*. Aachen: Elektor-Verl.

JOSEPHSON David (1999): *A Brief Tutorial on Proximity Effect*. in: AES-Preprint Number 5058, o. Ort: Audio Engineering Society (Hrsg.)

KAMMANN Johannes (o.J.): *Schallschnelle und Druckgradient sind nicht das Gleiche*. in: Sengpiel Eberhard (2002): *SchallschnelleIstNichtDruckgradient.pdf*. <<http://www.sengpielaudio.com/SchallschnelleIstNichtDruckgradient.pdf>>, verfügbar am 10.11.2005

MILANOV Emil Nikolov, MILANOVA Elena Blagoeva (2000): *Proximity Effect Frequency Characteristics of Directional Microphones*. in: AES-Preprint Number 5077, o. Ort: Audio Engineering Society (Hrsg.)

PAWERA Norbert (1993): *Mikrofon-Praxis*. 3.,verb. und erw. Aufl., München: Franzis

SENGPIEL Eberhard (1993): *Geometrische Konstruktion der Nieren-Richtcharakteristik aus der Addition von Acht- und Kugel-Richtcharakteristik*. *GeometrischeKonstruktionDerNieren.pdf*. <<http://www.sengpielaudio.com/GeometrischeKonstruktionDerNieren.pdf>>, verfügbar am 10.11.2005

SENGPIEL Eberhard (1995): *Mikrofone im Kugelschallfeld – fern und nah*. *MikrofoneImSchallfeld.pdf*. <<http://www.sengpielaudio.com/MikrofoneImSchallfeld.pdf>>, verfügbar am 10.11.2005

SENGPIEL Eberhard (1995): Nahbesprechungs-Effekt und Schalleinfallswinkel.

NahbesprechungseffektUndSchalleinfall.pdf.

<<http://www.sengpielaudio.com/NahbesprechungseffektUndSchalleinfall.pdf>>, verfügbar am
10.11.2005

TORIO Guy (1998): *Understanding the Transfer Functions of Directional Condenser Microphones in Response to Different Sound Sources*. in: AES-Preprint Number 4800, o. Ort: Audio Engineering Society (Hrsg.)

VEIT Ivar (1988): *Technische Akustik. Grundlagen der physikalischen, physiologischen und Elektroakustik*. 4. Aufl., Reihe Vogel-Fachbuch; Kamprath-Reihe, Würzburg: Vogel

WUTTKE Jörg (2000): *Mikrofonaufsätze*. 2. Aufl., Karlsruhe (Durlach): Schalltechnik Dr.-Ing. Schoeps GmbH

ZOLLNER Manfred, ZWICKER Eberhard (1993): *Elektroakustik*. Berlin; Heidelberg; et al: Springer-Verlag

Kommentiertes Literaturverzeichnis

BEHRINGER (o.J.): Mic-Tutorial. 2. Kap, <http://www.behringer.com/04_ultranet/tutorials/mic-tutorial/kapselbauweisen.html>, verfügbar am 01.03.2006

Diese Quelle ist für das wissenschaftliche Arbeiten nicht gut geeignet, da sich die gemachten Angaben nicht nachvollziehen lassen. Es ist eine Quelle für Heimanwender der Behringer. Beispielsweise ist kein Autor ausgeschrieben. Dafür ist der Text über bunte Bilder relativ anschaulich gestaltet, kann allerdings nur einen groben Überblick geben.

DICKREITER Michael (1995): *Mikrofon-Aufnahmetechnik*. 2., neu bearb. und erw. Aufl., Stuttgart: Hirzel, S., Verlag GmbH & Co.

Ein sehr übersichtlich gestaltetes Buch, in dem jeweils eine Seite nur Text enthält, und die andere die betreffenden Grafiken dazu. Was der Titel verrät ist im Buch auch enthalten. Es ist zu empfehlen, wenn man sich mit Mikrofonaufnahmetechnik auseinandersetzen möchte.

DICKREITER Michael (1997): *Handbuch der Tonstudioteknik*; 6. Aufl., Bd 1, München: K G-Saur

Hierbei handelt es sich um ein Standardwerk in der Fachliteratur für Audiotechnik. Eine übersichtliche Gliederung, sowie ein sehr gutes Glossar lassen den Anwender schnell gesuchte Sachverhalte ausfindig machen. Die gegebenen Erklärungen sind meist hergeleitet und lassen sich ohne viel Mühe nachvollziehen.

EDERHOF Andreas (2004): *Das Mikrofonbuch. Optimaler Einsatz im Studio und auf der Bühne*. München: GC Carstensen.

Dieses Buch deckt alle Gebiete ab, die unmittelbar mit Mikrofonen und Mikrofonteknik zu tun haben. Es gehört zu den Fachbüchern die eher für den Heimanwender gedacht sind und somit kommt es ohne viele Formeln aus. Das Buch ist recht übersichtlich gegliedert. In der Handhabung, durch den engen Satz und die Klebebindung, sehr unübersichtlich. Der für diese Arbeit in Frage kommende Aspekt war zudem nicht sehr gut und zudem falsch erläutert.

GÖRNE Thomas (1994): *Mikrofone in Theorie und Praxis*. Aachen: Elektor-Verl.

Ein sehr übersichtliches zu empfehlendes Fachbuch in Sachen Mikrofone. Die Erklärungen sind in der Regel gut nachvollziehbar. Das Buch ist sehr gut strukturiert und bietet auch durch das Glossar schnellen Zugriff auf gesuchte Informationen.

JOSEPHSON David (1999): *A Brief Tutorial on Proximity Effect*. in: AES-Preprint Number 5058, o. Ort: Audio Engineering Society (Hrsg.)

Dieser Text bietet einen guten Überblick, was den Nahbesprechungseffekt angeht. Details sind aber nicht dargestellt.

KAMMANN Johannes (o.J.): *Schallschnelle und Druckgradient sind nicht das Gleiche*. in: Sengpiel Eberhard (2002): SchallschnelleIstNichtDruckgradient.pdf.

<<http://www.sengpielaudio.com/SchallschnelleIstNichtDruckgradient.pdf>>, verfügbar am 10.11.2005

Eine sehr interessante Zusammenfassung der Problematik zwischen Schalldruck und Schnelle. Dennoch benötigt man zusätzliche Literatur um die Zusammenhänge nachvollziehen zu können.

MILANOV Emil Nikolov, MILANOVA Elena Blagoeva (2000): *Proximity Effect Frequency Characteristics of Directional Microphones*. in: AES-Preprint Number 5077, o. Ort: Audio Engineering Society (Hrsg.)

Die Autoren geben einen Einblick darin, wie der Frequenzverlauf des Druckgradientenempfängers durch das Mikrofon beeinflusst wird. Was die Nachvollziehbarkeit des Textes erschwert sind die Formeln, die mehr oder weniger als Lauftext auftauchen und nicht gesetzt sind. Ansonsten wird die Materie anschaulich dargestellt und behandelt.

PAWERA Norbert (1993): *Mikrofon-Praxis*. 3.,verb. und erw. Aufl., München: Franzis

Diese Buch lässt sich mit den gleichen Worten beschreiben, wie das von Görne. Es ist allerdings nicht ganz so umfangreich und eignet sich daher dafür, sich einen schnellen Überblick über bestimmte Themengebiete zu verschaffen.

SENGPIEL Eberhard (1993): *Geometrische Konstruktion der Nieren-Richtcharakteristik aus der Addition von Acht- und Kugel-Richtcharakteristik*. GeometrischeKonstruktionDerNieren.pdf.

<<http://www.sengpielaudio.com/GeometrischeKonstruktionDerNieren.pdf>>, verfügbar am 10.11.2005

Ein Dokument, welches das Zustandekommen einer speziellen Richtcharakteristik sehr anschaulich darstellt und das Verständnis dafür fördert. Gleiches gilt für die nachfolgenden Dokumente von Sengpiel. Es wird der jeweilige Sachverhalt immer auf den Punkt gebracht.

SENGPIEL Eberhard (1995): *Mikrofone im Kugelschallfeld – fern und nah*.

MikrofoneImSchallfeld.pdf. <<http://www.sengpielaudio.com/MikrofoneImSchallfeld.pdf>>, verfügbar am 10.11.2005

SENGPIEL Eberhard (1995): Nahbesprechungs-Effekt und Schalleinfallswinkel.

NahbesprechungseffektUndSchalleinfall.pdf.

<<http://www.sengpielaudio.com/NahbesprechungseffektUndSchalleinfall.pdf>>, verfügbar am 10.11.2005

TORIO Guy (1998): *Understanding the Transfer Functions of Directional Condenser Microphones in Response to Different Sound Sources*. in: AES-Preprint Number 4800, o. Ort: Audio Engineering Society (Hrsg.)

Hierbei handelt es sich um einen speziellen Sachtext, der näher erläutert, wie reale Mikrofone elektrischen Ersatzschaltungen angenähert werden können. Die Herleitung der Sachverhalte ist sehr interessant, aber mit fehlendem Background nicht so leicht nachzuvollziehen.

VEIT Ivar (1988): *Technische Akustik. Grundlagen der physikalischen, physiologischen und Elektroakustik*. 4. Aufl., Reihe Vogel-Fachbuch; Kamprath-Reihe, Würzburg: Vogel

Ein sehr gutes Fachbuch, welches einen durch kompetente Erläuterungen und gute Übersichtlichkeit die jeweiligen Sachverhalte nahebringt und mit Formeln stützt.

WUTTKE Jörg (2000): *Mikrofonaufsätze*. 2. Aufl., Karlsruhe (Durlach): Schalltechnik Dr.-Ing. Schoeps GmbH

Dies ist eine interessante Abhandlung über Mikrofone, speziell aus der Hand des Herstellers Schoeps. Hier findet man Grundsätzliche Dinge über Mikrofone erläutert und dazu Produktinformationen der Firma Schoeps.

ZOLLNER Manfred, ZWICKER Eberhard (1993): *Elektroakustik*. Berlin; Heidelberg; et al: Springer-Verlag

Dies ist eins der wichtigsten Bücher auf dem Gebiet der Elektroakustik. Hier finden sich alle Zusammenhänge und Formeln, die sich in anderen Büchern nicht finden lassen. Jedoch ist ein mathematischer oder physikalischer Hintergrund zu empfehlen, denn das Buch beruht sehr auf Mathematik.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: a)-d) Prinzipaufbau eines Druckgradientenempfängers.....	2
Abbildung 2: Kombinierte Richtcharakteristik aus "Kugel" und "Acht"	3
Abbildung 3: Nahbesprechungseffekt in Abhängigkeit zum Einfallswinkel.....	5
Abbildung 4: Kugelwelle und ebene Welle.....	11

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Mittweida, 06.03.2006

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Daniel Mariano', with a stylized, flowing script.

Daniel Mariano