

# Prinzipien und Konzepte automatischer Mikrofonmischer

Natanael Nieland

TU Kaiserslautern, FB EIT, Digitale Signalverarbeitung, Email: nieland@eit.uni-kl.de

## Einleitung

Der automatische Mikrofonmischer ist zentraler Bestandteil elektroakustischer Anlagen für Sprachanwendungen, bei denen mehrere Mikrofone erforderlich sind. Die wesentliche Funktion aller automatischen Mischer ist die Abschwächung unbenutzter und die Aktivierung benutzter Mikrofonkanäle. Außerdem wird das Mischsignal mit steigender Anzahl aktiver Mikrofone abgeschwächt. Hierdurch ergeben sich entscheidende Vorteile hinsichtlich der Signalqualität des Mischsignals und der Stabilität der elektroakustischen Anlage.

Die Verfahren zum automatischen Mischen sind in zahlreichen Patentschriften festgehalten. Der Fokus dieses Beitrags liegt weniger auf den technischen Umsetzungsdetails, sondern vielmehr auf den grundlegenden Ansätzen zum automatischen Mischen, die am Beispiel fünf verschiedener Verfahren vorgestellt werden.

Um das Verhalten automatischer Mischer besser zu verstehen, müssen außerdem der Mischer, die Mikrofone, sowie die akustischen und geometrischen Umgebungsbedingungen gemeinsam betrachtet werden. Dazu wird die Berechnung einer *Aktivierungscharakteristik* vorgestellt, die die genannten Einflussfaktoren berücksichtigt und eine anschauliche Analyse der Verfahren ermöglicht.

An letzter Stelle wird die Mehrfachaktivierung, also die Aktivierung mehrerer Mikrofone durch einen Sprecher untersucht. Diese sollte vermieden werden, da sie in der Regel zu einer schlechteren Signalqualität des Mischsignals führt. Die Untersuchung der Verfahren zeigt, dass die Gefahr der Mehrfachaktivierung oftmals auf Kosten der Aktivierungsempfindlichkeit reduziert wird. Die Mehrfachaktivierung zu verhindern und gleichzeitig eine hohe Aktivierungsempfindlichkeit zu erzielen, ist eine wesentliche Anforderung an den automatischen Mischer. Dieser Beitrag soll aufzeigen, inwiefern sich die Verfahren hinsichtlich dieser Problematik unterscheiden.

## Problemstellung

Im einfachsten Fall besteht das Mischen im Summieren aller Mikrofonsignale, wie in Abb. 1 dargestellt. Eine so simple Anordnung ist jedoch in vielerlei Hinsicht unzureichend. Da Störgeräusche und Nachhall von allen Mikrofonen aufgenommen werden, das durch einen Sprecher hervorgerufene Sprachsignal jedoch nur von einem Mikrofon übertragen wird, reduziert sich der SNR und das Direktsignal/Raumsignal-Verhältnis des Mischsignals um 3 dB pro Verdopplung der verwendeten Mikrofone [1]. Mit der Reduzierung des SNR's und des D/R-Verhältnisses geht eine schlechtere Sprachverständlichkeit einher.

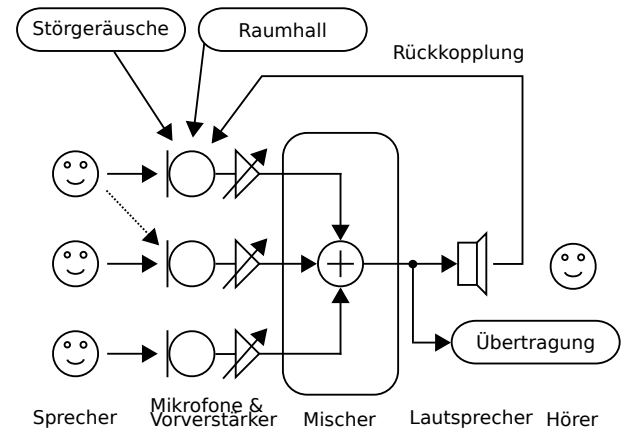


Abbildung 1: Grundelemente einer einfachen elektroakustischen Anlage und Veranschaulichung von Einflussfaktoren.

Zudem führt akustisches Übersprechen, das in Abb. 1 durch den gestrichelten Pfeil angedeutet ist, zu einer Überlagerung zeitversetzter Signale und somit zu Kammfiltereffekten, die die Sprachverständlichkeit ebenfalls reduzieren können.

Zuletzt erhöht sich die Schleifenverstärkung des elektroakustischen Systems, aufgrund der Rückkopplung des Lautsprecherschalls zu den Mikrofonen, mit steigender Anzahl der Mikrofonkanäle. Dies kann zu einer Überschreitung der Stabilitätsgrenze oder zu einer verfärbten Wiedergabe führen, wodurch die Sprachverständlichkeit abermals herabgesetzt wird.

## Prinzipien automatischer Mikrofonmischer

Aus den vorangehenden Betrachtungen lassen sich zwei Prinzipien zum automatischen Mischen ableiten:

1. Unbenutzte oder überflüssige Mikrofonkanäle werden abgeschwächt, während benutzte Mikrofonkanäle verstärkt werden, um die Anzahl aktiver Mikrofone (NOM) zu jeder Zeit minimal zu halten. Im Idealfall entspricht die Anzahl der aktiven Mikrofone der Anzahl aktiver Sprecher.
2. Die Schleifenverstärkung der elektroakustischen Anlage wird begrenzt, indem das Mischsignal abgeschwächt wird, wenn mehrere Mikrofone aktiv werden.

Die erste Regel verbessert den SNR und das D/R-Verhältnis des Mischsignals und reduziert den Einfluss von Kammfiltereffekten. Bei der Benutzung mehrerer Mikrofonkanäle zur gleichen Zeit sorgt die zweite Regel zudem dafür, dass der Abstand zur Rückkopplungsschwelle konstant gehalten wird.

## Vorstellung der Verfahren

Im Folgenden wird anhand fünf verschiedener Verfahren eine Übersicht gängiger Konzepte zum automatischen Mischen gegeben.

**Verfahren mit fester Schwelle:** Bei Verfahren mit fester Schwelle wird ein Kanal aktiviert, d.h. die Abschwächung beträgt 0 dB, wenn der Signalpegel eine voreingestellte Schwelle überschreitet. Inaktive Kanäle werden typischerweise um 15 dB abgeschwächt. Dieser Vorgang wird als Gating bezeichnet. Wurde ein Kanal aktiviert, bleibt dieser für eine Haltezeit von üblicherweise 0,4 bis 1 s aktiv. Das Mischsignal wird von einem sog. NOM-Abschwächer um 3 dB pro Verdopplung der aktiven Kanäle abgeschwächt. Die Schwelle ist klein zu wählen, um die Detektion eines Sprechers zu gewährleisten und groß genug, um die Aktivierung durch Störschall zu verhindern.

**Verfahren mit variabler Schwelle:** Beim Gatingmischer mit variabler Schwelle wird ein Kanal aktiviert, wenn die Differenz des Mikrofonpegels und des Pegels eines Referenzsignals einen einstellbaren Schwellwert überschreitet [2]. Die Signalpegel werden aus den gleichgerichteten und gefilterten Eingangssignalen berechnet. Der Referenzkanal wird von der Summe aller Mikrofon-signale oder einem Raummikrofon gespeist. Ein NOM-Abschwächer begrenzt die Schleifenverstärkung. In einer abgewandelten Version des Verfahrens sorgt eine Expansionskennlinie für einen kontinuierlichen Anstieg der Verstärkung im Übergangsbereich, der sich von einer Abschwächung von 15 dB bis 0 dB erstreckt. Leise Anfangsilben erhalten dadurch eine bereits leicht erhöhte Verstärkung und sind dadurch besser wahrnehmbar. Die Notwendigkeit dieser Maßnahme deutet darauf hin, dass in manchen Fällen kein Schwellwert gefunden werden kann, der eine zuverlässige Aktivierung erlaubt und gleichzeitig unempfindlich gegenüber Störschall, diffusum Nachhall und Reflexionen ist.

**Gainsharing:** Der Gainsharingmischer kann als Pendant zum Gatingmischer mit Summensignal angesehen werden und unterscheidet sich primär in den kontinuierlichen Abschwächungswerten [3]. Es wird zunächst der Spitzenwert

$$x_p(n) = \begin{cases} \alpha|x(n)| + (1 - \alpha)x_p(n - 1) & |x(n)| > x_p(n - 1) \\ \beta|x(n)| + (1 - \beta)x_p(n - 1) & \text{sonst} \end{cases} \quad (1)$$

eines Mikrofonsignals  $x(n)$  berechnet, wobei die Koeffizienten  $\alpha = 1 - e^{-1/(\tau_A f_s)}$  und  $\beta = 1 - e^{-1/(\tau_R f_s)}$  aus der Abtastrate  $f_s$  und der Attackzeit  $\tau_A$  bzw. der Releasezeit  $\tau_R$  berechnet werden. Eine typische Attackzeit von 4 ms ermöglicht eine schnelle Erhöhung der Verstärkung und verhindert Schaltartefakte. Die längere Releasezeit (typ. 1 s) sorgt für eine unauffällige Änderung der Abschwächungswerte. Mit dem Summensignal der  $N$  vorhandenen Kanäle

$$s(n) = \sum_{k=1}^N x_k(n) \quad (2)$$

ergibt sich die Verstärkung eines Kanals

$$g(n) = \frac{x_p(n)}{s_p(n)} \quad (3)$$

aus dem Verhältnis des Spitzenwertes eines Kanals zum Spitzenwert der Summe aller Mikrofon-signale. Die Verstärkung eines Kanals entspricht also dem Anteil, den der Spitzenwert des Kanals am Spitzenwert des Summensignals hat. Die NOM-Abschwächung ist dem Verfahren inhärent. Die kontinuierliche Abschwächung reduziert die Gefahr des Abschneidens von Anfangsilben, wie es bei Gatingmischern mit hohen Abschwächungswerten der Fall sein kann. Die Einstellung von Schwellwerten ist nicht notwendig. Ein Sprachsignal kann von einem zweiten Sprachsignal oder Störgeräuschen moduliert werden, da der Spitzenwert des einen Kanals über die Summenbildung auch auf andere Kanäle wirkt. Insbesondere bei geringen SNR Werten und vielen Kanälen können Störgeräusche die Verstärkung aktiver Kanäle reduzieren. Ein abgewandeltes Verfahren priorisiert die Kanäle entsprechend ihrem Nutzungsgrad [4]. Ein priorisierter Kanal erhält bereits bei kleinen Signalpegeln eine höhere Verstärkung, wodurch die Ansprechempfindlichkeit erhöht und die Modulation durch andere Kanäle reduziert wird. Das Gainsharingverfahren findet u.a. Anwendung in Mischern von Yamaha, Lectrosonics und Rane.

**Richtungsabhängiges Gating:** Beim richtungsabhängigen Gating werden Spezialmikrofone verwendet, die zwei um 180 Grad versetzte Nierenmikrofone mit zusammenfallendem akustischem Zentrum enthalten [1]. Aus dem logarithmierten Verhältnis

$$R = 20 \log_{10} \left( \frac{0,5 + 0,5 \cos \varphi}{0,5 - 0,5 \cos \varphi} \right) \quad (4)$$

beider Mikrofonegleichungen wird für einen Öffnungswinkel von 120 Grad ( $\varphi = 60$  Grad) der Wert  $R$  zu 9,54 dB bestimmt. Damit ist eine Aktivierung nur aus einem bevorzugten Einfallsbereich möglich. Unter Berücksichtigung des Nachhalls und Störgeräusches entspricht der Öffnungswinkel nur nahe des Mikrofons dem gewünschten Wert. Problematisch sind Reflexionen zum rückwärtsgerichteten Mikrofon eines Kanals, die eine Aktivierung verhindern können. Das Verfahren findet Anwendung in automatischen Mikrofonmischern von Shure.

**Mischer mit Max Bus und NAT:** Das von Shure patentierte Verfahren [5] berechnet für alle Kanäle ein gefiltertes Gleichrichtersignal und eine NAT (Noise Adaptive Threshold), die den Pegel stationärer Störgeräusche annähert. Überschreitet das Gleichrichtersignal die NAT um 6 dB ist die erste Bedingung zur Aktivierung eines Kanals erfüllt. Zentrales Prinzip dieses Verfahrens ist jedoch der sog. Max Bus. Das Gleichrichtersignal eines Kanals muss das Maximale unter allen sein, um den Max Bus zu treiben und damit die zweite Bedingung zur Aktivierung eines Kanals zu erfüllen. Bereits aktive Kanäle erhalten bei der Ermittlung des maximalen Gleichrichtersignals einen Vorteil von 6 dB. Spricht nun ein Sprecher in ein Mikrofon wird das Gleichrichtersignal die NAT

überschreiten und den *Max Bus* treiben, sodass der Kanal aktiviert wird. Da ein Sprecher ähnliche Gleichrichtersignale an allen Mikrofonen hervorruft, können, wegen des 6 dB Vorteils des bereits aktiven Kanals, keine weiteren Kanäle durch den Sprecher aktiviert werden. Es wird nur ein Kanal pro Schallquelle aktiviert. Da sich die Maxima der Gleichrichtersignale zweier Sprecher abwechseln, ist ein zweiter Sprecher trotzdem in der Lage einen zweiten Kanal zu aktivieren.

### Aktivierungscharakteristik

Die Aktivierungscharakteristik zeigt für jede mögliche Position einer Schallquelle die Abschwächung eines Kanals, die sich aus dem betrachteten Verfahren ergibt. Zur Berechnung der Aktivierungscharakteristik werden zunächst die von den Mikrofonen übertragenen Schalldrücke ermittelt. Ausgehend von einer Schallquelle  $i$ , kann der vom Mikrophon  $j$  übertragene Schalldruck nach der in [6] angegebenen Gleichung

$$p_{ij} = \sqrt{\frac{\rho c}{4\pi r_H^2 \gamma_M} (P_i Q_{ij} + P_N)} \quad (5)$$

ermittelt werden, wobei

$$Q_{ij} = \gamma_S \Gamma_S^2(\vartheta_S) \gamma_M \Gamma_M^2(\vartheta_M) \left(\frac{r_H}{r_{ij}}\right)^2 + 1 \quad (6)$$

der Übertragungsfaktor zwischen Schallquelle und Mikrophon ist. Außerdem ist  $\rho$  die Dichte von Luft,  $c$  die Schallgeschwindigkeit,  $r_H$  der Hallradius,  $\gamma_S$  und  $\gamma_M$  die Bündelungsgrade der Quelle und des Mikrofon,  $\Gamma_S$  und  $\Gamma_M$  die Richtungsfaktoren der Quelle und des Mikrofon,  $\vartheta_S$  und  $\vartheta_M$  die für die Richtwirkung von Quelle und Mikrophon relevanten Winkel,  $P_i$  die Schalleistung des Sprechers,  $P_N$  die Schalleistung einer Störschallquelle, die sich weit außerhalb des Hallradius aller Mikrofone befindet und  $r_{ij}$  der Abstand Quelle - Mikrophon.

Für jedes Verfahren lässt sich das Kontrollsignal  $c_j$  eines Kanals  $j$  bestimmen, das mit dem Schwellwert  $t_j$  verglichen wird und über die Aktivierung eines Kanals entscheidet. Bei Verfahren mit fester Schwelle entspricht  $c_j$  dem Signalpegel, bei Verfahren mit Referenzkanal der Differenz von Signalpegel und Referenzpegel. Beim Gainsharingverfahren ergibt sich die Abschwächung direkt aus dem Kontrollsignal. Nun wird eine fiktive Schallquelle im Raum positioniert und mithilfe der Gleichungen (5) und (6) werden die von den Mikrofonen übertragenen Schalldrücke bestimmt. Aus den Schalldrücken kann wiederum das Kontrollsignal  $c_j$  eines Verfahrens berechnet werden. Die Gleichung  $c_j = t_j$  beschreibt dann alle Positionen an denen eine Schallquelle den gleichen Wert des Kontrollsignals hervorruft, also den Aktivierungsbereich für einen bestimmten Schwellwert  $t_j$ , innerhalb dessen ein Sprecher in der Lage ist den Kanal  $j$  zu aktivieren. Beim Gainsharingmischer ergibt sich eine Aktivierungscharakteristik mit kontinuierliche Abschwächungswerten.

Die Aktivierungscharakteristik wird im Folgenden beispielhaft für zwei Verfahren berechnet. Beim Verfahren mit Raummikrofon wird das gefilterte Gleichrichtersignal ins Verhältnis zum gefilterten Gleichrichtersignal des

Raummikrofon gesetzt. Unter der Annahme, dass sich das Raummikrofon mit Kugelcharakteristik ( $\gamma_R = 1$ ) im diffusen Schallfeld befindet ( $Q_{iR} = 1$ ) und die Störquelle vernachlässigt werden kann, ergibt sich das Kontrollsignal

$$c_j = \frac{\sqrt{\frac{\rho c}{4\pi r_H^2 \gamma_M} P_i Q_{ij}}}{\sqrt{\frac{\rho c}{4\pi r_H^2 \gamma_R} P_i Q_{iR}}} = \sqrt{\frac{Q_{ij}}{\gamma_M}} \quad (7)$$

Die resultierende Aktivierungscharakteristik ist für verschiedene Schwellwerte in Abb. 2 dargestellt. Dabei wurde ein Hallradius von 1,4 m, eine Nierencharakteristik der Mikrofone ( $\gamma_M = 3$ ) und eine Kugelcharakteristik der Schallquelle ( $\gamma_S = 1$ ) angenommen. Abb. 3 zeigt

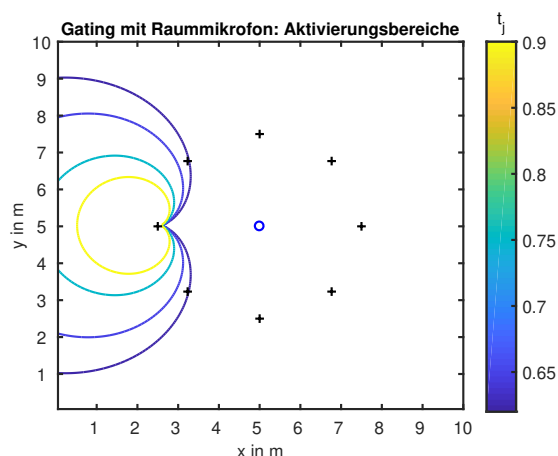


Abbildung 2: Aktivierungsbereiche beim Gating mit Raummikrofon für  $t_j = \sqrt{\frac{Q_{ij}}{\gamma_M}} = [0.62, 0.65, 0.75, 0.9]$ ,  $\gamma_M = 3$ , Sprachmikrofon (+), Raummikrofon (O).

für die gleichen Annahmen die Aktivierungscharakteristik des Gainsharingmischer, die sich aus dem Kontrollsignal

$$c_j = \frac{\sqrt{\frac{\rho c}{4\pi r_H^2 \gamma_M} (P_i Q_{ij})}}{\sqrt{\frac{\rho c}{4\pi r_H^2 \gamma_M} \sum_{k=1}^N (P_i Q_{ik})}} = \sqrt{\frac{Q_{ij}}{\sum_{k=1}^N Q_{ik}}} \quad (8)$$

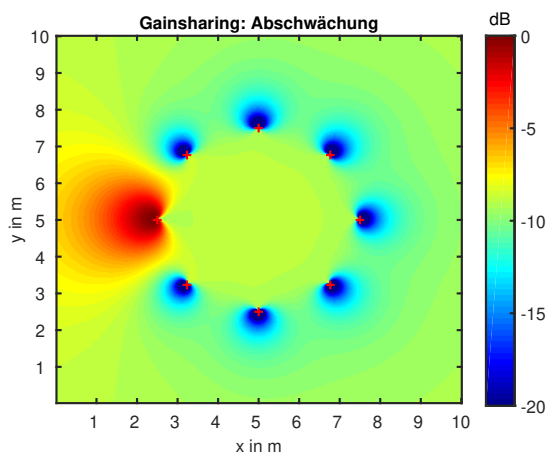
ergibt.

Die Aktivierungscharakteristik erlaubt die anschauliche Beschreibung des Verhaltens automatischer Mischer unter Berücksichtigung von Störquellen, des Hallradius, der Richtwirkungen von Mikrofonen und Schallquellen, sowie der geometrischen Anordnung von Mikrofonen und Schallquellen.

Hierbei wird das Verhalten der Verfahren im stationären Zustand beschrieben. Transiente Vorgänge, die sich aufgrund der Laufzeiten, der zeitlichen Struktur des Nachhalls und der Dynamik der Verfahren selbst ergeben, werden durch diese Beschreibungsform jedoch nicht berücksichtigt.

### Mehrfachaktivierung

Ist jedem Sprecher ein Mikrophon zugeordnet und aktiviert ein Sprecher neben dem ihm zugeordneten Mikrophon ein



**Abbildung 3:** Aktivierungscharakteristik für eine Kugelschallquelle beim Gainsharingmischer (8 Kanäle) und  $r_H = 1, 4m$ ,  $\gamma_M = 3$ , Sprachmikrofon (+).

weiteres, spricht man von einer Mehrfachaktivierung, die sich nachteilig auf die Signalqualität auswirkt.

Bei Verfahren mit fester Schwelle kann ein lauter Sprecher die Aktivierung mehrerer oder aller Kanäle verursachen. Zur Lösung dieses Problems kann es zu jeder Zeit nur einem Kanal ermöglicht werden, aktiv zu sein. Ein zweiter Sprecher wird dann jedoch an der Aktivierung eines zweiten Kanals gehindert.

Beim Verfahren mit Raummikrofon findet eine Mehrfachaktivierung statt, wenn sich ein Sprecher im Aktivierungsbereich mehrerer Mikrofone befindet. Insbesondere bei niedrigen Schwellwerten vergrößert sich der Bereich innerhalb dessen ein Sprecher mehrere Mikrofone aktivieren kann. Beim Auftreten von Mehrfachaktivierung, muss daher die Aktivierungsempfindlichkeit reduziert werden.

Beim Gating mit Summensignal entspricht das Kontrollsignal dem des Gainsharingmischers (Gl. 8). Das Kontrollsignal nimmt hohe Werte an, wenn der Übertragungsfaktor  $Q_{ij}$  zwischen einem Sprecher und einem Mikrofon groß gegenüber den Übertragungsfaktoren zwischen dem Sprecher und weiteren Mikrofonen ist. In die Richtung, in der sich der Übertragungsfaktor zwischen dem Sprecher und einem weiteren Mikrofon erhöht, wird der Aktivierungsbereich kleiner. Dadurch kann die Gefahr der Mehrfachaktivierung im Vergleich zum Gating mit Raummikrofon bei gleicher Aktivierungsempfindlichkeit reduziert werden. Doch auch hier ist eine Mehrfachaktivierung möglich, wenn die Schwellen zu klein gewählt werden.

Für das richtungsabhängige Gating erhält man eine Aktivierungscharakteristik, die nahe des Mikrofons durch einen Öffnungswinkel von 120 Grad gekennzeichnet ist. Auch hier ist eine Mehrfachaktivierung möglich, wenn sich ein Sprecher im Aktivierungsbereich mehrerer Mikrofone befindet. Eine Erhöhung der Schwelle würde wiederum die Aktivierungsempfindlichkeit reduzieren.

Beim Gainsharingmischer kann nicht von Mehrfachakti-

vierung gesprochen werden, allerdings ist es möglich, dass ein Sprecher gleiche Abschwächungswerte in mehreren Kanälen hervorruft. Aus den gleichen Gründen wie beim Gating mit Summensignal, ist diese Problematik beim Gainsharingverfahren von geringerer Bedeutung. Die Ansprechempfindlichkeit ist bei diesem Verfahren vorgegeben und kann, insbesondere bei einem kleinen Hallradius, einem hohen Störpegel und einem großen Abstand zwischen Sprecher und Mikrofon, zu gering ausfallen.

Bei der Entwicklung des *Max Bus* basierten Verfahrens wurde die Problematik der Mehrfachaktivierung gezielt angegangen. Der entscheidende Unterschied zu den anderen Verfahren ist dabei, dass aktive Kanäle bei der Ermittlung des maximalen Gleichrichtersignals einen Vorteil von 6 dB erhalten, sodass der an weiteren Mikrofonen eintreffende Nachhall nicht zur Aktivierung eines Kanals führt. Die effektive Verhinderung der Mehrfachaktivierung erlaubt gleichzeitig eine hohe Aktivierungsempfindlichkeit, die im konkreten Fall nur durch die adaptive Schwelle (NAT) begrenzt wird.

## Fazit

Die Betrachtung der Aktivierungscharakteristik kann ein nützliches Hilfsmittel zur Analyse eines Verfahrens zum automatischen Mischen sein. Aufgrund der Einbeziehung der Umgebungsbedingungen kann diese außerdem anwendungsspezifisch durchgeführt werden.

Die Mehrfachaktivierung zu verhindern und gleichzeitig eine hohe Aktivierungsempfindlichkeit zu erzielen wurde als eine der wichtigsten Anforderung an automatische Mikrofonmischer identifiziert. Während diese Problematik bei Verfahren mit fester Schwelle ungelöst bleibt, kann beim Gating mit variabler Schwelle und richtungsabhängigen Gating eine Mehrfachaktivierung bei geschickter Positionierung und Ausrichtung der Mikrofone verhindert werden. Die Wahl der Schwelle ist jedoch stets ein Kompromiss zwischen der Verhinderung einer Mehrfachaktivierung und der Aktivierungsempfindlichkeit. Das *Max Bus* basierte Verfahren ist den anderen Verfahren in dieser Hinsicht überlegen, noch dazu, weil keine Einstellung der Schwellen erforderlich ist.

## Literatur

- [1] Julstrom, S., Tichy, T.: Direction-Sensitive Gating: A New Approach to Automatic Mixing, 1984
- [2] Dugan, D.: Control Apparatus For Sound Reinforcement Systems, US Patent US3,814,856, 1974
- [3] Dugan, D.: Automatic Microphone Mixer, US Patent US3,992,584, 1976
- [4] Sims, T.: Adaptive Proportional Gain Audio Mixing System, US Patent US5,402,500, 1995
- [5] Julstrom S.: Microphone Actuation Control System, US Patent US5,297,210, 1994
- [6] Ahnert, W., Steffen, F.: Beschallungstechnik – Grundlagen und Praxis, S. Hirzel Verlag Stuttgart, Leipzig 1993