

## Synthese von Mikrofon-Richtcharakteristiken

Matthias Domke<sup>1</sup>, Hans-Peter Schade<sup>2</sup>, Peter Holstein<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Microtech Gefell GmbH, 07926 Gefell, E-Mail: [m.domke@microtechgefell.de](mailto:m.domke@microtechgefell.de)*

<sup>2</sup> *Technische Universität Ilmenau, 98693 Ilmenau, E-Mail: [schade@tu-ilmenau.de](mailto:schade@tu-ilmenau.de)*

<sup>3</sup> *Sonotec Ultraschallsensorik GmbH, 06112 Halle, E-Mail: [p.holstein@sonotec.de](mailto:p.holstein@sonotec.de)*

### Einleitung

Bei der Anwendung von Mikrofonen werden unterschiedliche Richtcharakteristiken u.a. zur Unterdrückung von Störgeräuschen, zur Verbesserung der Quellentrennung und zur Beeinflussung der Räumlichkeit einer Schallaufnahme verwendet. Um einen möglichst identischen Amplitudenfrequenzgang im direkten und im diffusen Schallfeld zu erreichen wird die Richtcharakteristik, und damit auch die Bündelung des Mikrofons, möglichst frequenzunabhängig ausgewählt. Eine flexible Möglichkeit zur Einstellung der Richtcharakteristik bieten Mikrofone mit einer möglichst koinzidenten Anordnung mehrerer, mindestens jedoch zweier Mikrofonkapseln und nachfolgender digitaler Signalverarbeitung.

### Zweikanalige twin-Anordnung

Ein twin-Mikrofon besteht aus zwei separaten Mikrofonkapseln mit Nierenrichtcharakteristik, die mit möglichst geringem Abstand mit ihren Rückseiten gegeneinander angeordnet sind. Die beiden Kapselsignale können dann im Mikrofon oder außerhalb des Mikrofons mit bestimmten Pegelverhältnissen und Polaritäten zu den Richtcharakteristiken erster Ordnung zusammenschaltet werden, zwischen denen auch stufenlos übergeblendet werden kann. Die frequenzabhängige Beeinflussung der Richtcharakteristik eines twin-Mikrofons ist durch eine frequenzabhängige Einstellung von Pegel und Polarität der Kapselsignale möglich. Dies kann mit digitalen FIR-Filtern entsprechend dem Blockschaltbild in Abbildung 1 realisiert werden.

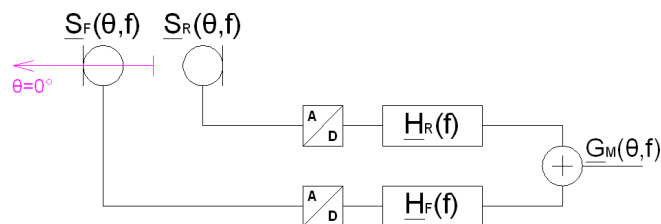


Abbildung 1: Blockschaltbild eines twin-Mikrofons mit FIR-Filterung

Dabei sind  $\underline{S}_F(\theta, f)$  und  $\underline{S}_R(\theta, f)$  die komplexen Übertragungsfunktionen der vorderen und hinteren Kapsel bei einem Schalleinfallswinkel  $\theta$  gegenüber der Bezugsachse des Mikrofons, und  $\underline{H}_F(f)$  sowie  $\underline{H}_R(f)$  die komplexen Übertragungsfunktionen der FIR-Filter von vorderer und hinterer Kapsel. Für das gesamte twin-Mikrofon ergibt sich die Übertragungsfunktion  $\underline{G}_M(\theta, f)$ . Zur frequenzabhängigen Beeinflussung der Richtcharakteristik ist nur das FIR-Filter der hinteren Kapsel erforderlich, während die Realisierung

von Amplituden- und Phasenfrequenzgang des Mikrofons durch beide FIR-Filter erfolgt. Für die Ermittlung der FIR-Filterübertragungsfunktion zur frequenzabhängigen Beeinflussung der Richtcharakteristik kann vom Richtungsfaktor des Mikrofons  $\underline{\Gamma}(\theta, f)$  entsprechend Gleichung (1) ausgegangen werden.

$$\underline{\Gamma}(\theta, f) = \frac{\underline{G}_M(\theta, f)}{\underline{G}_M(\theta = 0^\circ, f)} \quad (1)$$

Unter Berücksichtigung des FIR-Filters der hinteren Kapsel ergibt sich die Übertragungsfunktion des Mikrofons nach Gleichung (2).

$$\underline{G}_M(\theta, f) = \underline{S}_F(\theta, f) + \underline{S}_R(\theta, f) \cdot \underline{H}_R(f) \quad (2)$$

Die Richtcharakteristiken erster Ordnung lassen sich durch ihre Dämpfung bei einem Schalleinfallswinkel von  $\theta=90^\circ$  zur Bezugsachse des Mikrofons charakterisieren. Werden die Mikrofon-Übertragungsfunktionen für Schalleinfallswinkel von  $\theta=0^\circ$  und  $\theta=90^\circ$  nach Gleichung (2) in Gleichung (1) eingesetzt, kann diese nach der Übertragungsfunktion des FIR-Filters  $\underline{H}_R(f)$  umgestellt werden. Diese realisiert dann die gewünschte Richtcharakteristik in Abhängigkeit von der Frequenz bis zu einer bestimmten oberen Grenzfrequenz, die sich aus dem Abstand zwischen vorderer und hinterer Kapsel in Relation zur Wellenlänge des Schallsignals und durch die einsetzende zunehmende Einschnürung des Aufnahmebereiches der Kapsel ergibt. Ein Ausweg für die Realisierung der Richtcharakteristik bei hohen Frequenzen besteht darin, oberhalb dieser oberen Grenzfrequenz auf eine FIR-Übertragungsfunktion für die hintere Kapsel überzugehen, die frequenzkonstant den theoretischen Einstellungen für die jeweilige Richtcharakteristik entspricht.

Zur Realisierung der FIR-Filterübertragungsfunktion  $\underline{H}_M(f)$  zur Einstellung des gewünschten Mikrofon-Zielamplitudenfrequenzgangs bei optimalem Impulsverhalten wird zunächst die Übertragungsfunktion des gesamten Mikrofons  $\underline{G}_M(\theta=0^\circ, f)$  einschließlich FIR-Filterung des Signals der hinteren Kapsel zur Beeinflussung der Richtcharakteristik gemessen. Die Übertragungsfunktion  $\underline{H}_M(f)$  entsteht dann durch Division des gewünschten Ziel-Amplitudenfrequenzgangs durch  $\underline{G}_M(\theta=0^\circ, f)$ . Die Koeffizienten des FIR-Filters für die vordere Kapsel entsprechend Abbildung 1 entstehen durch inverse DFT von  $\underline{H}_M(f)$  und anschließende Ausfensterung. Um die Koeffizienten des FIR-Filters für die hintere Kapsel zu erzeugen, wird zunächst  $\underline{H}_M(f)$  mit der Übertragungsfunktion des FIR-Filters zur Beeinflussung der Richtcharakteristik multipliziert, das Ergebnis danach einer

inversen DFT unterzogen, und anschließend die Koeffizienten ausgefenstert.

**Frequenzabhängige Richtcharakteristiken**

Statt einer frequenzunabhängigen kann auch eine gezielt frequenzabhängige Richtcharakteristik erzeugt werden. Eine entsprechende Vorgabe erfolgt wieder über den Richtungsfaktor  $\Gamma(\theta=90^\circ, f)$  in Gleichung (1) von einer unteren bis zur oberen Grenzfrequenz. Abbildung 2 zeigt eine Vorgabe für das Richtungsmaß bei  $\theta=90^\circ$  (rote Kurve) für den Übergang von einer Hypernieri (blaue Kurve) unterhalb von 100 Hz zu einer Breitnieri (grüne Kurve) oberhalb von 8 kHz.

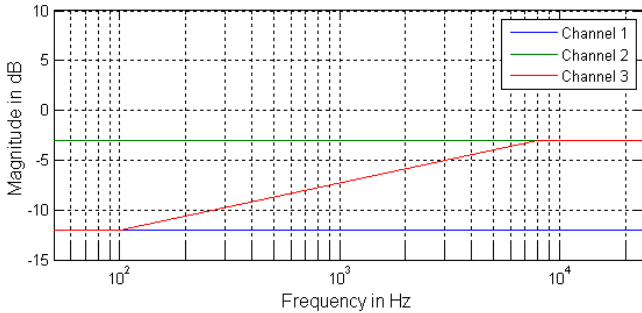


Abbildung 2: Vorgabe für das Richtungsmaß bei  $\theta=90^\circ$  (rote Kurve) für den Übergang von einer Hypernieri (blaue Kurve) zu einer Breitnieri (grüne Kurve)

**Allgemeine Kapselanordnungen**

Für allgemeine mehrkanalige Kapselanordnungen kann von einem Aufbau entsprechend Abbildung 3 ausgegangen werden.

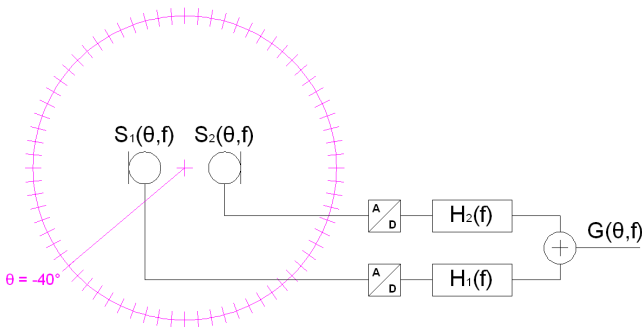


Abbildung 3: Blockschaltbild zur Realisierung von Richtcharakteristiken mit allgemeinen Kapselanordnungen

Die Übertragungsfunktionen des Mikrofons  $G(\theta, f)$  ergeben sich für unterschiedliche Schalleinfallswinkel  $\theta_m$  nach Gleichung (3).

$$G(\theta_m, f) = S_1(\theta_m, f) \cdot H_1(f) + S_2(\theta_m, f) \cdot H_2(f) + \dots + S_N(\theta_m, f) \cdot H_N(f) \tag{3}$$

Diese kann in Matrixschreibweise nach Gleichung (4) angegeben werden.

$$\underline{G}(f) = \underline{S}(f) \cdot \underline{H}(f) \tag{4}$$

Aus den auf einem Kreis um das Mikrofon bei den verschiedenen Schalleinfallswinkeln  $\theta_m$  gemessenen Übertragungsfunktionen der einzelnen Kapseln  $S_n(\theta_m, f)$  und den ebenfalls bei diesen Schalleinfallswinkeln vorgegebenen Mikrofon-Übertragungsfunktionen  $G(\theta_m, f)$ , die sowohl die Richtcharakteristik als auch den Amplituden- sowie Phasenfrequenzgang beinhalten, lassen sich durch Umstellen von Gleichung (4) die Übertragungsfunktionen der FIR-Filter nach Gleichung (5) ermitteln.

$$\underline{H}(f) = \underline{S}(f)^{-1} \cdot \underline{G}(f) \tag{5}$$

**Messergebnisse**

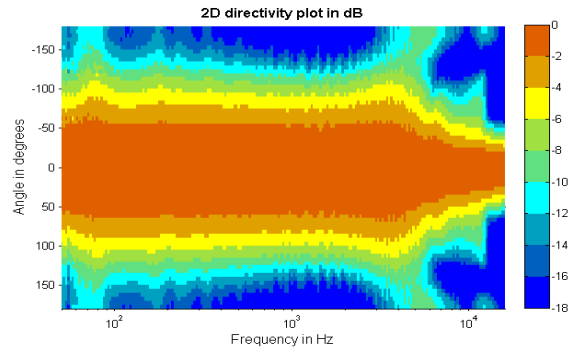


Abbildung 4: Mikrofonkapsel (Niere) ohne FIR-Filterung

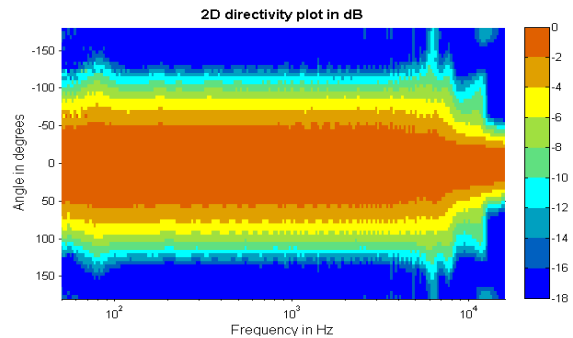


Abbildung 5: Mikrofonkapsel (Niere) mit FIR-Filterung

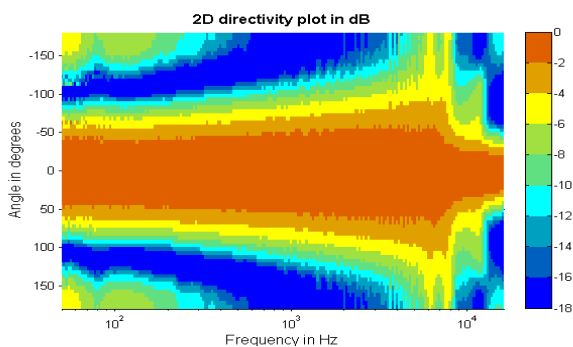


Abbildung 6: Frequenzabhängige Richtcharakteristik entsprechend Vorgabe von Abbildung 2