

# Aufnahmesysteme für psychoakustische Analysen – Vergleich Kunstkopf vs. Alternativkonzepte

**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

**Peter Röpke**

VOLKSWAGEN AG  
Aggregate Akustik Schwingungen  
Brieffach 1768  
D-38436 Wolfsburg

**Gerhard Graber**

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

## 1. Einleitung

Die Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen über Kopfhörer entspricht oft nicht den Erwartungen einer originalgetreuen Abbildung von Fahrzeuggeräuschen. Die Aufzeichnungen werden oft als unnatürlich oder nicht realitätsnah beurteilt.

Es wurde ein Aufnahmesystem nach dem Prinzip der Trennkörper-Stereofonie entwickelt, das aus möglichst einfachen Komponenten bestehen und dabei das Schallfeld möglichst exakt erfassen soll. Um eine möglichst originalgetreue und realitätsnahe Wiedergabe zu erreichen, werden in der Trennkörper-Stereofonie die für das räumliche Hören notwendigen Pegel- und Laufzeitunterschiede zwischen den im natürlichen Ohrabstand angebrachten Mikrofonen durch die Abschattung eines Trennkörpers hervorgerufen.

Allen Verfahren ist gemeinsam, dass die Abmessungen des Trennkörpers in der Größenordnung des menschlichen Kopfes liegen und die Mikrofonkapseln einen Abstand aufweisen, der in etwa dem Ohrabstand entspricht. Die so hervorgerufenen stereofonen Signalunterschiede sind ähnlich den interauralen Signalunterschieden des Kunstkopfes. Trennkörperstereofone Verfahren hingegen versuchen allein durch Beugungs- und Reflexionserscheinungen die Räumlichkeit und somit die Natürlichkeit einer Aufzeichnung nachzubilden.

## 2. Entwicklung von Alternativkonzepten mit Trennkörpern

Im Gegensatz zu bestehenden trennkörperstereofonen Aufnahmesystemen, die hauptsächlich zur Aufzeichnung von Musik dienen, galt es hier, die Systeme für technische Geräusche zu optimieren, so dass die Vorteile eines Kunstkopfsystems (gute Wiedergabequalität) und die eines herkömmlichen akustischen Messverfahrens (Kompatibilität, Reproduzierbarkeit, exakte Kalibrierung, Verwendung herkömmlicher Messmikrofone, Kompaktheit) vereint werden. Die hier vorgestellte Entwicklung wurde als gemeinsames F&E-Projekt von JOANNEUM RESEARCH, der Fa. AVL und der TU Graz durchgeführt. Während der Entwicklungen wurden unterschiedliche Modelle von Trennkörpern in einem FE-Softwarepaket generiert und mit geeigneten Vernetzungsalgorithmen diskretisiert. Abbildung 1 zeigt das vernetzte Modell eines keilförmigen Trennkörpers.

Mit Hilfe der Boundary-Element-Methode konnten umfassende akustische Simulationen durchgeführt werden, die bereits im Vorfeld Aussagen über das akustische Verhalten möglicher Prototypen zugelassen haben.

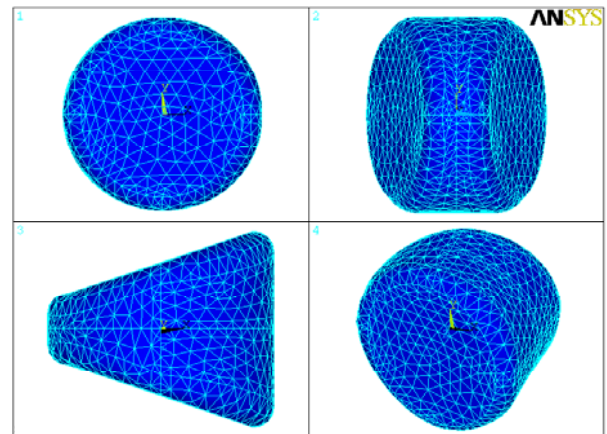


Abb. 1: Diskretisiertes Modell eines Trennkörper-Prototypen [2]

Um die Ergebnisse der Simulation zu verifizieren, wurde nach der Fertigung von 12 unterschiedlichen Prototypen die TDS-Methode zur akustischen Vermessung der Systeme angewendet.

## 3. Subjektive Bewertungen in Versuchsreihen

Um die Qualität der Aufzeichnungen der neu entwickelten Systeme mit Kunstkopfsystemen zu vergleichen, wurden drei Versuchsreihen durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 12 dieser Prototypen, 4 kommerziell verfügbare Kunstkopfsysteme und ein Kugelflächenmikrofon subjektiv bewertet.

### Versuchsreihe 1:

In der ersten Versuchsreihe wurden 21 Testpersonen aufgefordert, die Originaltreue der Aufzeichnungen eines Fahrzeuginnengeräusches im AVL-Psychoakustik-Labor durch eine absolute Größenschätzung zu bewerten. Die Wiedergabe der Aufnahmen erfolgte über Kopfhörer mit zusätzlicher Anregung über ein Subwoofer-System.

Abbildung 2 zeigt einige Ergebnisse dieses Versuchs für PKW-Innengeräusche für die Betriebszustände 5. Gang / 130km/h und 2. Gang / Vollastbeschleunigung-Schubetrieb. Auf der Ordinate sind die Medianwerte der subjektiven Bewertungen inklusive der Standardabweichungen aufgetragen. Die Prototypen AS1 bis AS5 wurden von den Testpersonen bezüglich der Abbildung der Originaltreue besser bewertet als die Kunstkopfsysteme KK1 bis KK3.

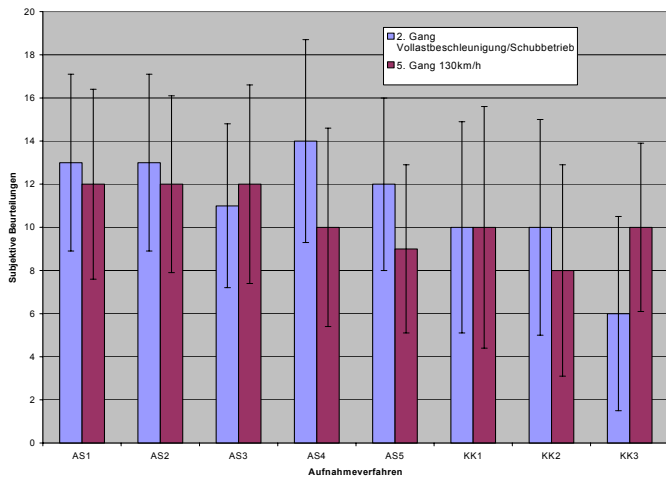


Abb. 2: Mittlere subjektive Bewertungen der Wiedergabequalität [2]

Angesichts der Tatsache, dass den Versuchspersonen (Vpn) die Situation im Fahrzeug nicht bekannt war, ist eine gewisse Unsicherheit in den subjektiven Bewertungen möglich. Um diese Unsicherheit zu verringern, wurde die zweite Versuchsreihe durchgeführt.

### Versuchsreihe 2:

In dieser Versuchsreihe wurde ein PKW auf dem AVL-Akustik-Rollenprüfstand betrieben, um es 9 Testpersonen zu ermöglichen, die Originalsituation im Fahrzeug zu erleben und sich das Innengeräusch für einen bestimmten Betriebszustand einzuprägen. In einem Nebenraum war die Wiedergabeeinrichtung – ohne zusätzlichen Subwoofer – aufgebaut, so dass durch die räumliche und zeitliche Nähe (ca. 30s) die Wahrscheinlichkeit, das Geräusch im Gedächtnis zu behalten, wesentlich erhöht worden war.

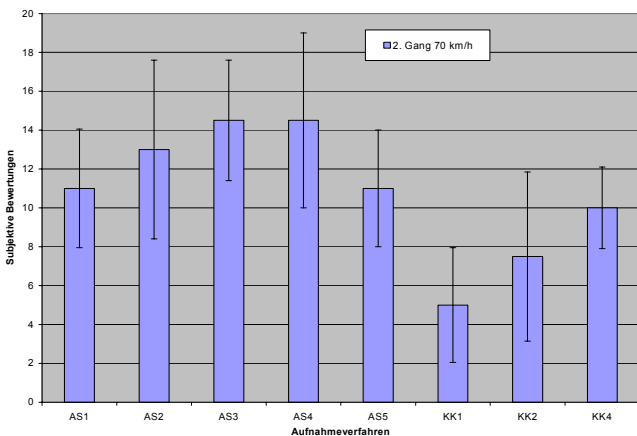


Abb. 3: Mittlere subjektive Bewertungen der Wiedergabequalität

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, wurden die Ergebnisse des ersten Versuchs insofern bestätigt, dass die neu entwickelten Prototypen bezüglich der Abbildung der Originalsituation deutlich besser beurteilt wurden.

### Versuchsreihe 3:

Diese von der VOLKSWAGEN AG in Auftrag gegebene Versuchsreihe sollte verschiedene binaurale Aufnahmesysteme bezüglich der Realitätsnähe der wiedergegebenen Aufzeichnungen vergleichen und als Entscheidungsgrundlage für die Ausstattung neu einzurichtender Motorprüfstände dienen.

Auf einem Motorprüfstand wurde dazu ein TDI-Motor bei Vollast (stationär 1030 U/min) und gleichmäßigem Hochlauf (900 – 4900 U/min) betrieben. Nach der Aufzeichnung der Motorgeräusche mit 3 Aufnahmesystemen (Kunstkopf HEAD HMS II, Kugelflächenmikrofon Schoeps KFM 6,

Trennkörper-Stereofonie System) wurden insgesamt 12 Versuchspersonen gebeten, sich das Originalgeräusch des Motors einzuprägen. Jeder Betriebszustand wurde zuerst im Original gehört und anschließend in einem Paarvergleich bewertet. Zur Wiedergabe war im Nebenraum ein HEAD-Abhörsystem aufgebaut, um die Aufzeichnungen bezüglich ihrer Realitätsnähe mit dem Originalgeräusch zu vergleichen. Lediglich bei einer Vpn wurde eine zirkuläre Triade der Urteile bzgl. der Hochläufe gefunden. Die Bewertungen dieser Vpn sind zur Auswertung nicht herangezogen worden, so dass jedes Aufnahmesystem maximal 22 mal pro Betriebszustand präferiert werden konnte. Der Versuch selbst wurde von der Rücker GmbH (Herrn Eichenlaub) geleitet und ausgewertet.

Im instationären Betriebszustand (Hochlauf) wurden folgende Präferenzen ermittelt:

Aufnahmesystem	Präferenzen (max. 22 je System)
Trennkörper-System	18 $\triangleq$ 81,8%
HEAD HMS II	8 $\triangleq$ 36,4%
Schoeps KFM 6	7 $\triangleq$ 31,8%

Im stationären Betrieb des Motors konnten folgende Präferenzen ermittelt werden:

Aufnahmesystem	Präferenzen (max. 22 je System)
Trennkörper-System	16 $\triangleq$ 72,7%
HEAD HMS II	12 $\triangleq$ 54,6%
Schoeps KFM 6	5 $\triangleq$ 22,7%

In der Situation auf dem Motorprüfstand hat sich in diesem Versuch das Trennkörper-System ohne jegliche Entzerrung bezüglich der subjektiv bewerteten Realitätsnähe gegenüber den anderen Aufnahmesystemen als überlegen herausgestellt.

### 4. Conclusio

- Die Ergebnisse der drei vorgestellten psychoakustischen Versuchsreihen zeigen bezüglich ihrer Wiedergabequalität deutlich bessere subjektive Beurteilungen der neu entwickelten Systeme gegenüber den herkömmlichen Kunstkopfsystemen. Die 4 untersuchten Kunstkopfsysteme bzw. das Kugelflächenmikrofon stellen somit nicht die optimale Lösung für die Aufzeichnung von Fahrzeug- und Motorgeräuschen dar. Dennoch sind weitere Versuchsreihen notwendig, um diese ersten Ergebnisse zu bestätigen und die vorhandenen Prototypen weiterzuentwickeln.
- Die Vorteile der neu entwickelten Systeme liegen vor allem in der Verwendung von herkömmlichen Messmikrofonen, der einfachen Kalibrierung des gesamten Aufnahmesystems, der einfachen mathematischen Beschreibbarkeit der Trennkörper und der einfachen Bedienung.
- Um in Zukunft binaurale Aufzeichnungen vergleichen zu können, ist es notwendig, einen allgemeinen Standard für kopfbezogene Aufnahmen zu definieren.

### 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.: “Entwicklung eines Aufnahmesystems für psychoakustische Analysen”, Diplomarbeit TU Graz 1999
- [3] Graber G., Graf F., Gaggl W.: “Hörvergleich von alternativen binauralen Aufnahmesystemen mit Kunstkopfsystemen”, Vortrag DAGA 2000, Oldenburg