

## **Neuartiges Richtrohrmikrofon-Prinzip mit erhöhter Richtwirkung**

### ***(Novel Shotgun Microphone Principle to Increase Directivity)***

*Helmut Wittek\*, Christof Faller\*\*, Christian Langen\*,  
Alexis Favrot\*\*, and Christophe Tournery\*\**

\* SCHOEPS Mikrofone GmbH, wittek@schoeps.de

\*\* 2 ILLUSONIC LLC

### **Kurzfassung**

Richtrohr-Mikrofone sind immer noch state-of-the-art, wenn es darum geht, ein Mikrofon mit höchster Richtwirkung und bestem Direkt-/Diffusverhältnis zu wählen. Im Gegensatz zu Beamformern vermeiden sehr gute Richtrohre Unregelmäßigkeiten und Klangfarbenartefakte. Es wird ein digitales Richtrohr vorgestellt, das eine zweite, rückwärtsgerichtete Kapsel enthält und mittels digitaler Signalverarbeitung eine wesentlich höhere Richtwirkung erreichen kann. Außerdem kann der diffuse Schallpegel bei tiefen und mittleren Frequenzen abgesenkt werden, wobei Klangfarbenartefakte vermieden werden. Außerdem wird die Rückkeule des Mikrofons im Pegel reduziert.

### **1. Einleitung**

Richtrohrmikrofone erreichen eine hohe Richtwirkung durch eine Druckgradientenkapsel in Zusammenhang mit einem Interferenzrohr, das im Wesentlichen einen kontinuierlichen, akustischen „sum-and-delay beamformer“ darstellt [1]. Im Prinzip wird die erreichbare Richtkeule enger, je höher die Frequenz ist. Bei tiefen Frequenzen, bei denen die Wellenlänge größer ist als die Länge des Interferenzrohrs, kann lediglich eine Supernieren-Charakteristik erreicht werden.

Das Ziel des neuen Mikrofonkonzepts ist, die Vorteile aktueller Richtrohrtechnologie beizubehalten und gleichzeitig die Performance dort zu verbessern, wo das Richtrohr seine Schwächen hat:

- Bei tiefen Frequenzen ist die Richtwirkung generell nicht höher als die einer Superniere
- Bei tiefen Frequenzen besteht eine unerwünschte Rückkeule

Die Implementierung dieses Konzepts besteht im neuen Mikrofon SuperCMIT 2 U von SCHOEPS (im Folgenden als SuperCMIT bezeichnet), das im Jahr 2010 vorgestellt und auf den Markt gebracht wurde.

Es wird beschrieben, wie digitale Signalverarbeitung genutzt wird, um die Richtwirkung bei tiefen und mittleren Frequenzen zu erhöhen, wie die Rückkeule gedämpft wird und der diffuse Schallpegel gesenkt wird. Der Algorithmus ist eine adaptierte und optimierte Version des Mikrofonsystems, das in [2] vorgestellt wurde.

Um minimale Latenz zu erreichen und um Alias-Effekte zu vermeiden, wurde eine non-downsampled IIR Filterbank benutzt.

Dieses Dokument ist wie folgt organisiert: Abschnitt 2 beschreibt die Mikrofonhardware und die Elektronik. Die Signalverarbeitung wird in Abschnitt 3 erklärt. Die subjektive Begutachtung und die Messungen werden in Abschnitt 4 erläutert, die Zusammenfassung folgt in Abschnitt 5.

## 2. Hardware Design

### 2.1. Kapselemente

Das SuperCMIT ist ein konventionelles Richtrohrmikrofon, das über eine zusätzliche, rückwärtsgerichtete Kapsel und einen digitalen Signalprozessor (DSP) verfügt, der die beiden Kapselsignale verarbeitet. Die zwei Kapseln sind koinzident angebracht, das heißt, so eng beieinander wie möglich.

Wie in [2] und in Abschnitt 3 beschrieben, sind die Kapselemente in einer Rücken-an-Rücken Geometrie angebracht. Das Interferenzrohr ist für die vordere Kapsel wirksam. In Abbildung 1 sind auf der rechten Seite das Interferenzrohr und der hintere Schalleinlass der vorderen Kapsel sichtbar. Das Mikrofon ist hier nach rechts ausgerichtet.

Das zweite Kapselement ist direkt hinter dem vorderen angebracht. Es ist eine rückwärts gerichtete Niere, also es ist in Abbildung 1 nach links ausgerichtet. Da das Mikrofongehäuse für den Schalleinfall störend wirkt, wurde ein ausreichend großer, vorderer Schalleinlass vorgesehen, um freien Schalleinfall bis zu mittleren Frequenzen zu ermöglichen. Der hintere Schalleinlass ist so kurz wie möglich, um den Abstand zwischen den Membranen zu minimieren. Dieser Abstand beträgt 3 cm, was bedeutet, dass für Frequenzen unterhalb von 3 kHz diese Geometrie ausreichend koinzident ist.

Das Ziel ist nun, bei tiefen und mittleren Frequenzen Signalverarbeitung anzuwenden. Bei hohen Frequenzen wird nur das Interferenzrohr benutzt. Durch dieses Paradigma werden Artefakte des adaptiven Algorithmus vermieden.



Abbildung 1: Die zwei Kapselemente des SuperCMIT

## 2.2. Schaltungskonzept des SuperCMIT

Das Konzept der elektronischen Schaltung des SuperCMIT kombiniert die herkömmliche Schaltungstechnik analoger Kondensatormikrofone mit aktueller Digitaltechnik, um die Richtwirkung des Richtrohr-Mikrofons gemäß den in der Einleitung genannten Zielsetzungen zu erhöhen.

Die Schaltung, bei der es sich um ein so genanntes "Mixed-Signal-Design" handelt, wurde dahingehend optimiert, dass Interferenzen der Taktsignale mit der analogen Eingangsschaltung minimal sind. Sowohl die Richtmikrofonkapsel - die identisch zu der des analogen Schoeps CMIT5 Rohrrichtmikrofons ist - als auch die rückwärtige Kapsel mit Nierencharakteristik werden durch eine von einem Gleichspannungswandler generierte Spannung von 60V polarisiert.

Die Impedanzen der Ausgangssignale beider Mikrofonkapseln werden durch eigene Feldeffekttransistoren gewandelt. Die Anpassung und notwendige Symmetrierung der Mikrofonssignale an die Eingänge der Analog-Digitalwandler erfolgt durch zusätzliche Treiberstufen. Die digitalisierten Kapselsignale werden in einen digitalen Signalprozessor (DSP) gespeist, auf dem der eigentliche Beamforming-Algorithmus ausgeführt wird.

Der Signalprozessor liefert ein unsymmetrisches digitales Audiosignal, das gepuffert, symmetriert und über einen AES3-Ausgangsübertrager gleichspannungsentkoppelt wird, um ein AES42-kompatibles Ausgangssignal bereitzustellen. Eine sekundärseitige Mittenanzapfung des Ausgangsübertragers ermöglicht die Spannungsversorgung des Mikrofons über eine Phantomspeisung gemäß der AES42-Norm für digitale Mikrofonchnittstellen [3].

Die Versorgungsspannung wird auf eine Spannung von 5V geregelt, um den analogen Schaltungsteil zu versorgen. Ein hocheffizienter Gleichspannungswandler erzeugt sowohl die Versorgungsspannung des DSP-Kerns, die 1,25V beträgt als auch die Spannung für die Peripheriekomponenten von 3,3V.

In Abbildung 2 wird die Leiterplatte der SuperCMIT-Schaltung gezeigt, deren Layout durch die Verwendung von sechs Lagen Interferenzen der digitalen Schaltungsteile auf die analoge Eingangsstufe verringert. Eine "Huckepackplatine" - die auf der Oberseite der Leiterplatte zu sehen ist, ermöglicht die Steuerung des Beamforming-Algorithmus und die Einstellungen des Trittschall- und des Höhen-Shelvingfilters über drei Drucktaster.

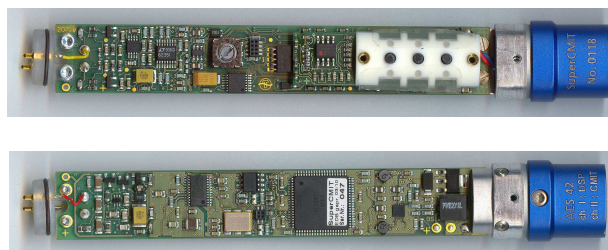


Abbildung 2: Leiterplatte des SuperCMIT, Blick auf die Ober- und Unterseite

## 3. Signalverarbeitung

Die Signalverarbeitung, die zur Verbesserung der Richtwirkung des Richtrohrs angewendet wird, ist im Folgenden beschrieben. Das Richtrohrsignal wird als  $f(n)$  (vorwärts gerichtetes Mikrofonssignal) und das Nierensignal als  $b(n)$  (rückwärtsgerichtetes Mikrofonssignal) bezeichnet. Zeit-Frequenz-adaptive Signalverarbeitung wird benutzt, um aus  $f(n)$  und  $b(n)$  ein hochgerichtetes Signal mit steuerbarer Richtwirkung und im Pegel abgesenktem

Diffusfeld-Frequenzgang zu erzeugen. Die Implementierung der benutzten Methode, basierend auf einer diskreten Kurzzeit-Fouriertransformation, wird in [2] beschrieben. Die Anforderung an eine niedrige Latenz für das SuperCMIT machte es allerdings notwendig, eine IIR-Filterbank zu verwenden.

### 3.1. Filterbank

Das SuperCMIT benutzt eine speziell entwickelte IIR Filterbank ohne Downsampling, basierend auf Techniken, die in [4,5,6] beschrieben werden. Die Filterbank hat neun Teilbänder. Der obere Teil von Abbildung 3 zeigt den Frequenzgang der Teilbänder und den Allpass-Frequenzgang der Summe aller Teilbänder. Die Gruppenlaufzeit der Summe aller Teilbänder wird im unteren Teil von Abbildung 3 gezeigt.

Die zu Signal  $f(n)$  gehörenden Teilbandsignale werden als  $F_i(n)$  bezeichnet, wobei der Teilbandindex  $i=0$  dem Teilband mit der tiefsten Mittenfrequenz entspricht und  $i=8$  dem Teilband mit der höchsten Mittenfrequenz. Die Teilbandsignale von  $b(n)$  werden entsprechend als  $B_i(n)$  bezeichnet. Die Teilbänder der Filterbank sind „doppelt komplementär“ (doubly complementary) [5], *d.h.*

$$\left| \sum_{i=0}^8 S_i(z) \right| = 1 \quad \text{and} \quad \sum_{i=0}^8 |S_i(z)|^2 = 1, \quad (1)$$

wobei  $S_i(z)$  die  $z$ -Transformation der Impulsantwort von Teilbandfilter  $i$  ist. Die erste Eigenschaft in Gleichung (1) stellt sicher, dass die Summe der Teilbänder einem Allpassfilter entspricht. Die zweite Eigenschaft bedeutet, dass die Teilbänder frequenztrennend sind. Der obere Teil von Abbildung 3 deutet beide Eigenschaften an.

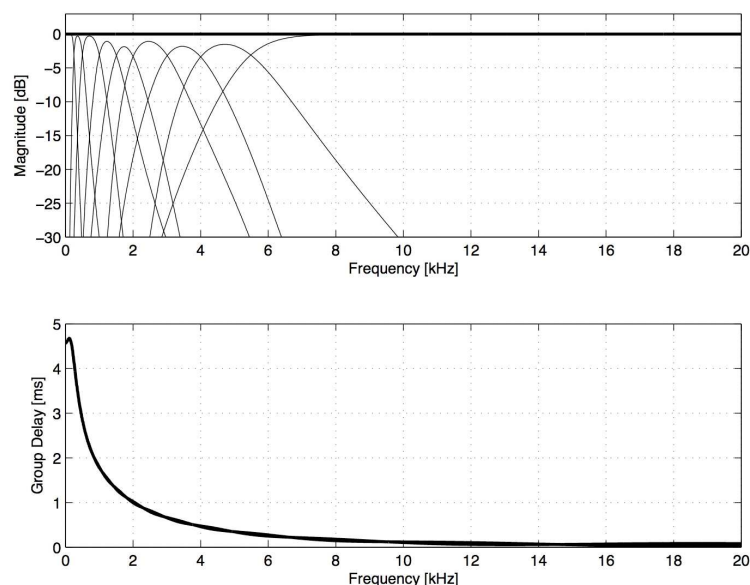


Abbildung 3: Frequenzgang der Teilbänder (dünn, oben), Ausgangssignal-Frequenzgang der Filterbank (dick, oben), und Gruppenlaufzeit (unten)

### 3.2. Erhöhung der Richtwirkung und Diffusfeldunterdrückung

Das Ziel ist, die Richtwirkung zu erhöhen, die Rückkeule zu unterdrücken und den diffusen Schall bei tiefen und mittleren Frequenzen zu dämpfen, wo Richtrohrmikrofone nicht gut funktionieren. In den acht unteren Teilbändern wird die spezielle Signalverarbeitung

angewendet, das neunte, obere Teilband wird nicht verarbeitet.

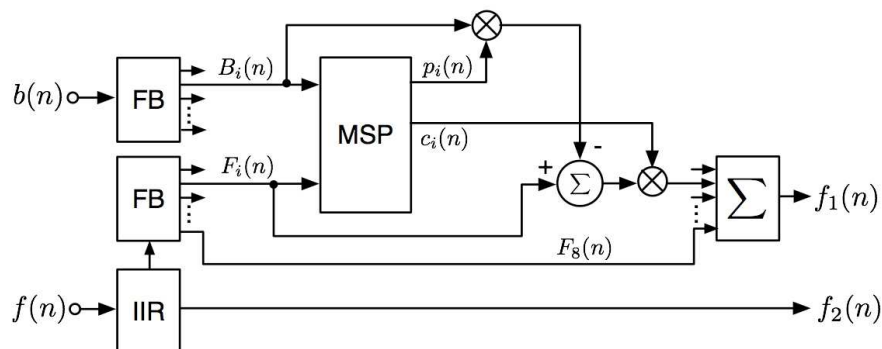


Abbildung 4: Blockdiagramm, das die Verarbeitung der vorwärts- und rückwärtsgerichteten Signale  $f(n)$  und  $b(n)$  zeigt. Mit FB, IIR, und MSP werden Filterbank, IIR-Filter und „Microphone signal processing“ bezeichnet.

Die Methode, die in [2] beschrieben wird, basiert auf zwei Signalen von Nierenmikrofonen, die vorwärts und rückwärts gerichtet sind. Es wird ein virtuelles Mikrofonsignal mit erhöhter Richtwirkung erzeugt, das nach vorne zeigt. Der Grad der Richtwirkung und der Diffusschallabsenkung kann mit Parametern bestimmt werden. Diese Methode wurde speziell für das SuperCMIT angepasst. Abbildung 4 zeigt die Signalverarbeitung, die auf die Signale  $f(n)$  und  $b(n)$  angewendet wird. Zuerst werden verschiedene IIR-Filter (optionaler low-cut, high-shelving, usw.) auf das Richtrohrsignal  $f(n)$  angewendet. Dann wird die vorher beschriebene Filterbank angewendet und die Teilbandsignale  $F_i(n)$  und  $B_i(n)$  erzeugt. Die acht unteren Teilbandsignale  $0 \leq i < 8$  werden wie folgt verarbeitet:

- Ein Prädiktor wird benutzt, um mittels dem Signal  $B_i(n)$  das Signal  $F_i(n)$  aus  $B_i(n)$  zu schätzen. Der Betrag des Prädiktors wird limitiert, um eine gewünschte Richtwirkung und Unterdrückung der Rückkeule zu erreichen (mehr Details zu diesem Prinzip findet sich in [2]). Der pegellimitierte Prädiktor wird als  $p_i(n)$  bezeichnet.
- Der pegellimitierte Prädiktor  $p_i(n)$  wird auf das Signal  $B_i(n)$  angewandt und das resultierende Signal wird vom vorwärts gerichteten Signal  $F_i(n)$  subtrahiert:

$$F_i(n) - p_i(n)B_i(n) .$$

- Ein Skalierungsfaktor  $c_i(n)$  wird auf das vorher berechnete Signal angewendet, um den gewünschten Diffusfeldpegel zu erreichen:

$$F_{1,i}(n) = c_i(n)(F_i(n) - p_i(n)B_i(n)) .$$

- Die Teilbänder  $F_{1,i}(n)$  werden summiert und zum (nicht verarbeiteten)  $F_8(n)$  addiert, um das Signal mit verbesserter Richtwirkung  $f_1(n)$  zu erzeugen. Der zweite Ausgangskanal des SuperCMIT  $f_2(n)$  ist das Richtrohrsignal  $f(n)$ , das nur IIR-gefiltert wurde.

Die Parameter der Signalverarbeitung sind für jedes Teilband individuell der Charakteristik der beiden Signale angepasst, um Frequenzvariationen des verarbeiteten Ausgangssignals zu minimieren.

#### 4. Subjektive Beurteilung und Messungen

Der folgende Abschnitt präsentiert die Frequenzgänge und Polardiagramme des SuperCMIT und diskutiert die subjektive Beurteilung. Da der digitale Ausgang des SuperCMIT zweikanalig ist, trägt Ausgangskanal 2 das konventionelle Interferenzrohr und Ausgangskanal 1 den Ausgang des Beamforming-Algorithmus. Der Algorithmus kann mit 2 verschiedenen Settings angewendet werden: Preset 1 ist eine moderate Stellung mit erhöhter Richtwirkung und mittlerer Absenkung des Diffusfeldpegels. Es ist artefaktfrei. Preset 2 ist die starke Stellung, mit stark erhöhter Richtwirkung und starker Absenkung des Diffusfeldpegels.

Die Messungen des Freifeld-Frequenzgangs zeigen deutlich das Verhalten, das aus den theoretischen Überlegungen zu erwarten war. Das obere Diagramm in Abbildung 5 zeigt die Frequenzgänge des unbearbeiteten, konventionellen Richtrohrs (also SuperCMIT-Ausgangskanal 2). Die schwarze Kurve entspricht dem 0°-Frequenzgang mit einer konstanten Empfindlichkeit bis 5 kHz. Die leichte Pegelanhebung über 5 kHz ist typisch für Richtrohre, um den Höhenabfall des Windkorbs und den Höhenabfall im Diffusfeld zu kompensieren.

Der 90°-Frequenzgang (rot, gestrichelt) zeigt einen signifikanten Höhenabfall. Kleine Unregelmäßigkeiten werden durch das Interferenzrohr erzeugt, das eine mit steigender Frequenz zunehmende Richtwirkung besitzt.

Die 180°-Kurve (grün) zeigt die Rückkeule des Mikrofons mit erhöhter Empfindlichkeit. Bei tiefen Frequenzen ist die Richtwirkung ähnlich einer Superniere.

Der Beamforming-Algorithmus ändert nicht den 0°-Frequenzgang, wie aus dem mittleren Diagramm (Algorithmus Preset 1) zu entnehmen ist. Der Frequenzgang ist identisch mit dem 0°-Frequenzgang aus dem oberen Diagramm. Die Empfindlichkeit bei 90° ist allerdings deutlich kleiner und entspricht nun der oberhalb von 6 kHz, wo das Interferenzprinzip wirksam ist. Das übergangslose Zusammenfügen des Beamforming-Signal mit dem Richtrohr erzeugt einen fast ebenen 90°-Frequenzgang innerhalb  $\pm 3$  dB. Der 180°-Frequenzgang hat zwar dieselbe Charakteristik wie der ohne Beamforming, ist aber im Pegel um ca. 4dB reduziert. Diese Eigenschaften führen zu einem unveränderten klanglichen Verhalten des SuperCMIT im Vergleich zum klassischen Richtrohr (CMIT 5), aber mit deutlich erhöhter Richtwirkung.

Das untere Diagramm in Abbildung 5 zeigt die Frequenzgänge, die mit Preset 2 erzeugt wurden, also mit der starken Stellung des Beamforming-Algorithmus. Auch hier ist der 0°-Frequenzgang identisch mit dem reinen Richtrohr, der Pegel bei 90° ist abermals um 4 dB reduziert.

Der große Gewinn von Preset 2 liegt in der extremen Absenkung des Diffusfelds sowie in der Reduktion der Empfindlichkeit bei 180° um bis zu 10 dB bei tiefen Frequenzen. Auch bei mittleren Frequenzen ist die Richtwirkung noch einmal deutlich erhöht. Diese Stellung sollte nur in Situationen angewendet werden, die eine extreme Unterdrückung von Umgebungsgeräuschen verlangen, da der Beamforming-Algorithmus in Stellung 2 hörbare Effekte im Klangbild erzeugt, die negativ sein können.

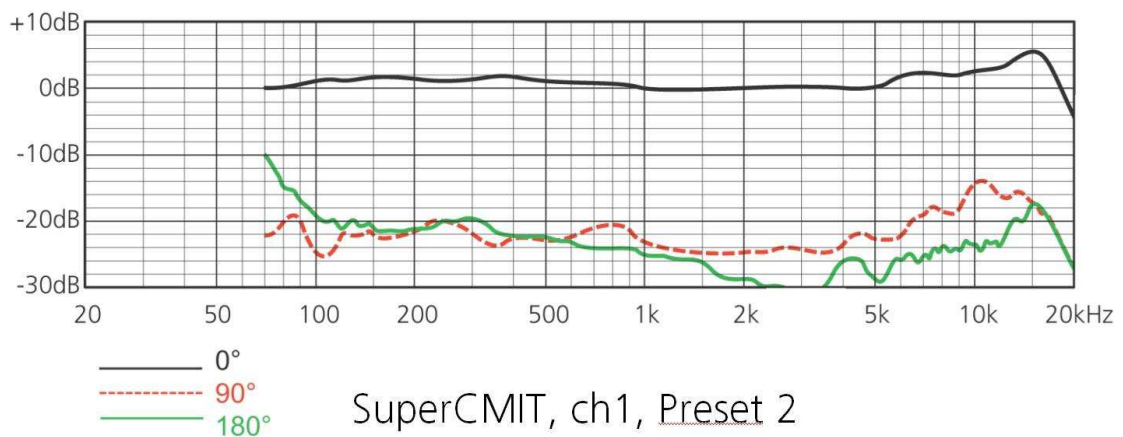
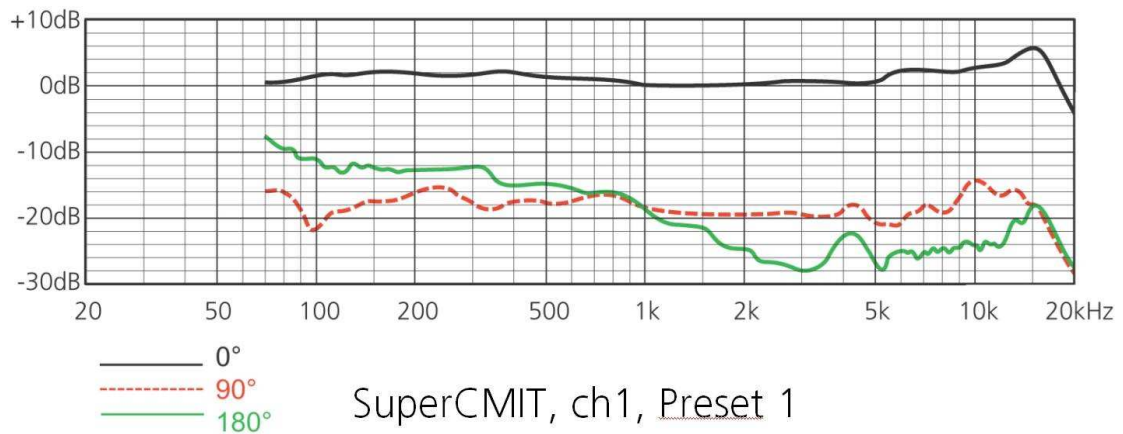
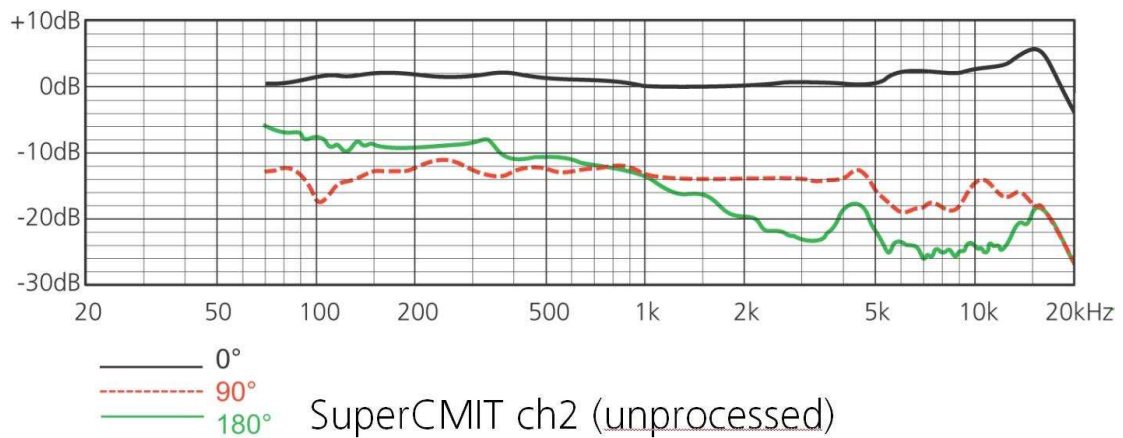


Abbildung 5: Freifeld- Frequenzgänge des SuperCMIT bei drei Einfallsrichtungen (schwarz - 0°, rot, gestrichelt - 90°, grün - 180°):

- Oberes Diagramm: SuperCMIT, Kanal 2 (unbearbeitetes, konventionelles Richtrohr)
- mittleres Diagramm: SuperCMIT, Kanal 1, Preset 1 (moderate Stellung des Algorithmus)
- unteres Diagramm: SuperCMIT, Kanal 1, Preset 2 (starke Stellung des Algorithmus)

Abbildung 6 zeigt die Polardiagramme des SuperCMIT. Die Polardiagramme von Kanal 1 (mit Beamforming-Algorithmus) ähneln sehr dem des unbearbeiteten Richtrohrkanals (Kanal 2, rechts in Abbildung 6), allerdings mit wesentlich höherer Richtwirkung. Die Rückkeule wird erheblich unterdrückt. Im vorderen Bereich ändert sich die sehr frequenzunabhängige Richtwirkung und damit die gute Klangfarbe des Mikrofons nicht. Das ist eine Voraussetzung dafür, dass auch Kanal 1 des SuperCMIT für hochqualitative Aufnahmen verwendet werden kann.

Die Pegelabsenkung um bis zu 20 dB bei 90° und 180° Schalleinfall im gesamten Frequenzbereich führt dazu, dass das Polardiagramm von Preset 2 einer „halben Acht“, also der vorderen Keule der Achter-Richtcharakteristik nahe kommt.

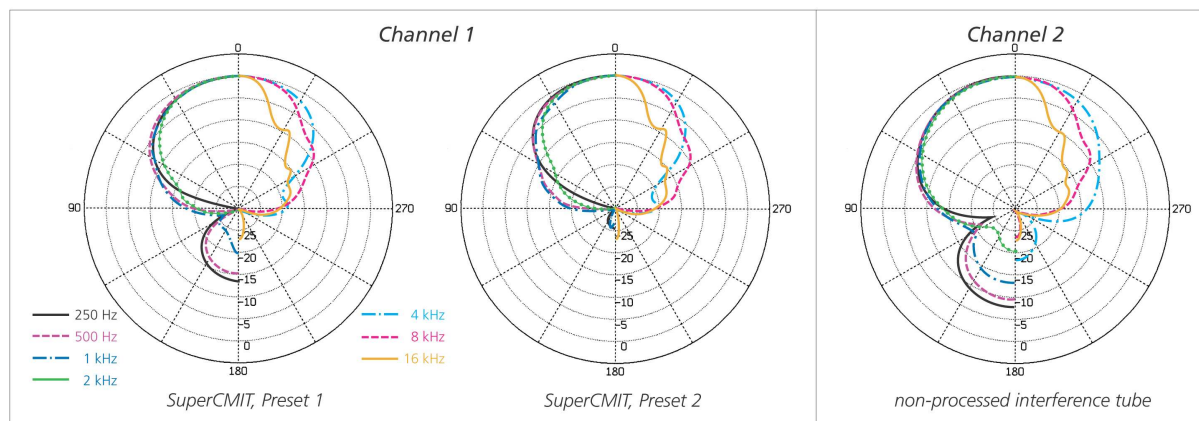


Abbildung 6: Polardiagramme des SuperCMIT:

Links: SuperCMIT, Kanal 1, Preset 1 (moderate Stellung des Algorithmus)

Mitte: SuperCMIT, Kanal 1, Preset 2 (starke Stellung des Algorithmus)

Rechts: SuperCMIT, Kanal 2 (unbearbeitetes, konventionelles Richtrohr)

In der Praxis erweist sich die mit dem Algorithmus erreichte Senkung des Diffusschallpegels als wesentlich, im Vergleich zur Erhöhung der Richtwirkung sogar als wichtiger. Es scheint, als ob man deshalb ein neues Verständnis des Themas Richtmikrofone entwickeln muss. Bei normalen Mikrontypen besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Polardiagramm und dem Diffusschallpegel. Durch spezielles Aufsummieren der Anteile aus den verschiedenen Richtungen kann der Diffusschallpegel ermittelt werden. Dies ist anders im Falle des SuperCMIT, denn die Diffusschallabsenkung passiert unabhängig vom Polardiagramm nur für als diffus erkannten Schall.

Abbildung 7 zeigt die Diffusfeld-Frequenzgänge der drei möglichen SuperCMIT-Signale. Diese Kurven sind bemerkenswert, wenn man sie mit konventionellen Mikrofonen vergleicht. Abbildung 8 zeigt dies umso deutlicher. Es zeigt das Bündelungsmaß, also das Verhältnis zwischen Direkt- und Diffusfeldpegel, für verschiedene Mikrontypen bei tiefen und mittleren Frequenzen.



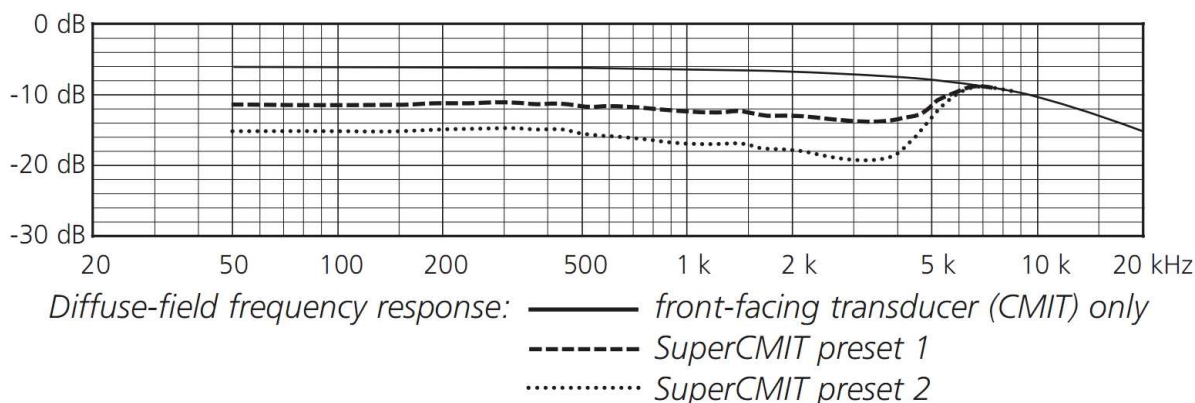


Abbildung 7: Diffusfeld-Frequenzgänge des SuperCMIT

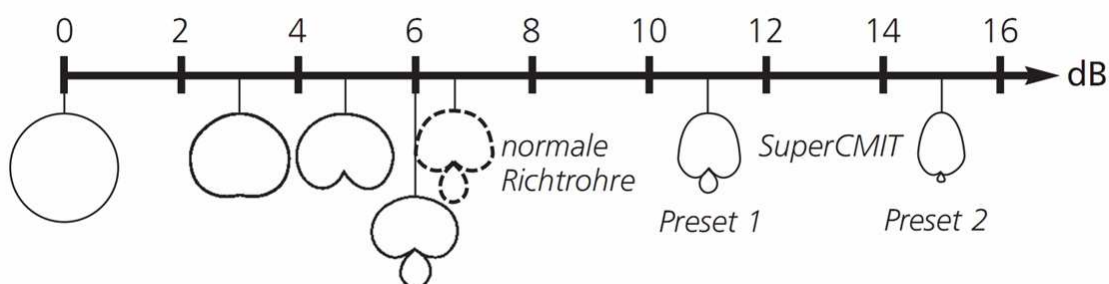


Abbildung 8: Bündelungsmaß, also das Verhältnis zwischen Direkt- und Diffusfeldpegel, für verschiedene Mikrofontypen bei tiefen und mittleren Frequenzen.

Das höchste, mit Druckgradientenmikrofonen erster Ordnung erreichbare Bündelungsmaß ist 6 dB (für die „Hyperniere“). Selbst ein Richtrohr kann diesen Wert, wie zuvor beschrieben, bei tiefen und mittleren Frequenzen nicht vergrößern, da ihre Wirkung erst bei hohen Frequenzen einsetzt. Selbst lange Richtrohre haben eine untere Grenzfrequenz, unter der sie nur noch wie ein Mikrofon 1. Ordnung arbeiten.

Das SuperCMIT erhöht das Bündelungsmaß auf ca. 11 dB im Preset 1, dies entspricht einer Absenkung des diffusen Schalls um den Faktor 12,6. Preset 2 schafft sogar ca. 15 dB, diese entspricht einem Faktor von 31,6. Dies bedeutet aber im Rückschluss nicht, dass sich auch der „Distanzfaktor“ um denselben Faktor erhöht. Das hat zwei Gründe: erstens werden im SuperCMIT die für die Distanzwahrnehmung verantwortlichen Erstreflektionen nicht als diffus erkannt und somit potentiell nicht ebenso stark abgesenkt. Zweitens ist für das SuperCMIT eine entfernte Schallquelle nicht mehr 100% diskret und kann somit nicht mehr so gut von der Umgebung getrennt werden.

### Subjektive Beurteilungen

Die geeignete Wahl von Parametern und die Definition der Presets sind das Ergebnis langer Aufnahme- und Hörsitzungen unter Beteiligung eines ausgewählten Expertenkreises. Die Klangqualität des bearbeiteten Signals konnte durch geeignetes mechanisches Design und durch das Design des Algorithmus gesichert werden. Typische zeitliche Artefakte eines adaptiven Algorithmus (Pumpen) konnten durch geeignete Maßnahmen bei Preset 1

vollständig und zuverlässig verhindert werden. Preset 2, das unter gewissen Bedingungen zeitliche Artefakte zeigt, wird nicht für normale Anwendungen empfohlen. Es ist trotzdem für bestimmte Anwendungen sehr hilfreich und wurde deshalb dem Anwender zur Verfügung gestellt. Diese bestimmten Anwendungen umfassen Effektaufnahmen im Sport, PA am Rednerpult sowie Aufnahmen, bei denen die direkte Schallquelle nahe und klar erkennbar ist. Außerdem klingt Preset 2 dann unnatürlich, wenn zur natürlichen Wahrnehmung der Nachhall nötig ist, z.B. in kleinen Räumen.

In der Praxis zeigt sich, dass Umgebungsgeräusche wie Stadionlärm, Blätterrauschen, Verkehrslärm, Klimaanlage, Windgeräusche, Sprachgewirr sowie Nachhall als „diffus“ erkannt werden und somit zuverlässig im Pegel gesenkt werden können.

Jüngste Erfahrungen zeigen, dass bei Filmtonanwendungen hauptsächlich Kanal 1, Preset 1, manchmal auch Kanal 2, aber fast niemals Kanal 1, Preset 2 verwendet wird. Bei Sport, ENG, Beschallung einer Ansprache werden beide Presets von Kanal 1 verwendet.

## **5. Zusammenfassung**

Ein neues Mikrofonprinzip wurde vorgestellt, das zum Ziel hat, das konventionelle Richtrohrprinzip durch ein zweites Mikrofonelement und digitale Signalverarbeitung zu verbessern. Bei tiefen und mittleren Frequenzen, wo normale Richtrohre ihre Schwäche haben, kann dadurch die Richtwirkung und das Direkt-/Diffusschallverhältnis wesentlich verbessert werden und die Rückkeule unterdrückt werden.

Messungen und subjektive Untersuchungen am existierenden Mikrofon SuperCMIT zeigen, dass eine erfolgreiche Implementierung dieses Prinzips möglich ist. Der Markterfolg bestätigt den Nutzen und die Anwendbarkeit der erhöhten Richtwirkung in normalen Aufnahmesituationen.

Inzwischen zahlreich erfolgte praktische Anwendungen zeigen die Transparenz und Artefaktfreiheit von Preset 1. Zukünftige Arbeit wird weiter die Umstände untersuchen, unter denen bei Preset 2 zeitliche Artefakte möglich sind. Dies soll ein besseres Wissen und damit bessere Voraussagbarkeit von Artefakten ermöglichen.

## **6. Quellenverzeichnis**

- [1] K. Tamm and G. Kurtze, "Ein neuartiges Mikrophon großer Richtungsselektivität," *Acustica*, No. 5, Vol. 4, 469-470, Beiheft 1, 1954.
- [2] C. Faller, "A highly directive 2-capsule based microphone system," in Preprint 123rd Conv. Aud. Eng. Soc., Oct. 2007
- [3] AES 42 Standard: <http://www.aes.org/publications/standards/search.cfm?docID=38>
- [4] Y. Neuvo and S. K. Mitra, "Complementary iir digital filters," in Proc. IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems, May 1984, pp. 234-237
- [5] P. A. Regalia, S. K. Mitra, P. P. Vaidyanathan, M. K. Renfors, and Y. Neuvo, "Tree-structured complementary filter banks using all-pass sections," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol.~34, pp. 1470-1484, December 1987
- [6] C. Favrot and C. Faller, "Complementary N-band IIR filterbank based on 2-band complementary filters," in Proc. Intl. Works. on Acoust. Echo and Noise Control (IWAENC), Aug. 20