

# Unterschiedliche Mikrofonanordnungen bei praktischen Arraymessungen

Christian Schulze<sup>1</sup>, Ennes Sarradj<sup>1</sup>, Andreas Zeibig<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, D-01099 Dresden, Deutschland, Email: Christian.Schulze@akustikforschung.de

<sup>2</sup> TU Dresden, Inst. für Akustik und Sprachkomm., D-01062 Dresden, Deutschland, Email: Andreas.Zeibig@ias.et.tu-dresden.de

## Einleitung

Der Einsatz eines Mikrofonarrays mit nachgeschalteter Signalverarbeitung ist ein wirksames Werkzeug zur Ortung von Schallquellen an Objekten. Das Ziel ist die Abbildung der Schallsituation mit hoher Auflösung und Eindeutigkeit der lokalisierten Schallquellen. Das Lokalisationsergebnis hängt neben der Signalverarbeitung [1] besonders von den Eigenschaften des Mikrofonarrays ab. Diese können durch dessen Richtcharakteristik, dem Arraypattern beschrieben werden. Die das Arraypattern beeinflussenden Parameter werden weitestgehend durch den spezifischen Anwendungsfall der Schallquellenlokalisierung und die verwendete Hardware bestimmt. Die Mikrofonanordnung kann als verbleibende Einflussgröße frei gewählt und optimiert werden.

Im Folgenden werden die theoretischen Eigenschaften von drei optimierten Mikrofonanordnungen miteinander verglichen und deren Leistungsfähigkeit anhand von Ergebnissen praktischer Messungen demonstriert.

## Optimierung von Mikrofonarrays

Für die Bewertung und damit den Vergleich verschiedener Mikrofonanordnungen sind zwei Qualitätskriterien entscheidend, die Hauptkeulenbreite (HKB) und der Signal-Rausch-Abstand (SNR).

Die HKB ist ein Maß für die Auflösung der lokalisierten Schallquellen. Sie ist definiert als der Bereich der Hauptkeule des Arraypatterns für den der relative Schalldruckpegel mehr als 3 dB beträgt. Je geringer die Hauptkeulenbreite ist, desto höher ist die Auflösung des Arrays. Der SNR gibt Auskunft über die Stärke der aus der Unterabtastung der einfallenden Schallwelle resultierenden örtlichen Aliasingeffekte. Er ist definiert als die Amplitudendifferenz zwischen der Hauptkeule und der höchsten Nebenkeule des Arraypatterns in einem vorgegebenen Analysebereich. Zu starke örtliche Aliasingeffekte, d.h. ein zu geringer SNR, führen im Lokalisationsergebnis zur Abbildung von nicht existenten Geisterquellen.

Eine Möglichkeit für die Optimierung der Mikrofonanordnung stellt die numerische Synthese dar [2]. Diese Methode basiert auf der Berechnung des Nahfeld-Arraypatterns einer parametrisierten Mikrofonanordnung (vgl. Abb. 3). Die daraus bestimmten, oben beschriebenen Qualitätskriterien werden über eine Kostenfunktion zusammengefasst. Die Minimierung der Kostenfunktion in einem vorgegebenen Frequenzbereich erlaubt schließlich die Ermittlung einer optimierten Mikrofonanordnung. Der Ausgang der Kostenfunktion kann zur

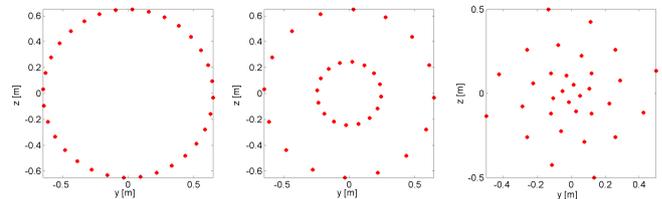


Abbildung 1: Optimierte Mikrofonanordnungen: EG, DG und SG.

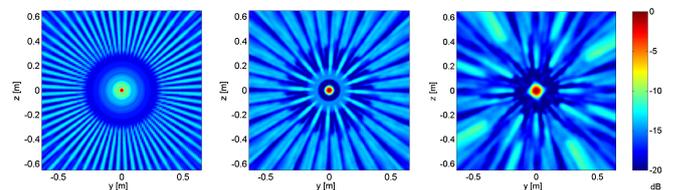


Abbildung 2: Arraypattern der drei optimierten Mikrofonanordnungen für das Oktavband von 8 kHz. Analyseabstand 1,0 m. Von links nach rechts: EG, DG, SG.

Veränderung der parametrisierten Mikrofonanordnung rückgekoppelt werden.

Im Folgenden sollen die Eigenschaften von drei optimierten Mikrofonanordnungen - einer Einkreis- (EG), einer Doppelkreis- (DG) und einer Spiralarmgeometrie - gegenübergestellt werden (s. Abb. 1). Die Mikrofonanordnungen besitzen jeweils eine Mikrofonanzahl von 32 und eine Ausdehnung von 1,3 m bzw. 1,0 m (SG).

Abb. 2 zeigt beispielhaft die Arraypattern der optimierten Mikrofonanordnungen für das Oktavband von 8 kHz. Dabei wurde von einem Analyseabstand von 1,0 m zum Mikrofonarray ausgegangen. Die bestimmten Qualitätskriterien HKB und SNR sind in Abb. 4 für die Oktaven von 1 kHz bis 8 kHz gegenübergestellt. Es ist deut-

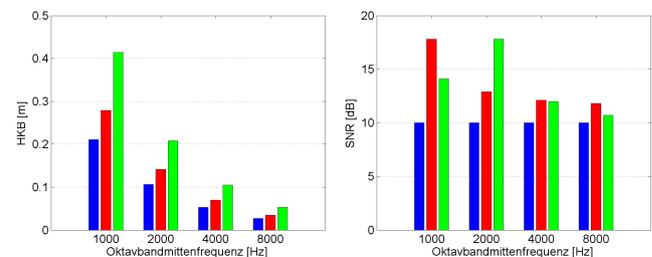
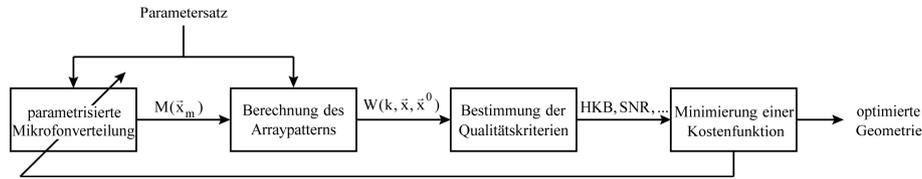


Abbildung 4: Qualitätskriterien HKB und SNR der drei optimierten Mikrofonanordnungen für die Oktaven von 1 kHz bis 8 kHz. Rot: EG, blau: DG, grün: SG.



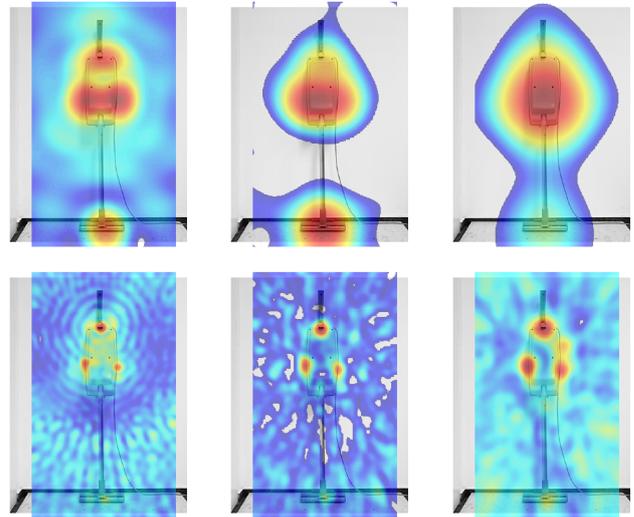
**Abbildung 3:** Prinzip der numerischen Synthese zur Optimierung der Mikrofonanordnung.

lich zu erkennen, dass die HKB für die EG den geringsten Wert annimmt. Die Mikrofonverteilung besitzt damit die beste Auflösung. Die in grün dargestellte, amplitudenstarke erste Nebenkeule im Arraypattern der EG bewirkt jedoch, dass der SNR im gesamten Frequenzbereich maximal 10 dB beträgt. Die DG besitzt gegenüber der EG eine etwas schlechtere Auflösung. Die erste Nebenkeule des Arraypatterns der DG ist in ihrer Amplitude jedoch nicht so stark ausgeprägt wie die des Arraypatterns der EG. Dadurch vergrößert sich der SNR im gesamten Frequenzbereich um mindestens 2 dB. Die SG besitzt die schlechteste Auflösung der drei gegenübergestellten Mikrofonanordnungen. Die HKB ist im gesamten Frequenzbereich etwa doppelt so groß wie die der EG. Dies ist zum Teil durch die geringere Ausdehnung der Mikrofonanordnung von 1,0 m begründet. Das Arraypattern der SG zeigt jedoch einen relativ breiten, dunkelblau abgebildeten Bereich um die Hauptkeule. Daraus resultiert ein im Vergleich zur DG etwa 5 dB größerer SNR im Oktavbereich von 2 kHz.

## Praktische Messungen

Die gegenübergestellten Eigenschaften der drei Mikrofonanordnungen sollen nun anhand von Lokalisationsergebnissen praktischer Messungen bestätigt werden, bei denen das AcoustiCam-Messsystem zum Einsatz kam. Für die nachgeschaltete Signalverarbeitung wurde der reine Nahfeld-Beamforming-Algorithmus angewendet. Die ermittelten Lokalisationsergebnisse zeigen den Schalldruckpegel, der sich bei Fokussierung eines bestimmten Punktes der Abbildungsebene im Mittelpunkt des Mikrofonarrays ergibt.

In Abb. 5 sind die Lokalisationsergebnisse der optimierten Mikrofonanordnungen an einem Staubsauger für die Oktaven von 2 kHz und 8 kHz abgebildet. Im Oktavbereich von 2 kHz können mit der Einkreisgeometrie vier Schallquellen deutlich voneinander getrennt werden. Sie zeigen die Luftansaugöffnung am Fuß des Staubsaugers, die Luftaustrittsöffnungen zu beiden Seiten des Messobjekts und eine, durch die Messung in der Rückwand des Staubsaugers gefundene Gehäuseöffnung. Aufgrund der amplitudenstarken ersten Nebenkeule im Arraypattern der EG ist jedoch ein „Schleier“ von örtlichen Aliasingeffekten um die, im oberen Bereich des Staubsaugers lokalisierten Schallquellen zu erkennen. Im Lokalisationsergebnis der DG sind diese Aliasingeffekte wesentlich schwächer. Die oberen Schallquellen können nicht genau getrennt werden, jedoch ist zu erkennen, dass mehr als eine Schallquelle vorhanden sein muss. Im Ergebnis der SG sind keine örtlichen Aliasingeffekte zu erkennen. Durch



**Abbildung 5:** Lokalisationsergebnisse am Staubsauger. Von links nach rechts: Ergebnisse der EG, DG, SG. Oben: Oktave 2 kHz, Dynamikbereich 10 dB. Unten: Oktave 8 kHz, Dynamikbereich 10,5 dB. Analyseabstand 1,5 m.

die schlechte Auflösung der Geometrie werden die drei oberen Schallquellen des Staubsaugers jedoch als eine einzelne Schallquelle abgebildet. Im Oktavbereich von 8 kHz können die oberen Schallquellen mit allen drei Mikrofonanordnungen getrennt lokalisiert werden. Die Schallquelle an der Luftansaugöffnung ist in diesem Frequenzbereich nicht so stark ausgeprägt und kann ohne zusätzliche Signalverarbeitungsalgorithmen nicht von den örtlichen Aliasingeffekten unterschieden werden. Das Ergebnis der EG zeigt ähnliche Eigenschaften wie im Oktavbereich von 2 kHz. Die DG gewährleistet den größten SNR. Im Ergebnis der SG sind die Aliasingeffekte so stark, dass es zur Ausbildung einer Geisterquelle auf der rechten Seite des Messobjekts kommt.

## Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass sich die theoretischen Eigenschaften optimierter Mikrofonarrays in den Ergebnissen praktischer Messungen wiederfinden lassen.

## Literatur

- [1] E. Sarradj; C. Schulze: Einsatz eines Mikrofonarrays zur Trennung von Quellmechanismen. DAGA 2005, München
- [2] C. Schulze; E. Sarradj; A. Zeibig: Characteristics of microphone arrays. Proc. of InterNoise 2004, Prague