

Untersuchungen zur Lokalisation mit binauralen Aufnahmesystemen

Franz Graf

Joanneum Research
Institut für Angewandte Systemtechnik
Schießstattgasse 14b
A-8010 Graz

Martin Pflüger

AVL List GmbH
Akustik Nutzfahrzeuge
Hans-List-Platz 1
A-8020 Graz

Stefan Bayer

Technische Universität Graz
Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung
Inffeldgasse 12
A-8010 Graz

Gerhard Graber

Technische Universität Graz
Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung
Inffeldgasse 12
A-8010 Graz

1. Einleitung

Den komplexen Vorgang der Lokalisation von Schallquellen löst das menschliche Gehör durch die Auswertung von Laufzeit- und Pegeldifferenzen über den gesamten hörbaren Frequenzbereich. Trotz der Vielzahl an Informationen kann das auditorische System diese über Klassen von Merkmalen analysieren und kombiniert auswerten. Mit dem Ziel, die Lokalisationsfähigkeit und die Natürlichkeit bei der Wiedergabe von binauralen Schallaufzeichnungen im Labor zu verbessern, wurden in den letzten Jahrzehnten unterschiedlichste Kunstkopfsysteme entwickelt. Allen Kunstkopfsystemen ist gemeinsam, dass sie einerseits durch die Nachbildung des Kopfes und der Ohrmuscheln und andererseits durch elektronische Entzerrungen versuchen, die Natürlichkeit und Lokalisationsfähigkeit zu verbessern. Im Rahmen eines gemeinsamen F&E Projektes von Joanneum Research, AVL und der TU Graz wurde ein neues Aufnahmesystem ("SOURCE") entwickelt, das nach dem Prinzip der Trennkörperstereophonie arbeitet. Das System kombiniert die Vorteile eines Kunstkopfsystems (gute Wiedergabequalität) mit denen eines herkömmlichen akustischen Messverfahrens (Kompatibilität, Reproduzierbarkeit, exakte Kalibrierung, Verwendung herkömmlicher Messmikrofone, Kompaktheit).

Da dieses Aufnahmesystem bei Fahrzeug- und Motorgeräuschen bisher eine ausgezeichnete Wiedergabequalität im Labor erreichen konnte, war es Ziel dieser Arbeit, die Lokalisationseigenschaften verschiedener Kunstkopfsysteme mit dem neuen Aufnahmesystem SOURCE zu vergleichen.

2. Methodik, Versuchsablauf

Im Rahmen einer psychoakustischen Versuchsreihe wurde die Lokalisationsfähigkeit bei natürlichem Hören und bei der Wiedergabe von binauralen Aufzeichnungen untersucht. Die Versuche wurden im Tonstudio der TU Graz durchgeführt, wobei 15 Lautsprecher an unterschiedlichen Positionen auf einer Kugeloberfläche mit einem Radius von 1m um die Testperson angeordnet waren (Positionen siehe Abb.1). Als Stimulus diente ein 5s langes Sprachsignal einer Frauenstimme. Zwischen den einzelnen Stimuli gab es eine Pause von 3s, um dem Versuchsleiter das Urteil der lokalisierten

Richtung über eine Gegensprechanlage mitzuteilen. Die Beurteilungen wurden in einer eigens dafür entwickelten Software erfasst und automatisch ausgewertet. Die Versuche sind sowohl bei Lautsprecher- als auch bei Kopfhörerwiedergabe unter gleichen Bedingungen im Versuchsaufbau erfolgt, wobei die aufgebauten Lautsprecher für die Versuchsperson stets sichtbar waren. Als Versuchspersonen (VPn) fungierten insgesamt 16 Studenten und AbsolventInnen der Studienrichtung Elektrotechnik-Toningenieur der TU Graz, die größtenteils Erfahrung mit psychoakustischen Versuchsreihen hatten. Die binauralen Aufzeichnungen wurden mit 3 handelsüblichen Kunstkopfsystemen und mit dem Trennkörpersystem SOURCE durchgeführt und auf DAT aufgezeichnet.

Die Wiedergabe erfolgte bei den Systemen HMSII (HEAD acoustics) und MK1 (Neutrik Cortex Instruments) mit werkseitig mitgelieferten Wiedergabesystemen. Das System 4100 von Brüel&Kjaer wurde durch Filterung des Stimulus mit der inversen Übertragungsfunktion des Systems Kopfhörer-Mikrofon entzerrt und über einen elektrostatischen Kopfhörer HE60&HEV70 wiedergegeben. Die Wiedergabe bei SOURCE ist ebenfalls über HE60&HEV70 erfolgt - jedoch wurde auf jegliche Art der Entzerrung verzichtet.

Versuch 1 – Natürliches Hören:

Das Testsignal wurde den 16 VPn 6 mal über jeden Lautsprecher bzw. aus jeder Richtung mit randomisierter Reihenfolge dargeboten (6 x 15 Richtungen=90 Stimuli pro VP). Der Versuch wurde in 2 Teile mit einer Dauer von je etwa 7 min. und einer dazwischen liegenden Pause unterteilt.

Versuch 2 – Binaurale Aufzeichnungen:

Jeder Versuchsperson wurden 5 Wiederholungen aus jeder Richtung und jedem Aufnahmesystem dargeboten. Pro Aufnahmesystem ergaben sich damit 5 x 15 Richtungen=75 Stimuli für jede VP. Die Bewertung jedes einzelnen Systems wurde an unterschiedlichen Tagen durchgeführt und wieder jeweils in 2 Teile mit einer dazwischen liegenden Pause unterteilt.

3. Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse wurde in Anlehnung an [1] durchgeführt. Unterschieden wurden 3 Arten von Fehlerurteilen: out-of-cone errors, within-cone errors und median-plane errors.

Die Ergebnisse aus Versuch1 – Natürliches Hören sind in Abb.1 dargestellt. Die Abszisse gibt die Position des Stimulus an und die Ordinate die Position der Beurteilung.

Fehler in der Bewertung treten hier vor allem in der Medianebene auf. Besonders häufig wurden die Richtungen oben, hinten-oben und vorne-unten falsch beurteilt. Die Lokalisationsfähigkeit bei frontaler Beschallung ist ähnlich wie in [1] sehr gut.

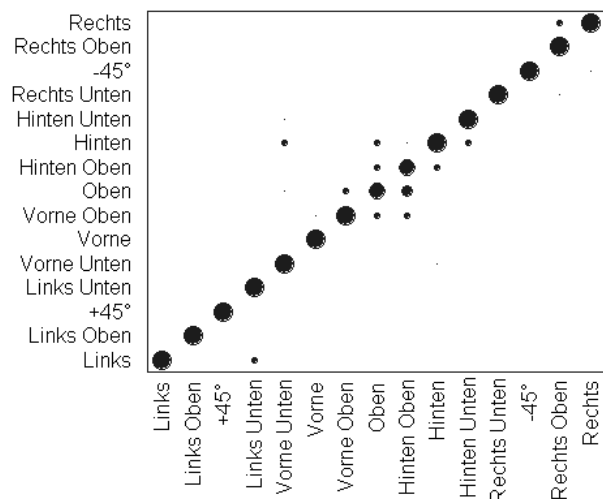


Abb.1 Natürliches Hören

Die Auswertung der Beurteilungen wurde in gleicher Art und Weise wie in Versuch 1 durchgeführt. In Abb. 2 sind die out-of-cone errors dargestellt. Man erkennt, dass die Fehlerurteile sowohl bei den Kunstkopfsystemen als auch beim Trennkörpersystem SOURCE im Bereich zwischen etwa 2% und 3% liegen und in etwa mit den Ergebnissen aus [1] übereinstimmen.

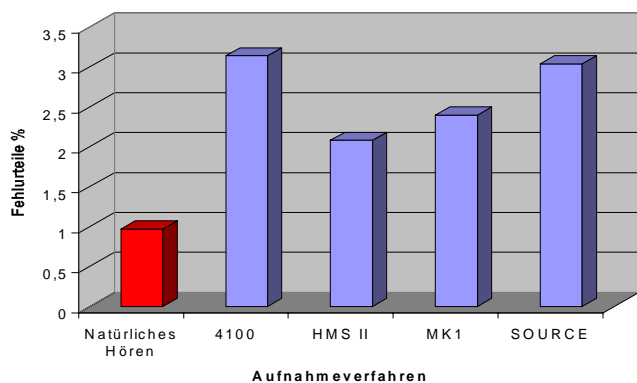


Abb. 2 Out-of-cone errors

Ein deutlicher Unterschied in den Beurteilungen ist in Abb.3 in der Fehlerart "within-cone errors" erkennbar. Wie erwartet sind die Fehlerurteile beim System SOURCE deutlich höher. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beim Trennkörpersystem die Mikrofone völlig frei liegen und auf die Nachbildung der Ohrmuscheln verzichtet wird.

Abb. 4 zeigt die Fehler der Aufnahmesysteme bei der Lokalisation von Stimuli aus der Medianebene. Diese heben sich bei allen Aufnahmeverfahren deutlich von den Fehlerurteilen bei natürlichem Hören ab. Dabei liegt das Aufnahmeverfahren SOURCE bezüglich der Fehlerrate wiederum im gleichen Bereich wie jene der handelsüblichen Kunstkopfsysteme.

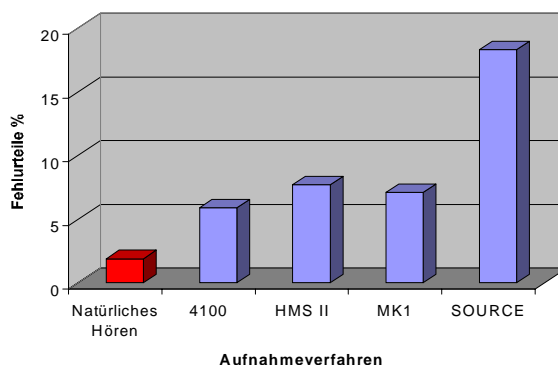


Abb. 3 Within-cone errors

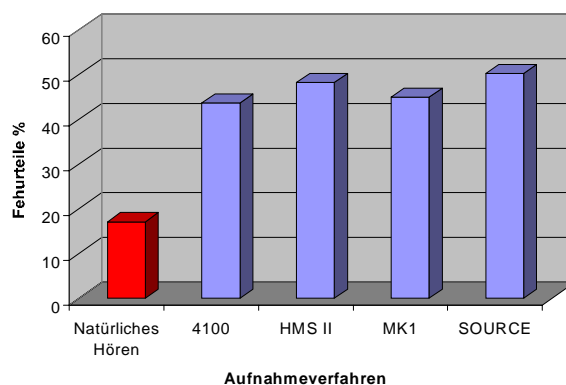


Abb. 4 Median-plane errors

4. Conclusio

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Lokalisationsfehler bei der Wiedergabe von Aufnahmen des Trennkörpersystems SOURCE in gleichen Bereichen wie jene der Kunstkopfsysteme liegen. Lediglich die "within-cone errors" unterscheiden sich deutlich von denen der Kunstkopfsysteme. Deshalb wird in Zukunft besonderes Augenmerk auch auf die Weiterentwicklung der Lokalisationseigenschaften dieses einfachen Trennkörpersystems gelegt werden, zumal bereits ausgezeichnete Erfahrungen mit der klangtreuen Wiedergabe von Fahrzeuggeräuschen gemacht wurden.

Die Autoren danken den Firmen Brüel&Kjaer und Neutrik Cortex Instruments sowie dem Institut für elektronische Musik und Akustik der KU Graz und dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen der TU Graz für das zur Verfügung stellen von Kunstkopfsystemen und zusätzlichem Audio-Equipment.

Literatur

- [1] Moller H., Hammershoi D., Jensen C., Sorensen M.: „Evaluation of Artificial Heads in Listening Tests“, J. Audio Eng. Soc., Vol. 47, No. 3, 1999
- [2] Graf F., Pflüger M., Graber G., Röpke P.: "Aufnahmesysteme für psychoakustische Analysen-Vergleich Kunstkopf vs. Alternativkonzepte", Fortschritte der Akustik; DAGA 2000