# Einsatz linienförmiger Mikrofonarrays zur flexiblen Mikrofonierung von ausgedehnten Schallquellen

Christoph Gilbert[1], Matthias Domke[2]

[1] *Institut für Musikinstrumentenbau e.V., 08267 Klingenthal OT Zwota, E-Mail: c.gilbert@ifm-zwota.de*
[2] *Microtech Gefell GmbH, 07926 Gefell, E-Mail: m.domke@microtechgefell.de*

## Einleitung

Ein Orchester oder vergleichbare großflächige Schallquellen authentisch aufzunehmen, um diese aufzuzeichnen oder über eine Beschallungsanlage zu verstärken, ist eine Herausforderung, welche oft mittels einer aufwändigen Mikrofonierung gelöst wird. Dabei wird versucht, über eine sehr nahe Positionierung der Mikrofone an der jeweiligen Schallquelle, eine geringe Rückkopplungsneigung hervorzurufen und gleichzeitig möglichst wenig Raumanteil aufzunehmen. Dass dies oft aus klanglichen Gesichtspunkten nicht optimal ist, lässt sich bei Musikinstrumenten beispielsweise an der Violine nachvollziehen, welche durch eine nahe Mikrofonierung oft schrill und nasal klingt. Ähnliche klangliche Defizite gibt es bei der Mikrofonierung von Sprechern und Schauspielern mittels Headset oder Lavaliermikrofon, da dies oft eine Überbetonung von Zischlauten zur Folge hat. Eine Mikrofonierung im Fernfeld wäre daher klanglich anstrebenswert. Den Herausforderungen der stärkeren Rückkopplungsneigung und des höheren Raumanteils im Signal können mittels einer engeren Richtcharakteristik und der Minimierung der Gesamtanzahl der Mikrofone entgegengewirkt werden. Als Lösungsansatz wird daher der Einsatz von linienförmigen Mikrofonarrays als Hauptmikrofone anvisiert.

## Untersuchungen am Orchester

Um die generelle Tauglichkeit von Mikrofonarrays für die Mikrofonierung eines Orchesters näher zu untersuchen, wurden erste Aufnahmen während eines Open-Air-Orchesterkonzertes durchgeführt. Parallel zur konventionellen Einzelmikrofonierung der Instrumente wurden zwei kleine Kardioid-Ebenen-Mikrofone (Microtech Gefell KEM 970) in Dirigentennähe platziert und dem Tonmeister zur Verfügung gestellt. Nach der klanglichen Formung durch diesen wurden jeweils die Summe der Einzelmikrofone und die der beiden KEMs aufgezeichnet und psychoakustisch analysiert. Die verwendeten psychoakustischen Parameter sind von ZIEGENHALS [1] verständlich erklärt. Abbildung 1 zeigt, dass der Parameter Volumen beim Mikrofonarray höher und der kritische Wert Schärfe niedriger ist. Beides ist positiv zu bewerten und ist anhand des eingangs erwähnten Beispiels mit der Violine leicht nachvollziehbar. Der Parameter Offenheit blieb unverändert und wird daher hier nicht dargestellt.

Neben Messungen zum auftretenden Schalldruckpegel bei Orchesterkonzerten wurde die Schallabstrahlung der einzelnen Instrumente untersucht. Aufbauend auf Untersuchungen von MEYER [2] wurden im reflexionsarmen Raum des Instituts für Musikinstrumentenbau e.V. (IfM) mehrere Zupf- und Streichinstrumente, sowie Holz- und Blechblasinstrumente in einer Halbkugel (r = 1 m) vermessen. Es wurde deutlich, dass sich bei der Untersuchung spezifischer klangbildender Resonanzen eine stark frequenzabhängige Schallabstrahlung abbildet. Dies zeigt sich verstärkt bei Streich- und Holzblasinstrumenten. Eine naturgetreue Klangabbildung im Nahfeld ist damit nicht möglich.

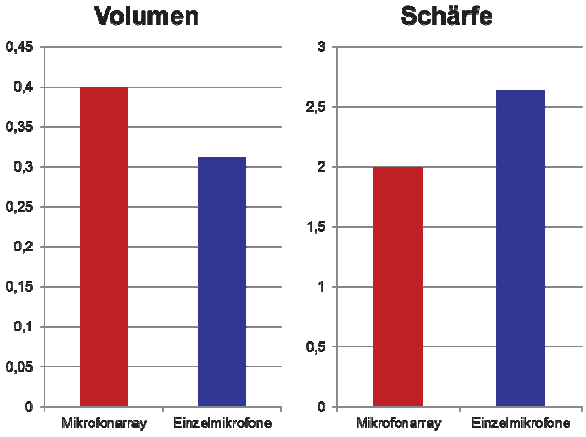


**Abbildung 1:** Ergebnisse der psychoakustischen Analyse der Aufnahmen eines Orchesters zum Vergleich zwischen kleinem Mikrofonarray (MTG KEM 970) und Einzelmikrofonierung

Aus den Untersuchungen konnte außerdem ein optimaler Bereich für die Platzierung eines Mikrofonarrays bzw. einer Stereoanordnung solcher analysiert werden. Dieser befindet sich nicht wie erst vermutet an der Position des Dirigenten, sondern wenige Meter darüber. Dies bringt in Hinblick auf den späteren Einsatz den Vorteil, dass mit der Möglichkeit einer verstellbaren Richtcharakteristik sehr separiert in das Klanggeschehen eingegriffen werden könnte. Außerdem würde das Mikrofonarray so auch aus dem Sicht- und Kamerabild verschwinden.

## Aufbau des Mikrofonarrays

### Anordnung der Mikrofonkapseln

Da nur in der vertikalen Ebene eine stärkere Richtwirkung erzeugt werden soll, werden hier nur linienförmige Mikrofonarrays betrachtet. Als mögliche Anordnungen kommen neben der rein äquidistanten noch logarithmische Anordnungen in Frage. In Anbetracht, dass der minimale Abstand die obere und die Arraylänge die untere Grenzfrequenz der konstanten Richtcharakteristik verantworten, führt eine rein äquidistante Anordnung zu einer sehr hohen Anzahl an Mikrofonkapseln und damit auch

Verarbeitungskanälen. Dies wird bei logarithmischen Anordnungen umgangen indem der Abstand der Kapseln nicht konstant bleibt. Zudem haben logarithmische Arrayanordnungen im Vergleich weniger Nebenkeulen, da es bei äquidistant angeordneten Arrays durch aufeinanderfolgende Schallwellen außerhalb der Hauptkeule zu gleichphasigen Frequenzüberlagerungen kommt, wie VAN DER WAL [3] beschreibt.

Über Simulationen mit der Software EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers) wurden einige logarithmische Mikrofonarrayanordnungen näher untersucht und für praktische Untersuchungen aufgebaut. Abbildung 2 zeigt beispielhaft eine der Orchesterproben der Vogtland-Philharmonie Greiz/Reichenbach, welche für praktische Untersuchungen mit geeigneten Arrayanordnungen mehrkanalig aufgezeichnet wurden.

**Abbildung 2:** Orchesteraufnahmen mittels Versuchsaufbau eines Mikrofonarrays im Neuberinhaus Reichenbach

Der genutzte Saal des Neuberinhauses hat ein Volumen von ca. 3000 m³ und bis zu 650 Sitzplätze. Die Bühne ist zudem mit Reflektoren ausgestattet, die im Falle einer rein akustischen Übertragung Vorteile bringen sollen, aber den Einsatz von Mikrofonen durch zusätzliche Reflektionen erschweren.

## Signalverarbeitung

Wenn man in einem Array die einzelnen Schallwandler ohne weitere Signalverarbeitung summiert, führt dies zu einer stetig stärker werdenden Richtwirkung zu hohen Frequenzen hin. Bei logarithmischen Arrays kommt es dann zusätzlich noch zu mehr Nebenkeulen durch die zu großen Abstände der äußeren Schallwandler. Dies lässt sich nur durch eine sehr genaue Frequenzfilterung der einzelnen Schallwandlersignale realisieren. Entscheidend für eine gleichmäßige Richtcharakteristik ist, dass die aktive Arraylänge im Verhältnis zur Wellenlänge der aufgenommenen Frequenz konstant bleibt.

Die Ausrichtung der Hauptkeule funktioniert mittels Delays in den einzelnen Kanälen, welche die Laufzeitunterschiede zur Bezugsschallquelle ausgleichen. Abbildung 3 zeigt das Prinzip einer Signalverarbeitung für ein Array aus n Mikrofonen, womit zwei Richtkeulen erstellt werden sollen. Um keine Überlagerungsprobleme zwischen den Hauptkeulen zu bekommen, müssen die Laufzeiten am Mittelpunkt der virtuell unterschiedlich gedrehten Mikrofonarrays ausgeglichen werden.

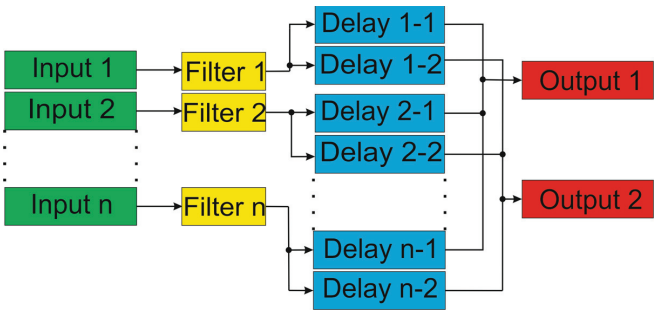


**Abbildung 3:** Signalverarbeitung eines Mikrofonarrays aus n Mikrofonen zur Erzeugung von zwei Hauptkeulen

## Aufbau des Funktionsmusters

Für den Zweck der Orchestermikrofonierung sollte die Richtwirkung nicht zu stark sein, damit für die gesamte Abdeckung der Bühne nicht zu viele Hauptkeulen erzeugt werden müssen, gleichzeitig sollte aber auch ein selektiver Zugriff auf die Instrumentengruppen möglich sein. Nach Betrachtung mehrerer unterschiedlicher Anordnungen wurde sich für weitere Untersuchungen für eine Arrayanordnung aus zwölf Mikrofonkapseln mit Nierencharakteristik entschieden. Wie an dem Funktionsmuster (Abbildung 4) zu sehen ist, sind davon vier äquidistant und alle weiteren anschließend symmetrisch mit steigendem Abstand angeordnet.

**Abbildung 4:** Funktionsmuster eines Mikrofonarrays

Durch den geringen Abstand der mittleren Kapseln sind alle Nebenkeulen unterhalb von 10 kHz mindestens 10 dB schwächer als die Hauptkeule. Auf Grund der Gesamtlänge von 1,2 m erreicht das Array ab ca. 200 Hz eine gute Richtwirkung, sodass ein sehr großer Frequenzbereich mit einer konstanten Hauptkeule aufgenommen werden kann. Abbildung 5 zeigt die simulierten Richtcharakteristiken für die Oktavfrequenzen. Diese wurden zusätzlich messtechnisch im reflexionsarmen Raum überprüft, jedoch wurde dabei nicht mit einer so dichten Winkelauflösung gearbeitet. Die ermittelten Ergebnisse decken sich mit der Simulation.

In der horizontalen Ebene bleibt die Nierencharakteristik der einzelnen Mikrofone erhalten.

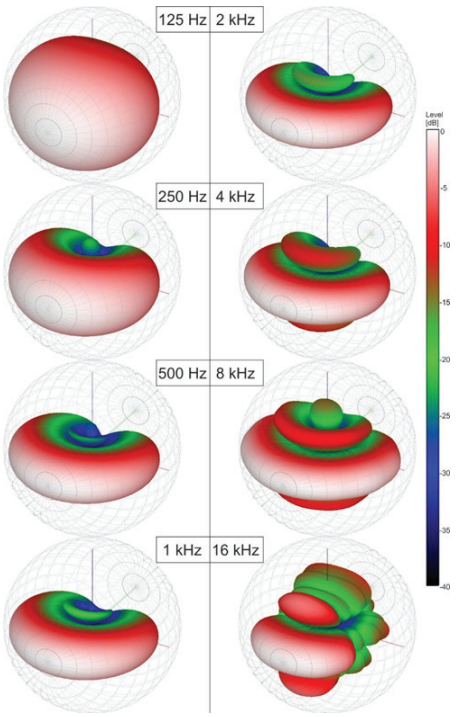


**Abbildung 5:** Ballondiagramme der simulierten Richtcharakteristik des Mikrofonarrays für die Oktavfrequenzen

## Praktische Anwendung

### Untersuchungen mit dem Funktionsmuster

Mit dem Funktionsmuster wurden Aufnahmen der Vogtland-Philharmonie durchgeführt. Die Signale der Mikrofone wurden einzeln aufgezeichnet, sodass die Signalverarbeitung im Nachhinein gestaltet und getestet werden konnte. Zur Bewertung wurden als Referenz parallel Aufnahmen mit zwei Kunstköpfen an unterschiedlichen Sitzpositionen im Saal gemacht. Mit einer psychoakustischen Analyse aller Signale konnte dem Mikrofonarray objektiv ein sehr authentisches Klangbild nachgewiesen werden, gleich dem Kunstkopf mittig im Saal. Entscheidend ist aber letztendlich das subjektive Klangbild, welches mittels Hörtests untersucht wurde. Dazu wurden kurze Ausschnitte aus den Aufnahmen ausgewählt und die Probanden mussten diese nach der Natürlichkeit des Klanges bewerten. Die Auswahl der Probanden war dabei altersmäßig und in Bezug auf ihre musikalische Kenntnis breit gefächert. Im Ergebnis brachte das Mikrofonarray eine um 18% höhere Bewertung in Hinblick auf die Natürlichkeit des Klanges als der Kunstkopf, welcher von allen Referenzaufnahmen am besten beurteilt wurde. Da auch der Anteil des Raumes und der Position die Ergebnisse beeinflusst sollte dies nicht überbewertet werden. Bestätigt ist aber damit grundsätzlich die klangliche Tauglichkeit des Mikrofonarrays.

Ebenfalls über Hörtests wurde die Funktionsweise der Ausrichtung der Hauptkeule untersucht. Dabei wurde von allen Probanden eindeutig erkannt auf welchen Bereich des Orchesters die Hauptkeule fokussiert war. Durch die Ausrichtung auf den vorderen Bereich des Orchesters war es beispielsweise möglich Streich- und Holzblasinstrumente im Gegensatz zu den eigentlich im Raum viel dominanteren Blechblasinstrumenten hervorzuheben. Auf gleiche Weise konnte auch gezielt ein Soloviolinist, welcher vor dem Orchester stand, ausreichend gestützt und so sehr direkt und authentisch aufgenommen werden, ohne zusätzliche Mikrofone einzusetzen. Auch wenn ein Orchester in der Regel ein in sich stimmiges Lautstärkeverhältnis der Instrumente abliefert, kann es doch durch räumliche Gegebenheiten im Zuhörerbereich zu anderen wahrgenommenen Mischungen führen als auf der Bühne. In einem solchen Fall ist die Arbeit mit einer Richtkeule zum Stützen einer ausgewählten Instrumentengruppe hilfreich.

In den meisten Fällen muss jedoch das gesamte Orchester aufgenommen werden und der Tonmeister möchte noch die Möglichkeit des Eingriffes in die Mischung haben. Dazu muss es möglich sein mehrere Hauptkeulen zu erzeugen und mischen zu können. Um dies zu testen wurden die in Abbildung 6 dargestellten Positionen im Orchester ausgewählt und mit einzelnen Richtkeulen fokussiert.

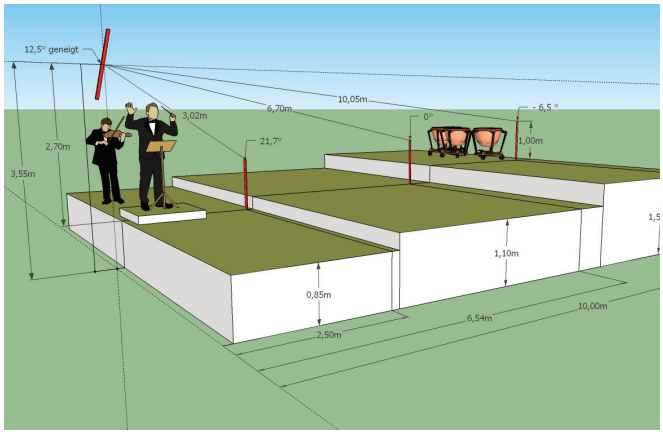


**Abbildung 6:** Fokussierte Positionen im Orchester für Untersuchungen am Funktionsmuster

Die Mischung dieser war daraufhin ohne Einschränkungen möglich. Es wurden keine Phasenprobleme hörbar. Das Klangbild war sehr authentisch und homogen.

### Anwendungsbeispiele

Neben der Mikrofonierung eines Orchesters bringt der Einsatz auch bei anderen Anwendungen Vorteile. Gewissermaßen verwandt damit sind Chöre.

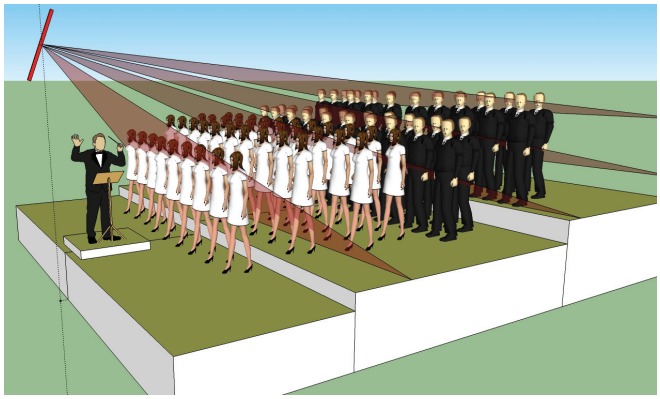

**Abbildung 7:** Anwendung eines Mikrofonarrays bei der Mikrofonierung eines Chores

Bei dafür optimaler Aufstellung könnten so mit mehreren Richtkeulen gezielt die einzelnen Stimmgruppen aufge-

nommen und getrennt weiterverarbeitet werden, wie im Modell (Abbildung 7) zu sehen ist.

Neben musikalischen Aufführungen bietet sich der Einsatz von Mikrofonarrays auch im Theaterbereich an. Durch die sich bewegenden Sprecher wird bisher meistens kabellos und aus optischen Gründen mit Lavaliermikrofonen gearbeitet. Auch wenn dabei eine überschaubare Anzahl an Kanälen vorherrscht, sind durch kabellose Übertragungen und den Verschleiß der Lavaliermikrofone durch Schweiß und Make-up potentielle Fehlerquellen vorhanden. Mittels Mikrofonarray ließe sich mit wenigen Richtkeulen eine komplette Bühne mikrofonieren und entsprechend der auftretenden Sprecherpositionen mischen, wie im Modell (Abbildung 8) dargestellt. Dies würde neben einer guten Klangqualität einen deutlich geringeren Aufwand in der technischen Vorbereitung mit sich bringen.

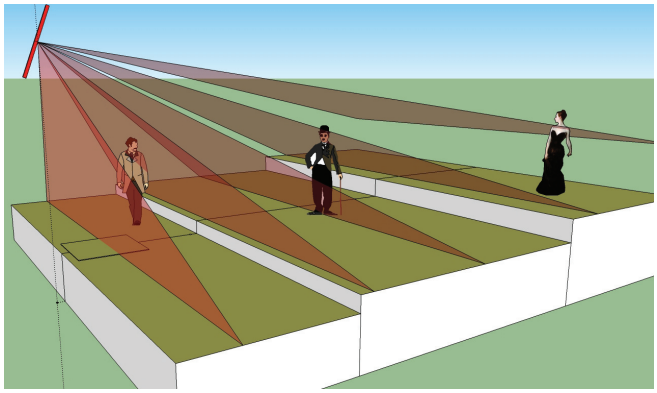

**Abbildung 8:** Anwendung eines Mikrofonarrays zur Mikrofonierung einer Theaterbühne

Besonders interessant erscheint der Einsatz von Mikrofonarrays bei Veranstaltungen in deren Verlauf häufige Wechsel der Darbietungen auftreten. Dabei könnte für jeden Beitrag eine Konfiguration der Richtkeulen reproduzierbar erstellt werden und im Verlauf der Veranstaltung wäre kein weiterer Umbau der Mikrofonierung nötig.

## Schlussfolgerung

Für ein authentisches Klangbild ist auch die Stereoabbildung wichtig. Linienförmige Mikrofonarrays bieten dabei den Vorteil, dass die Richtcharakteristik der einzelnen Kapseln in der horizontalen Ebene erhalten bleibt, dadurch sind alle bekannten Stereoanordnungen aus Mikrofonen mit Nierencharakteristik möglich, außer bauartbedingt eine korrekte XY-Stereofonie.

Neben den akustischen Vorteilen eines solchen Mikrofonarrays, besonders im Kontext der Orchesteranwendung, zeigen sich auch viele Vorteile in der Arbeitsweise. Durch das deutlich geringere Mikrofon- und Kanalaufkommen bei vielen Anwendungen, wird den Tonmeistern und -technikern ein übersichtlicheres Arbeiten ermöglicht, welches außerdem einen geringeren Aufwand bei Auf- und Abbau zur Folge hat. Ein entscheidender Vorteil ist jedoch die Tatsache, dass die komplette Mikrofonierung von der Bühnenfläche entfernt wird. Akteure müssen keine Rücksicht auf Mikrofone nehmen und können diese nicht versehentlich verstellen oder umstoßen. Des Weiteren ist es auch optisch meist erwünscht, dass möglichst wenig Mikrofontechnik auf der Bühne sichtbar ist. Im Gegensatz zu einer klassischen Hauptmikrofonie kann ein Mikrofonarray ein deutlich direkteres Klangbild liefern, da weniger Diffusschall eingefangen wird, gleichzeitig sinkt damit auch die Rückkopplungsneigung mit einer Beschallungsanlage bei richtiger Positionierung.

Ein Nachteil ist jedoch, dass durch den digitalen Signalprozessor, der für die Realisierung der Signalverarbeitung notwendig ist, eine zusätzliche Latenz in den Signalweg gelegt wird. Diese kann jedoch ausreichend gering gestaltet werden.

## Literatur

[1] Ziegenhals, G.: Subjektive und objektive Beurteilung von Musikinstrumenten. Eine Untersuchung anhand von Fallstudien. Dissertation TU Dresden, Studientexte zur Sprachkommunikation Band 51 TUDpress 2010

[2] Meyer, J.: Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Bochinsky, Frankfurt a.M., 1995

[3] Van der Wal, Menno; Start, Evert W.; De Vries, Diemer: Design of Logarithmically Spaced Constant-Directivity Transducer Arrays. Journal of the Audio Engineering Society Vol. 44 (1996), S. 497-507