

Synthese von Gradienten–Richtcharakteristiken

Studiomikrofone mit umschaltbarer Richtcharakteristik arbeiten in der Regel mit einer elektrischen Summierung der Ausgangssignale zweier Kapseln. Bei bekannten Modellen wie Neumann U 87 oder AKG C 414 sind diese beiden Kapseln als eine Doppelmembrankapsel ausgeführt. Es ist unerheblich, ob die Richtcharakteristiken durch Summation zweier idealer Nieren oder durch Summation einer idealen Kugel und einer idealen Acht erzeugt werden¹. Statt einer Doppelmembrankapsel können auch zwei dicht nebeneinander montierte einzelne Mikrofone benutzt werden.

In beiden Fällen (Niere/Niere, Kugel/Acht) können durch geeignete Gewichtung und Phasenlage bei der Summation alle Gradienten–Richtcharakteristiken (Kugel, breite Niere, Niere, Superniere, Hyperniere, Acht, und darüberhinaus alle Zwischenstufen) erzeugt werden.

Die Richtcharakteristiken sind über ihre relative richtungsabhängige Empfindlichkeit Γ (*Richtfaktor*) in Abhängigkeit vom Schalleinfallswinkel ϑ definiert. Die Richtcharakteristik eines Druckempfängers (Kugelmikrofon) ist eine normierte konstante Funktion im Polardiagramm:

$$\Gamma(\vartheta) = 1,$$

die Achtercharakteristik des „echten“ (offenen) Gradientenempfängers ist im eine Cosinusfunktion im Polardiagramm:

$$\Gamma(\vartheta) = \cos(\vartheta).$$

Die allgemeine Form der Richtfunktion ist die mit einem Faktor A gewichtete und normierte Summe aus Druck– und Gradientenverhalten:

$$\Gamma(\vartheta) = A + (1 - A) \cos(\vartheta).$$

Die Richtcharakteristiken der verschiedenen Kapseltypen sind:

Kugel	$\Gamma_K = 1 + 0 \cdot \cos(\vartheta)$
Breite Niere	$\Gamma_{BN} = 0.66 + 0.34 \cdot \cos(\vartheta)$
Niere	$\Gamma_N = 0.5 + 0.5 \cdot \cos(\vartheta)$
Superniere	$\Gamma_{SN} = 0.37 + 0.63 \cdot \cos(\vartheta)$
Hyperniere	$\Gamma_{HN} = 0.25 + 0.75 \cdot \cos(\vartheta)$
Acht	$\Gamma_A = 0 + 1 \cdot \cos(\vartheta)$

Anhand seiner relativen *Rückwärtsempfindlichkeit* kann die Richtcharakteristik eines unbekanntem Mikrofons leicht identifiziert werden. Sie ergibt sich aus $|\Gamma(\vartheta)|$ für $\vartheta = 180^\circ$:

Kugel	$\Gamma_K(180^\circ) = 1$	$\hat{=}$	0 dB
Breite Niere	$\Gamma_{BN}(180^\circ) = 0.66 - 0.34 = 0.32$	$\hat{=}$	-9.9 dB
Niere	$\Gamma_N(180^\circ) = 0.5 - 0.5 = 0$	$\hat{=}$	$-\infty$ dB
Superniere	$\Gamma_{SN}(180^\circ) = 0.37 - 0.63 = 0.26$	$\hat{=}$	-11.7 dB
Hyperniere	$\Gamma_{HN}(180^\circ) = 0.25 - 0.75 = 0.5$	$\hat{=}$	-6 dB
Acht	$\Gamma_A(180^\circ) = 1$	$\hat{=}$	0 dB

¹Reale Mikrofone, insbesondere Mikrofone mit Nierencharakteristik, haben ein frequenzabhängiges Richtverhalten. Deswegen klingen die auf unterschiedliche Weise hergestellten Richtcharakteristiken auch unterschiedlich, selbst wenn sie mathematisch identisch sind.

Das **Doppel-Nieren-Mikrofon** (... das sind die meisten Studiomikrofone mit Großmembrankapsel und umschaltbarer Richtcharakteristik) läßt sich folgendermaßen beschreiben:

- Niere „nach vorne“: $\Gamma_N = 0.5 + 0.5 \cdot \cos(\vartheta)$,
- Niere „nach hinten“: $\Gamma_N = 0.5 + 0.5 \cdot \cos(\vartheta + 180^\circ) = 0.5 + 0.5 \cdot \cos(-\vartheta) = 0.5 - 0.5 \cdot \cos(\vartheta)$.

Die Summe der beiden Signale mit einem Gewichtungsfaktor B der hinteren Nierencharakteristik ergibt somit

$$\Gamma_{N+N} = 0.5 + 0.5 \cdot \cos(\vartheta) + B \cdot (0.5 - 0.5 \cdot \cos(\vartheta))$$

oder einfacher

$$\Gamma_{N+N} = \frac{1+B}{2} + \frac{1-B}{2} \cdot \cos(\vartheta)$$

mit $B = -1 \dots +1$; die negativen Werte für B entsprechen der jeweiligen Gewichtung der positiven Werte zuzüglich einer Phasendrehung.

Die Lösungen für die bekannten Gradientencharakteristiken ergeben sich zu

Kugel:	$B = 1$	$L = 0$ dB
breite Niere:	$B = 0.32$	$L = -9.9$ dB
Niere:	$B = 0$	$L = -\infty$ dB
Superniere:	$B = 0.26$	$L = -11.7$ dB / Phasendreher
Hypernieren:	$B = 0.5$	$L = -6$ dB / Phasendreher
Acht:	$B = -1$	$L = 0$ dB / Phasendreher

Die relativen Pegel ergeben sich aus den Gewichtungsfaktoren mit $L = 20 \cdot \log B$. Für die Doppel-Nieren-Anordnung kann man sie auch einfach aus den Rückwärtsempfindlichkeiten der angestrebten Charakteristiken ablesen.

Für die Kombination aus **Druck- und Gradientenempfänger (Kugel und Acht)** ergibt sich

- Kugel: $\Gamma_K = 1$,
- Acht: $\Gamma_A = \cos(\vartheta)$.

Die Summe der beiden Signale mit Gewichtungsfaktoren C und $1 - C$ für Kugel bzw. Acht ergibt

$$\Gamma_{K+A} = C + (1 - C) \cos(\vartheta)$$

Die Mischung von Kugel und Acht ist identisch mit der oben angegebenen allgemeinen Form der Gradientencharakteristik. Man könnte einfach die Gewichtungsfaktoren der gewünschten Richtcharakteristiken unmittelbar einsetzen, nur ist die Arbeit mit zwei relativen Pegeln in der Praxis etwas unübersichtlich. Die Werte werden deshalb so korrigiert, daß eines der beiden Mikrofonsignale unverändert bleiben kann, während das zweite mit einer Pegelanpassung zugemischt wird; ein Phasendreher ist hier für die Erzeugung der verschiedenen Charakteristiken nicht nötig. Natürlich ist das Ausgangssignal dann nicht mehr normiert, d.h. der Summenpegel steigt an. Dies läßt sich jedoch leicht nach der Aufnahme ausgleichen.

Die Lösungen für die Kombination aus Kugel und Acht sind somit

Kugel:	<i>Kugel:</i> $B = 1$, $L = 0$ dB	<i>Acht:</i> $B = 0$, $L = -\infty$ dB	<i>Pegelanstieg 0 dB</i>
breite Niere:	<i>Kugel:</i> $B = 1$, $L = 0$ dB	<i>Acht:</i> $B = 0.52$, $L = -5.8$ dB	<i>Pegelanstieg 3.6 dB</i>
Niere:	<i>Kugel:</i> $B = 1$, $L = 0$ dB	<i>Acht:</i> $B = 1$, $L = 0$ dB	<i>Pegelanstieg 6 dB</i>
Supernieren:	<i>Kugel:</i> $B = 1$, $L = 0$ dB	<i>Acht:</i> $B = 1.7$, $L = +4.6$ dB	<i>Pegelanstieg 8.6 dB</i>
Hypernieren:	<i>Kugel:</i> $B = 1$, $L = 0$ dB	<i>Acht:</i> $B = 3$, $L = +9.5$ dB	<i>Pegelanstieg 12 dB</i>
Acht:	<i>Kugel:</i> $B = 0$, $L = -\infty$ dB	<i>Acht:</i> $B = 1$, $L = 0$ dB	<i>Pegelanstieg 0 dB</i>