

Koinzidente Mikrofonarrays

Bernfried Runow¹

¹ Eberhard Karls Universität Tübingen, Wilhelm-Schickard Institut, Email: bernfried@runow.info

1. Einführung

Koinzidenz bezeichnet in der Akustik ein zeitliches wie räumliches Zusammentreffen von Schallsignalen. Die Abtastung des Schallfelds wird also nur an einem Punkt im Raum vorgenommen. Alle Mikrofone müssen daher genau an derselben Stelle platziert werden, so dass keine Laufzeit- und Phasenunterschiede entstehen. Die räumliche Information wird aus den bekannten Richtcharakteristiken der verwendeten Mikrofone und deren Ausrichtung abgeleitet.

Das kleinste koinzidente Mikrofonarray kann aus zwei Mikrofonen gebildet werden. In der Aufnahmetechnik sind die x/y-Anordnung, bestehend aus zwei im Winkel von 90° zueinander angeordneten Druckgradientenempfängern, und das MS-System, das auf der Mitte/Seite-Stereotechnik beruht, die beiden bekanntesten Verfahren.

Ein solches koinzidentes Mikrofonarray, bestehend aus zwei Mikrofonen, enthält keine eindeutigen Richtungsinformationen für eine Schallquelle in einer Ebene. Erst das Hinzufügen einer dritten Mikrofonkapsel erlaubt bei sinnvoller Anordnung eine sichere Ortung, beispielsweise in der Horizontalebene. Für den dreidimensionalen Raum werden sogar mindestens vier Mikrofone benötigt.

Die reelle Aufstellung der Mikrofonkapseln ist nie ideal, da die Kapseln auf Grund ihres Körpers nicht am identisch selben Ort angeordnet werden können. Die Folge ist Aliasing. Es existiert also eine obere Grenzfrequenz der Koinzidenz¹.

Außerdem müssen auf Grund der bei koinzidenten Mikrofonarrays notwendigen Richtcharakteristiken Druckgradientenempfänger verwendet werden, deren Empfindlichkeit in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des Schalls und der Frequenz ebenfalls nicht ideal sind. Hochwertige Kondensatorkapseln haben jedoch bei tiefen Frequenzen ein nahezu ideales Polardiagramm.

2. Koinzidente Mikrofonanordnungen

2.1. x/y-Anordnung

Die x/y-Anordnung verwendet zwei Druckgradientenempfänger mit identischer Richtcharakteristik, die symmetrisch zur Hauptachse im Winkel von 90° bis über 130° zueinander angeordnet sind.

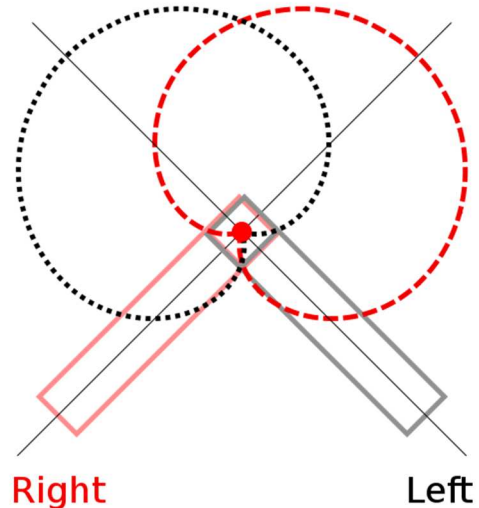


Abb 1: x/y-Anordnung

Wie Abb. 1 zu entnehmen ist, wird bei einer Stereoaufnahme das nach links gerichtete Mikrofon dem linken Wiedergabekanal zugeordnet, das nach rechts gerichtete entsprechend dem rechten Kanal. Durch die beiden variablen Eigenschaften, die Richtcharakteristik und der Öffnungswinkel, können der Aufnahmewinkel und die Größe der Abbildung variiert werden. Technisch gesehen ist der optimale Öffnungswinkel erreicht, wenn die Richtdiagramme der Druckgradientenempfänger genau bei -3 dB die Stereo-Hauptachse schneiden. In diesem Fall wird die größte mögliche Konstanz des Aufnahmepegels über den gesamten Aufnahmebereich erzielt.

Da die Mikrofonanordnung hinsichtlich Koinzidenz der Kapseln nie ideal sein kann, ist darauf zu achten, dass seitlich eintreffender Schall das seiner Richtung zugeordnete Mikrofon entweder früher oder zeitgleich mit dem anderen Mikrofon erreicht. Ansonsten kann eine unzureichende Abbildung entstehen, indem das Schallereignis auf Grund des Gesetzes der ersten Wellenfront der falschen Richtung zugeordnet wird.

2.2. Mikrofonanordnung nach Blumlein

Bereits 1931 meldete Alan Blumlein eine koinzidente Stereomikrofonanordnung zum Patent an, die zwei offene Druckgradientenempfänger, also zwei Empfänger mit „Acht“-

¹ vgl. Weinzierl (2008), S. 593.

Charakteristik, vorsieht, die im Öffnungswinkel von 90° zueinander, symmetrisch zur Stereo-Hauptachse angeordnet sind, wie Abb. 2 zeigt.

500Hz verloren geht.

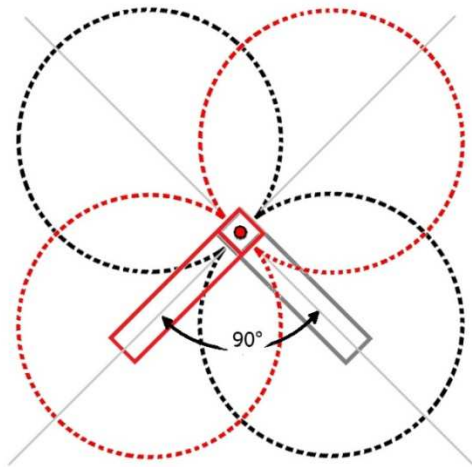


Abb 2: Anordnung nach Blumlein

Diese Aufstellung berücksichtigt bei der Aufnahme auch rückwärtig einfallenden Schall. Wenn die Stereohauptachse auf die Schallquelle gerichtet ist, werden so Direkt- und Diffusschall gleichberechtigt aufgezeichnet. Durch die hohe seitliche Bedämpfung der „Acht“-Charakteristik nimmt beispielsweise das nach links gerichtete Mikrofon so gut wie keinen Direktschall von rechts auf, so dass eine zuverlässige Stereotrennung entsteht.

Diese Mikrofonaufstellung wird nicht nur als Stereoanordnung verwendet. Matriziert man die beiden orthogonal zueinander angeordneten Mikrofone mit geeigneter Gewichtung, so kann ein virtuelles Mikrofon mit „Acht“-Charakteristik erzeugt werden. Abhängig von der Gewichtung kann die virtuelle Acht in der Ebene der beiden Ausgangs-Mikrofone beliebig ausgerichtet werden. Die Richtcharakteristik des entstehenden, virtuellen Mikrofons kann mathematisch beschrieben werden durch:

$$\Gamma_V(\theta) = \cos(\theta - \alpha), \quad (1)$$

wobei α der Ausrichtungswinkel und Γ_V die vom Einfallswinkel θ abhängige Empfindlichkeit ist. Wenn dieses virtuelle Mikrofon durch eine Matrizierung der beiden Mikrofone der Blumlein-Anordnung gebildet werden kann, so folgt

$$\Gamma_V(\theta) = k_x \cdot \cos(\theta) + k_y \cdot \sin(\theta). \quad (2)$$

Die Cosinus-Funktion beschreibt dabei die „Acht“ in x-Richtung, die Sinus-Funktion die „Acht“ in y-Richtung, k_x und k_y sind die jeweiligen Gewichtungskoeffizienten. Die Empfindlichkeit des virtuellen Mikrofons muss außerdem

bei einer „Acht“-Charakteristik nach vorne, also für den Ausrichtungswinkel, eins sein:

$$\Gamma_V(\theta = \alpha) = k_x \cdot \cos(\alpha) + k_y \cdot \sin(\alpha) = 1. \quad (3)$$

Setzt man (1) und (2) gleich, so erhält man unter Zuhilfenahme von (3) die beiden Gewichtungskoeffizienten, die in Abhängigkeit vom gewünschten Ausrichtungswinkel α bestimmt werden können:²

$$\begin{aligned} k_x &= \cos(\alpha) \\ k_y &= \sin(\alpha). \end{aligned} \quad (4)$$

2.3. Mitte/Seite-Anordnung

Die Mitte-Seite-Stereofonie (MS) geht ebenfalls auf Blumlein zurück und entstand aus der Notwendigkeit, ein Stereosignal kompatibel zur Monowiedergabe übertragen zu können. Neben dem Mittensignal, das direkt als Monosignal wiedergegeben werden kann, gibt es ein Seitensignal, das die Differenzinformation der beiden Stereokanäle enthält. Dieses System wird bis heute bei Schallplatten und der analogen, terrestrischen Hörfunkverbreitung im UKW-Band verwendet, und gewährleistet eine sichere Monokompatibilität.

Zur Aufnahme des MS-Signals werden ebenfalls zwei Mikrofone verwendet. Im Gegensatz zum x/y-Verfahren werden jedoch zwei unterschiedliche Richtcharakteristiken verwendet. Neben dem Mikrofon für das Seitensignal (S) mit einer „Acht“-Charakteristik, kann das Mikrofon für das Mittensignal (M) eine beliebige Richtcharakteristik aufweisen. Üblich für dieses Mikrofon sind eine „Kugel“- oder „Nieren“-Charakteristik. In Abb. 3 ist die Kombination von „Niere“ und „Acht“ dargestellt.

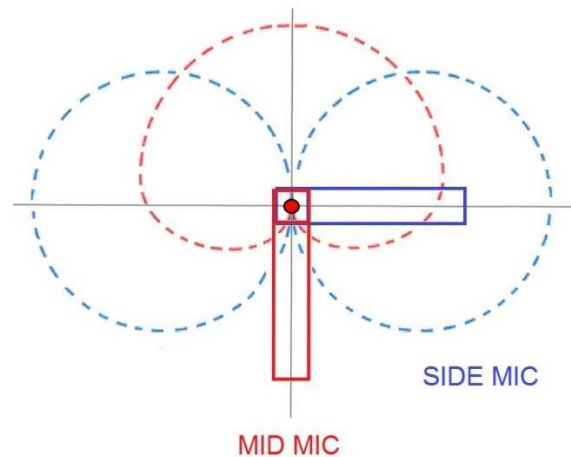


Abb 3: MS-Mikrofonanordnung mit Nieren- und Achtcharakteristik

Um das MS-Signalspaar in einem Stereo-System wiederzugeben ist eine Matrizierung notwendig. Für das linke Stereosignal $L(t)$ und das rechte $R(t)$:

$$L(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(M(t) + S(t)), \quad (5)$$

² siehe Anhang S. 5

$$R(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(M(t) - S(t)), \quad (6)$$

wobei der Bruch $\frac{1}{\sqrt{2}}$ die beiden Signale normiert.

Die Summen- und Differenzbildung der MS-Signale schafft eine virtuelle Anordnung, die mit einem x/y-Aufbau vergleichbar ist. Für das linke virtuelle Mikrofon $X(t)$ und das rechte $Y(t)$, sowie das Mischverhältnis r , wobei $0 \leq r \leq 1$, gilt folglich:

$$X(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}[rM(t) + (1-r)S(t)], \quad (7)$$

$$Y(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}[rM(t) - (1-r)S(t)]. \quad (8)$$

2.4. Doppel MS-Anordnung

Mit dem Aufkommen des 5.1 Mehrkanaltons suchte man nach Mikrofonanordnungen, die ein sinnvolles auditives Abbild für diese Abhörsituation bereitstellen. Es war naheliegend bewährte Mikrofonanordnungen aus der Zweikanal-Stereotechnik so weiterzuentwickeln, dass sie auch für diese erweiterte Lautsprecheraufstellung eingesetzt werden können.

Fügt man der bekannten MS-Aufstellung ein weiteres Mikrofon mit „Nieren“-Charakteristik hinzu, die entgegengesetzt zu der bereits vorhandenen „Niere“ ausgerichtet wird, entsteht eine zweite, nach hinten gerichtete MS-Anordnung. Mit dieser doppelten MS-Aufstellung ist es möglich, die gesamte Horizontalebene abzubilden. Abb. 4 zeigt die Doppel MS-Anordnung von Schoeps.

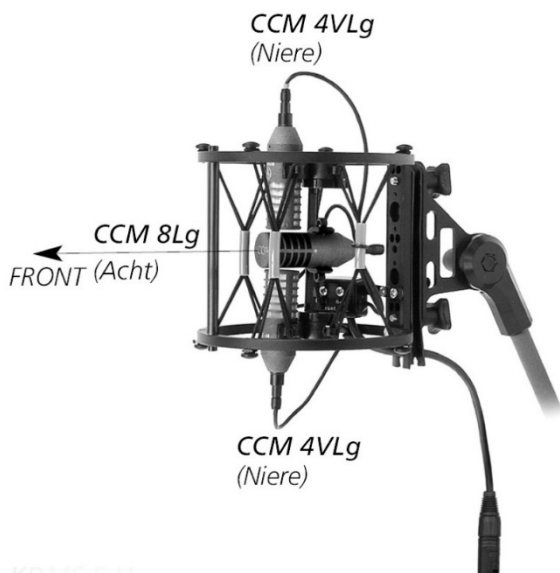


Abb 4: Doppel MS-Anordnung von Schoeps

2.5. Ambisonics

Der zentrale Gedanke von Ambisonics ist, sämtliche Eigenschaften eines Schallfeldes koinzident aufzuzeichnen und für ein beliebiges Wiedergabesystem reproduzierbar zu machen. Theoretisch sind allerdings zur vollständigen

Reproduktion unendlich viele Lautsprecher notwendig. Praktisch wird versucht, mit einer überschaubaren Anzahl wiederzugebender Signale das gewünschte Ergebnis anzunähern.³

Um die erforderlichen Informationen über das Schallfeld koinzident zu erlangen, entwickelte der britische Mathematiker Michael Gerzon in den 1970er Jahren zusammen mit Peter Craven ein integriertes Mikrofonsystem, das auf einer mathematischen Theorie der Schallfeldabtastung auf einer kugelsymmetrischen Oberfläche basiert und heute unter dem Namen „Soundfield- Mikrofon“ bekannt ist.⁴



Abb 5: Soundfield-Mikrofon, bestehend aus vier Kapseln. Quelle: Soundfield (2012)

Das Soundfield-Mikrofon vereint vier „Breite Nieren“, die in Form eines Tetraeders angeordnet sind, wie in Abb. 5 zu sehen ist. Zur Kompensation der durch die Kapselabstände bei der Tetraederanordnung nicht exakten Koinzidenz, werden die vier Signale nachträglich auf den Mittelpunkt interpoliert. Die vier Ausgangssignale ($LF(t)$, $RF(t)$, $LB(t)$, $RB(t)$) werden als A-Format bezeichnet.

Für eine weitere Bearbeitung verwendet Ambisonics das B-Format, das ebenfalls aus vier Signalen besteht. Neben der reinen Druckkomponente (w -Signal) sind es drei orthogonal zueinander liegende Gradientenkomponenten in x -, y - und z -Richtung gemäß einem dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystem, die das B-Format bilden.

Durch Matrixierung können aus den Ausgangssignalen des Soundfield-Mikrofons – dem A-Format – die Signale des B-Formats gebildet werden. Dabei gilt:

$$\begin{aligned} w(t) &= LF(t) + LB(t) + RF(t) + RB(t) \\ x(t) &= LF(t) - LB(t) + RF(t) - RB(t) \\ y(t) &= LF(t) + LB(t) - RF(t) - RB(t) \\ z(t) &= LF(t) - LB(t) - RF(t) + RB(t) \end{aligned} \quad (9)$$

Dieses Aufnahmeverfahren kann als Weiterentwicklung des MS-Systems sowie des Blumlein-Verfahrens gesehen werden. Kombiniert man das Blumlein-Verfahren mit einem Druckempfänger, so erhält man neben den Gradientensignalen der beiden „Achten“ in x - und y -Richtung auch den Druckanteil. Diese drei Signale entsprechen dem auf zwei Dimensionen beschränkte B-Format, also ohne der Gradientenkomponente in

³ vgl. Weinzierl (2008), S. 659-664.

⁴ vgl. Gerzon (1975).

z-Richtung. Die darin enthaltenen Informationen sind theoretisch ausreichend, um ein horizontales Schallfeld zu reproduzieren.

Die B-Format-Signale müssen also nicht zwingend über das Soundfield-Mikrofon gewonnen werden, sondern können auch mit anderen, geeigneten koinzidenten Mikrofonanordnungen produziert werden. Der am meisten naheliegende Aufbau ist der dreier „Achten“, die orthogonal in x-, y- und z-Richtung ausgerichtet und mit einer „Kugel“ kombiniert werden. In diesem Fall ist keine Matrizierung notwendig, da die Kugel die reine Druckkomponente und die „Achten“ die Gradientenkomponenten liefern. Sollen nur Schallereignisse in der Horizontalebene berücksichtigt werden, so kann auf die „Acht“ in z-Richtung verzichtet werden.

3. Bildung eines virtuellen Mikrofons

3.1. Gradientensynthese

Durch die Kombination von koinzident angeordneten, reinen Druck- und Druckgradientenempfängern können mit Hilfe der Gradientensynthese beliebige Richtcharakteristiken erster Ordnung gebildet werden, wie in Abb. 7 grafisch aufbereitet ist. Die Richtcharakteristik eines reinen Druckempfängers entspricht der einer Kugel, des Druckgradientenempfängers der einer Acht. Das Signal des resultierenden Mikrofons:

$$u(t) = A \cdot w(t) + (1 - A) \cdot x(t) \quad (10)$$

setzt sich aus dem Signal des Druckempfängers $w(t)$ und dem des Druckgradientenempfängers $x(t)$ zusammen, wobei der reelle Koeffizient $0 \leq A \leq 1$ diese beiden Anteile gewichtet.

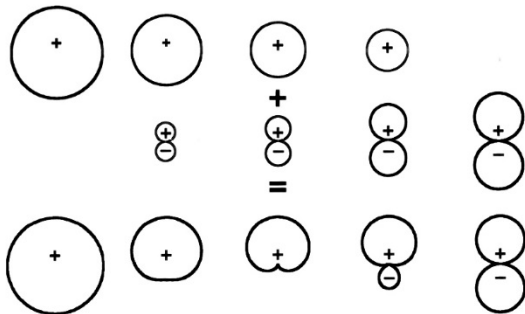


Abb. 6: Richtcharakteristiken 1. Ordnung als gewichtete Summen einer Kugel und einer Acht.

3.2. Herleitung

Wie bereits bei der Mikrofonanordnung nach Blumlein gezeigt, kann aus zwei orthogonal zueinander angeordneten „Achten“ eine virtuelle „Acht“ gebildet werden, die in der Ebene der beiden realen „Achten“ beliebig ausgerichtet werden kann. Mit der dritten „Acht“ des B-Formats in z-Richtung ist es theoretisch möglich die virtuelle „Acht“ völlig frei im Raum auszurichten.

Darüber hinaus kann mit Hilfe der Gradientensynthese aus der virtuellen „Acht“ eine beliebige Richtcharakteristik erster Ordnung erzeugt werden. Die dafür notwendige Druckkomponente liefert das w -Signal des B-Formats. Damit ist es möglich aus dem B-Format ein virtuelles Mikrofon mit beliebiger Ausrichtung und Richtcharakteristik erster Ordnung zu bilden.

Betrachtet man die um die z-Richtung reduzierte Variante des B-Formats, so gilt für die Druckkomponente $v_{druck}(t)$ und die Gradientenkomponente $v_{grad}(t)$ vom Ausgangssignal des virtuellen Mikrofons:

$$v_{druck}(t) = w(t), \quad (11)$$

$$v_{grad}(t) = k_x \cdot x(t) + k_y \cdot y(t). \quad (12)$$

Dabei sind $w(t)$, $x(t)$ und $y(t)$ die B-Format-Signale und k_x sowie k_y die ausschließlich vom Ausrichtungswinkel abhängigen Gewichtungskoeffizienten der Gradientenkomponenten in x- und y-Richtung. Abb. 7 veranschaulicht die einzelnen Komponenten des B-Formats.

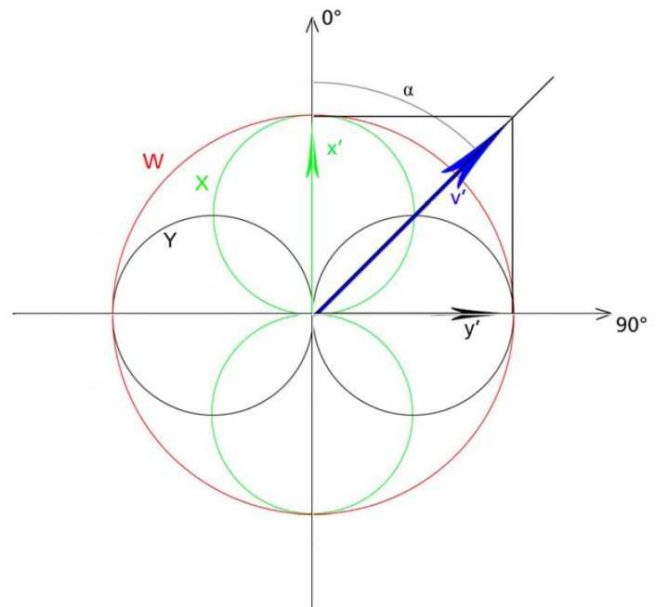


Abb 7: Veranschaulichung der Komponenten des B-Formats. Der blaue Pfeil deutet die Ausrichtung des virtuellen Mikrofons an. Quelle: Haut (2006).

Für die Gradientensynthese werden die Druckkomponente und die Gradientenkomponente zusammengefasst. Der Koeffizient für das Druckverhalten $0 \leq A \leq 1$ gewichtet die beiden Komponenten:⁵

$$\begin{aligned} v(t) &= A \cdot v_{druck}(t) + (1 - A) \cdot v_{grad}(t) \\ &= A \cdot w(t) + (1 - A) \cdot (k_x \cdot x(t) + k_y \cdot y(t)) \\ &= A \cdot w(t) + (1 - A) \cdot \cos(\alpha) \cdot x(t) \\ &\quad + (1 - A) \cdot \sin(\alpha) \cdot y(t). \end{aligned} \quad (13)$$

⁵ siehe Anhang S. 6

Damit lässt sich das Ausgangssignal des virtuellen Mikrofons abhängig vom Gewichtungskoeffizienten A , der die Richtcharakteristik bestimmt, und vom Ausrichtungswinkel α matrizen.

3.3. Bildung virtueller Mikrofone mit der Doppel MS-Anordnung

Zur Bildung virtueller Mikrofone mit der Doppel-MS-Anordnung werden deren Ausgangssignale in das B-Format überführt. Dabei kann aus der Summe der beiden „Nieren“ die „Kugel“ und aus deren Differenz die „Acht“ in x-Richtung gebildet werden. Die vorliegende „Acht“ der Doppel-MS-Anordnung entspricht im B-Format der Gradientenkomponente in y-Richtung:

$$w(t) = niere_{vo}(t) + niere_{hi}(t), \quad (14)$$

$$x(t) = niere_{vo}(t) - niere_{hi}(t), \quad (15)$$

$$y(t) = acht(t). \quad (16)$$

Setzt man die ins B-Format transformierten Ausgangssignale des Doppel-MS-Systems in (13) ein, löst und sortiert, so erhält man das Ausgangssignal des virtuellen Mikrofons:

$$v(t) = niere_{vo}(t) \cdot (A + (1 - A) \cos \alpha) + niere_{hi}(t) \cdot (A - (1 - A) \cos \alpha) + acht(t) \cdot ((1 - A) \sin \alpha). \quad (17)$$

Dabei ist die Lösungsfunktion unabhängig vom B-Format, das lediglich zur Herleitung verwendet wurde.

Außerdem ist deutlich zu erkennen welche Mikrofonsignale der Doppel-MS-Anordnung für das Druckverhalten des virtuellen Mikrofons – hier taucht der Ausdruck „A“ auf – und welche für das Gradientenverhalten – mit dem Ausdruck „(1 - A)“ – verwendet werden.

4. Anhang

4.1. Berechnung der Gewichtungskoeffizienten für 2.2

Die virtuelle, frequenzunabhängige „Acht“ kann mathematisch beschrieben werden mit:

$$\Gamma_V(\theta) = \cos(\theta - \alpha), \quad (18)$$

wobei α der Ausrichtungswinkel und Γ_V die vom Einfallswinkel θ abhängige Empfindlichkeit ist. Wird dieses virtuelle Mikrophon aus den beiden „Achten“ der Blumlein-Anordnung matrizen so gilt:

$$\Gamma_V(\theta) = k_x \cdot \cos(\theta) + k_y \cdot \sin(\theta). \quad (19)$$

Die Cosinus-Funktion beschreibt dabei die „Acht“ in x-Richtung, die Sinus-Funktion die „Acht“ in y-Richtung, k_x und k_y sind die jeweiligen Gewichtungskoeffizienten.

Die Empfindlichkeit des virtuellen Mikrofons muss bei einer „Acht“-Charakteristik für den Ausrichtungswinkel α eins sein:

$$\Gamma_V(\theta = \alpha) = k_x \cdot \cos(\alpha) + k_y \cdot \sin(\alpha) = 1. \quad (20)$$

Damit kann k_y in Abhängigkeit von k_x und α beschrieben werden:

$$k_y = \frac{1 - k_x \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)}. \quad (21)$$

Setzt man (18) und (19) gleich und setzt (21) ein, so erhält man:

$$\begin{aligned} \cos(\theta - \alpha) &= k_x \cdot \cos(\theta) + \frac{1 - k_x \cdot \cos(\alpha)}{\sin(\alpha)} \cdot \sin(\theta) \\ &= k_x \cdot \cos(\theta) + \frac{\sin(\theta)}{\sin(\alpha)} - k_x \cdot \frac{\cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)}{\sin(\alpha)} \end{aligned}$$

$$\cos(\theta - \alpha) - \frac{\sin(\theta)}{\sin(\alpha)} = k_x \cdot \left(\cos(\theta) - \frac{\cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)}{\sin(\alpha)} \right)$$

$$\begin{aligned} \cos(\theta - \alpha) \cdot \sin(\alpha) - \sin(\theta) &= k_x \cdot (\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)) \end{aligned}$$

$$k_x = \frac{\cos(\theta - \alpha) \cdot \sin(\alpha) - \sin(\theta)}{\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)}$$

Schließlich kann mit Hilfe der trigonometrischen Additionstheoreme der Ausdruck rechts vom Gleichheitszeichen vereinfacht werden:

$$\begin{aligned} k_x &= \frac{(\cos(\theta) \cdot \cos(\alpha) + \sin(\theta) \cdot \sin(\alpha)) \cdot \sin(\alpha) - \sin(\theta)}{\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)} \\ &= \frac{\cos(\theta) \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\alpha) + \sin(\theta) \cdot \sin^2(\alpha) - \sin(\theta)}{\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)} \\ &= \frac{\cos(\theta) \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\alpha) + \sin(\theta) \cdot (1 - \cos^2(\alpha)) - \sin(\theta)}{\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)} \\ &= \frac{\cos(\theta) \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\alpha) - \sin(\theta) \cdot \cos^2(\alpha)}{\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)} \\ &= \cos(\alpha) \cdot \frac{\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \sin(\theta) \cdot \cos(\alpha)}{\cos(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \cos(\alpha) \cdot \sin(\theta)} \\ &= \cos(\alpha). \end{aligned}$$

Damit hängen die Gewichtungskoeffizienten – k_y kann mit Hilfe von (21) bestimmt werden – nur vom Ausrichtungswinkel α ab:

$$\begin{aligned} k_x &= \cos(\alpha) \\ k_y &= \frac{1 - \cos^2(\alpha)}{\sin(\alpha)} \\ &= \sin(\alpha). \end{aligned} \quad (22)$$

Für die Gegenprobe werden die Gewichtungskoeffizienten (22) in (2) eingesetzt:

$$\begin{aligned} \Gamma_V(\theta, \alpha) &= \cos(\alpha) \cdot \cos(\theta) + \sin(\alpha) \cdot \sin(\theta) \\ &= \cos(\theta - \alpha). \end{aligned} \quad (23)$$

Das Ergebnis liefert die eingangs definierte Beschreibung einer virtuellen „Acht“ (18) und zeigt, dass mit der Blumlein-

Anordnung theoretisch ein virtuelles Mikrofon mit „Acht“-Charakteristik gebildet werden kann.

4.2. Herleitung der Gewichtungskoeffizienten für die Bildung eines virtuellen Mikrofons mit der Doppel-MS-Anordnung

Zur Bildung virtueller Mikrofone mit der Doppel-MS-Anordnung werden deren Ausgangssignale in das B-Format überführt. Dabei kann aus der Summe der beiden „Nieren“ die „Kugel“ und aus deren Differenz die „Acht“ in x-Richtung gebildet werden. Die „Acht“ der Doppel-MS-Anordnung entspricht der Gradientenkomponente in y-Richtung im B-Format:

$$w(t) = niere_{vo}(t) + niere_{hi}(t), \quad (24)$$

$$x(t) = acht(t), \quad (25)$$

$$y(t) = niere_{vo}(t) - niere_{hi}(t). \quad (26)$$

Für das Signal eines aus dem Doppel-MS-System virtuell gebildeten Mikrofons $v(t)$ gilt dann:

$$v(t) = k_w \cdot w(t) + k_x \cdot x(t) + k_y \cdot y(t). \quad (27)$$

k_w , k_x und k_y sind dabei Gewichtungsfaktoren, also Skalare, die den Anteil des Signals der Druckkomponente $w(t)$ sowie die Signale der Gradientenkomponenten $x(t)$ und $y(t)$ bestimmen.

Betrachtet man die Gradienten-Komponenten des B-Formats \vec{X} und \vec{Y} sowie den Gradientenanteil des virtuellen Mikrofons \vec{V} als Vektoren, wie in Abb. 6 dargestellt, so folgt:

$$\vec{V} = \vec{X} + \vec{Y}, \quad (28)$$

dabei entsprechen die Beträge der Vektoren den Gewichtungsfaktoren $|\vec{X}| = k_x$ und $|\vec{Y}| = k_y$, so dass der Gradientenanteil \vec{V} auch aus den gewichteten normierten Vektoren \vec{X}_0 und \vec{Y}_0 berechnet werden kann:

$$k_v \vec{V}_0 = k_x \vec{X}_0 + k_y \vec{Y}_0. \quad (29)$$

Abb. 6 macht außerdem deutlich, wie mit Hilfe des Satzes von Pythagoras die Gewichte direkt in Beziehung zueinander gesetzt werden können:

$$k_v = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}, \quad (30)$$

und welche Auswirkung die Ausrichtung des virtuellen Mikrofons – definiert durch den Winkel α – auf die Gewichte hat:

$$\tan(\alpha) = \frac{k_y}{k_x}. \quad (31)$$

Ausgehend von der Richtfunktion $\Gamma(\theta) = A + (1 - A) \cdot \cos \theta$ kann die Richtwirkung des virtuellen Mikrofons wie folgt beschrieben werden:

$$\Gamma_v(\theta) = A + (1 - A) \cdot \cos(\theta - \alpha). \quad (32)$$

Dabei entspricht A dem Gewicht der Druckkomponente k_w

$$A = k_w \quad (33)$$

und $(1 - A)$ dem Gewicht der Gradientenkomponente des virtuellen Mikrofons k_v :

$$(1 - A) = k_v = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}. \quad (34)$$

Diese Beziehung ermöglicht k_x und k_y in Abhängigkeit von A und α aufzulösen:

$$(1 - A) = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$$

$$(1 - A)^2 = k_x^2 + k_y^2, \quad \text{wobei } k_y = k_x \cdot \tan(\alpha) \quad (35)$$

$$(1 - A)^2 = k_x^2 + k_x^2 \cdot \tan^2(\alpha)$$

$$(1 - A)^2 = k_x^2 (1 + \tan^2(\alpha)).$$

Da $1 + \tan^2(\alpha) = 1/\cos^2 \alpha$ folgt:

$$k_x = (1 - A) \cdot \cos \alpha \quad (36)$$

Das Gewicht k_y kann analog berechnet werden und ergibt die von A und α abhängige Funktion:

$$k_y = (1 - A) \cdot \sin \alpha. \quad (37)$$

Mit den Gewichten k_x und k_y der Gradientenkomponente sowie dem bereits bekannten Gewicht der Druckkomponente $k_w = A$ ist es nun möglich ein virtuelles Mikrofon mit einer beliebigen Richtcharakteristik erster Ordnung in Abhängigkeit vom Gewichtungsfaktor für das Druckverhalten A und dem Ausrichtungswinkel α über das B-Format zu bestimmen.

7. Literatur

- Gerzon, M. (1975). *The Design of Precisely Coincident Microphone Arrays for Stereo and Surround Sound*. Preprint, 50th Audio Engineering Society Convention, London.
- Görne, T. (2010). *Mikrofone in Theorie und Praxis - überarbeitete und erweiterte Neuauflage* (9. Ausg.). Aachen.
- Haut, C. (2006). *Programmierung und Evaluierung einer parametrisierbaren Doppel-M/S Dekodierung für eine 5.1 Surround Abmischung (Diplomarbeit)*. FH Oldenburg, Oldenburg.
- Soundfield. (2012). *Microphone Guide*. Abgerufen am 01. 12. 2012 von JISC Digital Media: <http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/guide/microphone-guide/>
- Weinzierl, S. (Hrsg.). (2008). *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin, Heidelberg.