

Birgit Rathbone, Markus Fruhmann, Gerhard Spikofski, Philip Mackensen,  
Günther Theile (Institut für Rundfunktechnik)

## **Untersuchungen zur Optimierung des BRS-Verfahrens (Binaural Room Scanning)**

### ***Investigations on Optimizations of the BRS-System (Binaural Room Scanning)***

#### **Einleitung**

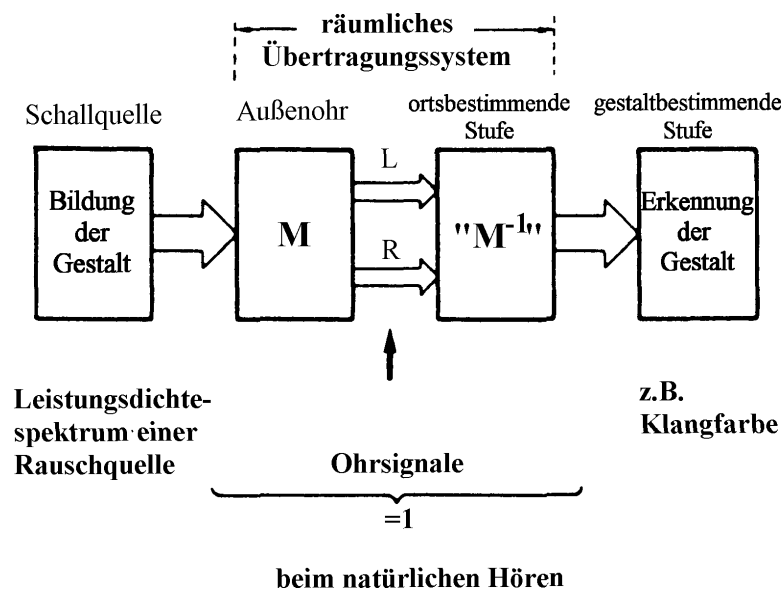
Das BRS-Verfahren (Binaural Room Scanning) [9] basiert auf der Abtastung und virtuellen Darstellung realer Abhöräume mit Hilfe eines Kunstkopfes bzw. entsprechender binauraler Aussenohrübertragungsfunktionen [HRTF (Head Related Transfer Function)]. Im BRS-Prozessor werden die zu synthetisierenden Signale, z. B. linker Lautsprecher, dadurch erzeugt, dass das Quellsignal mit dem entsprechenden HRTF-Paar gefaltet wird. Die für Kopfhörer berechneten Ausgangssignale des Prozessors sind mit den Kunstkopfsignalen identisch, die z. B. an der Referenzabhörposition aufgenommen werden. Das bedeutet, unter Bezug auf eine geeignete Schnittstellendefinition Kunstkopf/Kopfhörer liefert der Kunstkopf genau wie der virtuelle Kunstkopf, der BRS-Prozessor, dieselben Hörereignisse wie im originalen Schallfeld. Allerdings können bei dieser statischen Abtastung der Abhörposition kunstkopftypische Vorne/Hinten-Inversionen auftreten. Zur Eliminierung dieses störenden Wahrnehmungsmerkmals wurde die spontane Kopfbewegung einbezogen. Die Realisierung der Kopfbewegung erfolgt mit Hilfe eines Headtracking-System, das die horizontalen Kopfbewegungen des Hörers an den BRS-Prozessor überträgt. Für die dynamische Zuordnung der den Kopfbewegungen entsprechenden HRTF enthält der Datenspeicher des BRS-Prozessors, zusätzlich zu den entsprechenden Standardrichtungen, die eingescannten HRTF der vorderen Horizontalebene in einem Bereich von  $\pm 42^\circ$ , mit einer Auflösung von  $6^\circ$ . Durch die dynamische Zuweisung der HRTF in Abhängigkeit von der Kopfbewegung des Hörers können Vorne/Hinten-Inversionen effektiv vermieden werden [1]. Mit Hilfe des BRS-Prozessors gelingt es so, reale Abhörpositionen virtuell zu "klonen".

Dementsprechend ist der BRS-Prozessor prinzipiell ein - durch Einbeziehung der spontanen Kopfbewegung - in Bezug auf die Vorne-Lokalisation optimiertes Kunstkopfsystem. Daraus folgt, dass der Definition der Schnittstelle Kunstkopf/Kopfhörer bzw. BRS-Prozessor/Kopfhörer eine zentrale Bedeutung zukommt. Das elementare Problem bei der Kunstkopftechnik ist, neben den für das räumliche Hören relevanten, interauralen Beziehungen die monauralen HRTF mit

Hilfe des Systems Kunstkopf/Kopfhörer korrekt zu übertragen. Das beinhaltet eine Anpassung beider Systemkomponenten durch geeignete Entzerrungen.

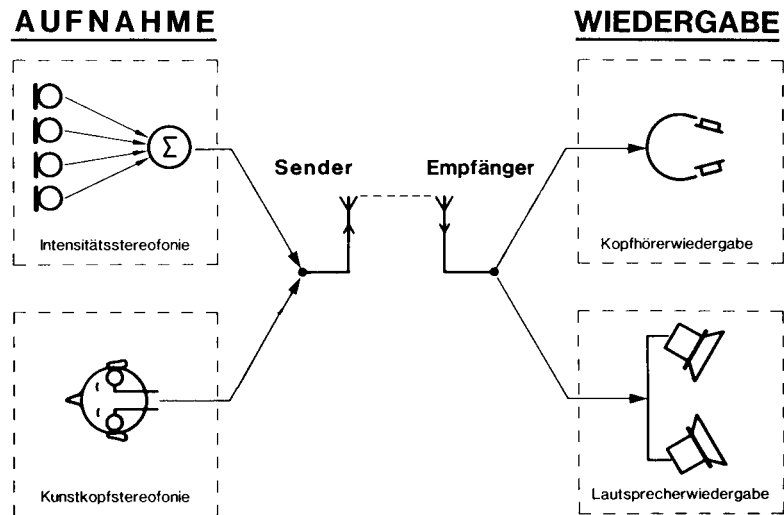
### Prinzip der Kunstkopftechnik

Die Lösung dieses Problems liefert das von THEILE [6] vorgeschlagene Gehörmodell (Abb. 1). Danach arbeitet das Gehör prinzipiell auf der Basis assoziativer Mustererkennung. Im Detail erfolgt der Verarbeitungsprozess des Gehörs zweidimensional. In der ersten Stufe, der s. g. Ortsassoziationsstufe, wird die, vom Schallquellenort abhängige, Signalfilterung durch das Aussenohr zur Dekodierung des Schallquellenortes ausgewertet. In der zweiten Stufe erfolgt dann in der s. g. Gestaltassoziationstufe die Dekodierung der anderen Schallquellenmerkmale, z. B. der Klangfarbe.



**Abb. 1:** Gehörmodell nach Theile (aus [6])

Die Konsequenzen, die sich aus diesem Modell unter Einbeziehung der Kompatibilitätsforderung ergeben, sind, dass die Wiedergabe von Kunstkopfsignalen über Lautsprecher und die Wiedergabe von Stereosignalen über Kopfhörer (Abb. 2), nur dann verfärbungsfrei ist, wenn keine richtungsspezifische sondern eine richtungsneutrale Anpassung der Schnittstelle Kunstkopf/Kopfhörer gewählt wird. Technisch ausgedrückt lautet diese Forderung, sowohl der Kunstkopf als auch der Kopfhörer müssen ein frequenzunabhängiges Diffusfeldübertragungsmaß aufweisen. Für die Übertragungstrecke Kunstkopf/Kopfhörer garantiert diese Anpassung die korrekte Reproduktion der HRTF.



**Abb. 2:** Kompatibilitätsproblem (aus [6])

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Prinzipien der Kunstkopftechnik sind die Konstruktionsmerkmale eines Kunstkopfsystems weitgehend festgelegt. Der Kunstkopf besteht aus einer Nachbildung eines menschlichen Kopfes einschließlich der Ohrmuscheln, wobei eine Abstraktion der Formen zulässig ist, solange die natürlichen Proportionen erhalten bleiben. Bei der Nachbildung der relativ komplizierten Ohrmuschelform bedienen sich die Konstrukteure in der Regel des Abdruckes eines menschlichen Ohres. Der Ohrmuschelform kommt auch insofern eine besondere Bedeutung zu, als sie individuell sehr unterschiedlich ist und so die HRTF entscheidend beeinflusst. In der Regel werden hier die an einer ausreichenden Anzahl von Probanden für eine Bezugsrichtung gemessenen HRTF zu Grunde gelegt. Daraus wird mit Hilfe unterschiedlicher Mittelungsverfahren eine mittlere HRTF berechnet und als Bezugsohr dann das menschliche Ohr ausgewählt und abgossen, das der mittleren HRTF am ähnlichsten ist.

Damit aus dem Kunstkopf ein Kunstkopfmikrofon wird, werden im Inneren hochwertige Mikrofone integriert, so dass die Schallaufnahme mindestens 3mm innerhalb des Ohrkanals liegt.

Die Messung im diffusen Schallfeld gestattet es, die Filterparameter (elektrisch / akustisch) für ein ebenes Diffusfeld-Übertragungsmaß zu berechnen, so dass die optimale Anpassung zwischen Kunstkopf und Kopfhörer gewährleistet ist.

In Bezug auf den Kopfhörer sei zunächst betont, dass kein spezieller Kopfhörer benötigt wird sondern jeder qualitativ hochwertige Kopfhörer unabhängig von Wandlerprinzip und Bauform geeignet ist .

Um die Anpassung an den diffusfeldentzerrten Kunstkopf zu gewährleisten, muss auch der Kopfhörer diffusfeldentzerrt werden. Das heisst in diesem Zusammenhang, dass der Kopfhörer

die Funktion des Aussenohres im diffusen Schallfeld ersetzen muss, da die natürliche Aussenohrfunktion durch das Aufsetzen des Kopfhörers unwirksam wird. Da sich die Aussenohrübertragungsfunktionen bzw. HRFT individuell stark unterscheiden, muss auch hier prinzipiell an einer genügend großen Anzahl von Probanden gemessen und gemittelt werden. Da kein Kuppler bekannt ist, mit dem diese Messungen durchgeführt werden können, müssen Messungen an Probanden im diffusen Schallfeld durchgeführt werden. Dazu sind prinzipiell Lautstärke- oder Schallpegelvergleiche zwischen Lautsprecher- und Kopfhörerbeschallung im diffusen Bezugsschallfeld erforderlich.

Es sei hier nur auf die international standardisierte Schallpegelvergleichsmessung mit Hilfe eines Sondenmikrofons eingegangen [10]. Die Messung funktioniert prinzipiell so, daß ein kleines Sondenmikrofon im Ohrkanal des Probanden fixiert wird und die Schallpegel jeweils bei Lautsprecher- und Kopfhörerbeschallung gemessen werden. Der Proband setzt entsprechend den gemessenen Kopfhörer auf und ab. Die Messung erfolgt in Terzbändern, wobei für jede Terz des Messfrequenzbereiches die Differenzpegel zwischen Lautsprecher und Kopfhörer für die Berechnung des individuellen Diffusfeld-Übertragungsmaßes berechnet werden. Entsprechend [10] müssen Studiokopfhörer an 16 Probanden gemessen und aus den individuellen Meßergebnissen durch Mittelwertbildung das Diffusfeldübertragungsmaß des Kopfhörers bestimmt werden. Diese Kurve stellt die inverse Filterkurve zur Realisierung des ebenen Diffusfeldübertragungsmaßes dar, die die optimale Anpassung an den diffusfeldentzerrten Kunstkopf gewährleistet.

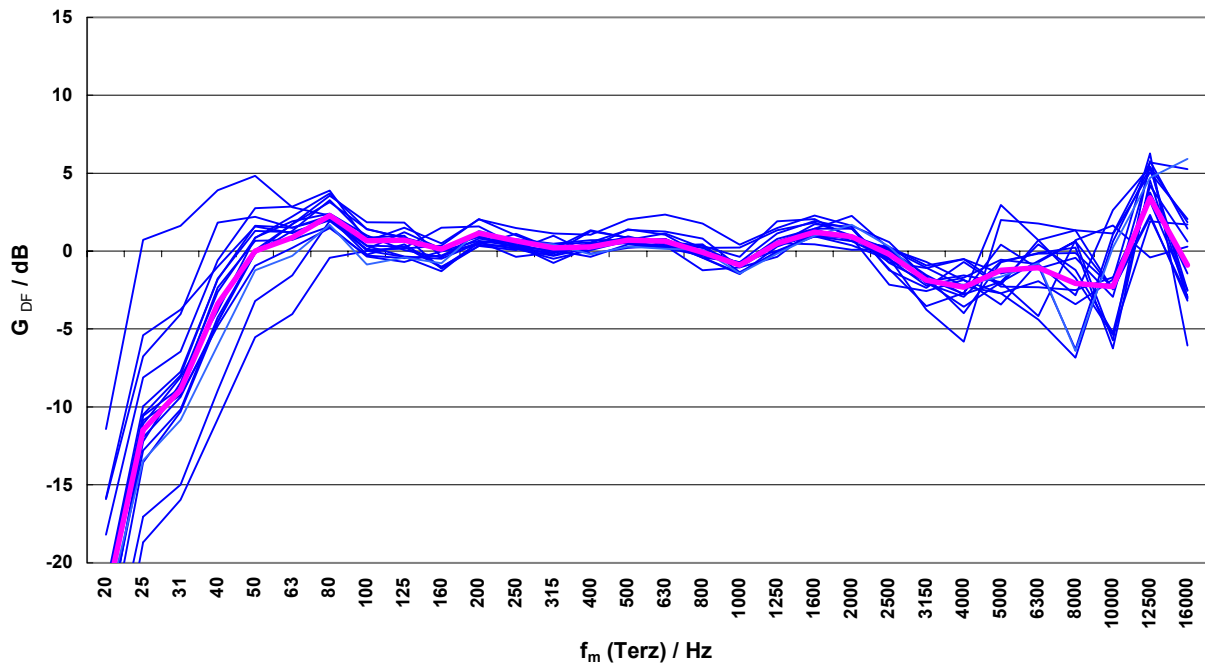
## **Problemstellung**

Die Entwicklung des BRS-Prozessors sowie die begleitenden Untersuchungen [1, 2, 8, 9] basieren auf den Systemkomponenten Kunstkopf KU100 (Neumann) und Kopfhörer SR Lambda Pro/SRM Monitor mit Diffusfeldentzerrer [STAX]. Für beide Systemkomponenten wurden eigene Messungen zur Kontrolle der Diffusfeldanpassung entsprechend [10] durchgeführt. Die entsprechenden Messergebnisse sind in Abb. 3 und Abb. 5 dargestellt.

Das Hörereignis bei der so optimierten Kunstkopf/Kopfhörer bzw. BRS-Prozessor/Kopfhörer-Kombination ist gekennzeichnet durch authentisches räumliches Hören. Im Fall der Simulation von Abhörsituationen bedeutet das, dass die Entfernung und Richtung der virtuellen Lautsprecher und die über die virtuellen Lautsprecher reproduzierten Aufnahmen nicht von der realen eingescannten Abhörsituation zu unterscheiden sind.

Trotzdem berichten vereinzelte Hörer im Zusammenhang mit dem BRS-Prozessor von einer Elevation, also einer vertikalen Erhöhung, des Hörereignisses sowie von Klangverfärbungen.

Über diese Beobachtungen wird insbesondere beim direkten Vergleich zwischen realer und virtueller Situation berichtet.



**Abb. 3:** Diffusfeldübertragungsmaße Stax Lambda Pro und SRM mit Diffusfeldentzerrung (Mittelwert und 16 individuelle Übertragungsmasse)

Da die Einführung eines weiteren Kopfbewegungsfreiheitsgrades („Kopfnicken“) diesbezüglich nicht zu einer signifikanten Verbesserungen geführt hat [2], werden als mögliche Ursachen für derartige Effekte die geometrischen Abmessungen des verwendeten Kunstkopfes, insbesondere der Ohrmuscheln, und die individuellen Abweichungen vom mittleren Diffusfeldübertragungsmaß des verwendeten Kopfhörers angesehen.

## Akustische Messungen

In der vorliegenden Studie zur Optimierung des BRS-Systems werden deshalb unterschiedliche, aus der akustischen Forschung und Messpraxis bekannte Kunstkopfsysteme gemessen und in psychoakustischen Experimenten vergleichend beurteilt.

Im einzelnen wurden die folgenden Kunstkopfsysteme untersucht (Abb. 4), die nachfolgend anonym mit K1 - K6 bezeichnet werden.

- HMS III [HEAD acoustics]
- HUGO [Institut für Technische Akustik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen]
- MANIKIN MK1 [Neutrik-Cortex Instruments]

- KU 81 [Neumann]
- KU 100 [Neumann]
- KU 100 [Neumann] mit Torso des MK 1 [Cortex-Neutrik Instruments]



HMS III.0 (HEAD)



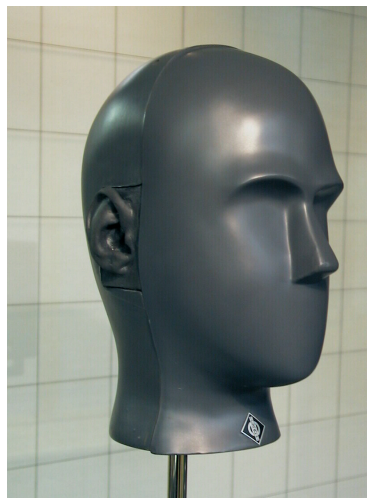
KU100 (Neumann)



HUGO (Technische Hochschule Aachen)



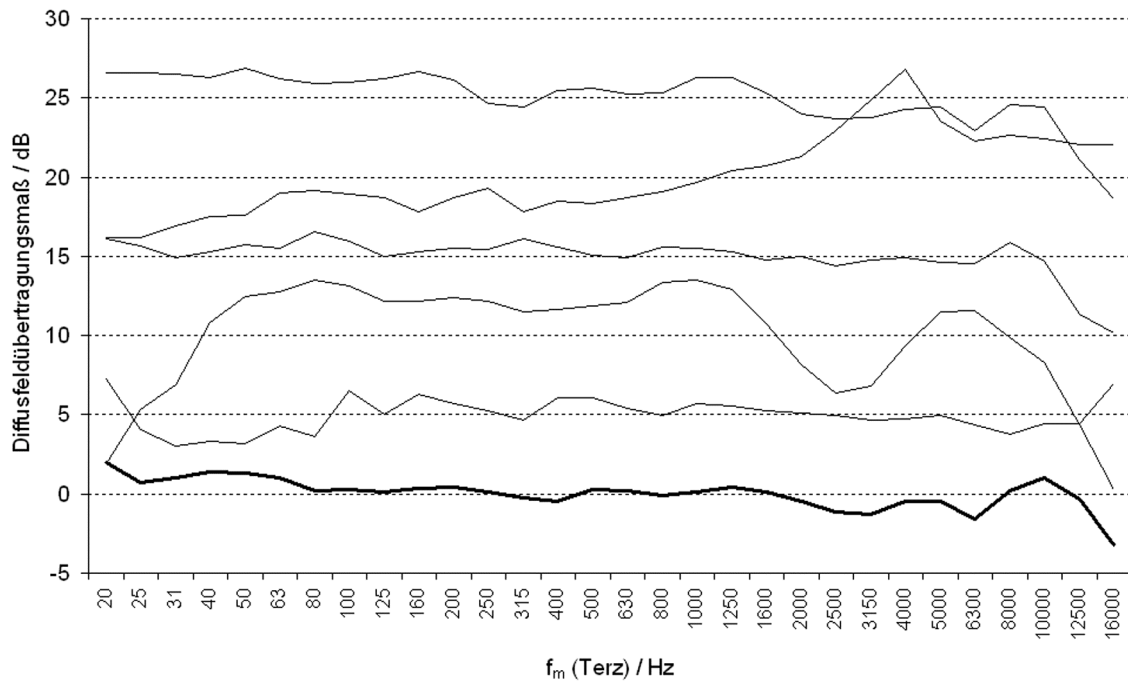
Manikin MK1 (Neutrik-Cortex)



KU81 (Neumann)

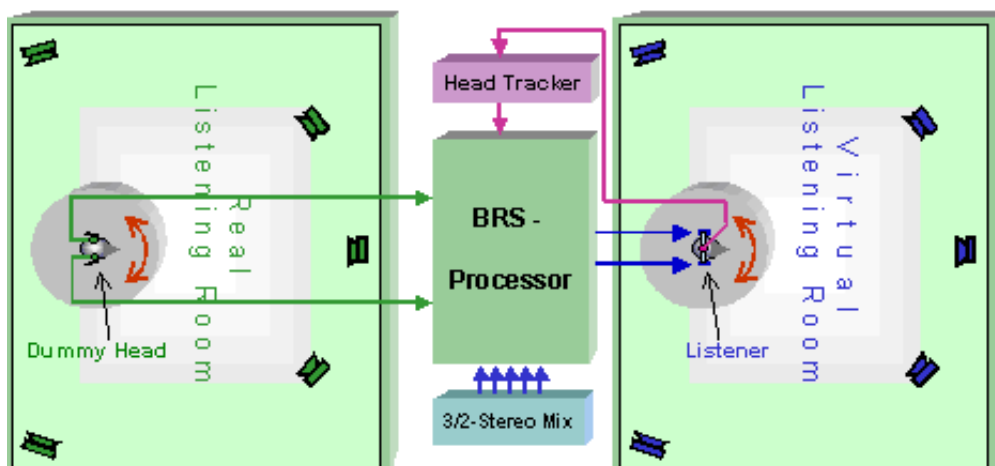
**Abb. 4:** Kunstkopfsysteme

Die Diffusfeldübertragungsmaße der gemessenen Kunstköpfe sind in Abb. 5 dargestellt. Mit Hilfe der dargestellten Kurven werden die Kunstköpfe, falls erforderlich, individuell mit Hilfe des BRS-Prozessors digital entzerrt, so dass die resultierenden Diffusfeldübertragungsmaße im Bereich 50 - 12000Hz eine Toleranz weniger als  $\pm 1.5$  dB aufweisen.



**Abb. 5:** Diffusfeldübertragungsmaße der untersuchten Kunstkopfsysteme (jeweils um 5 dB versetzt, KU 100 fettgedruckt)

Zusätzlich zur Bestimmung der Diffusfeldübertragungsmaße wird die Abhörsituation entsprechend der in der psychoakustischen Beurteilung gewählten Konfiguration für jeden Kunstkopf individuell eingescannt. Die Messungen und Experimente fanden im Studio des IRT statt, das die entsprechenden internationalen Anforderungen an Studioabhörsituationen [4] erfüllt. In Abb. 6 ist die prinzipielle Funktionsweise des BRS-Systems einschließlich der Einscansituation dargestellt, wobei im vorliegenden Fall nur die tatsächlich untersuchte Lautsprecherkonfiguration eingescannt wurde.



**Abb. 6:** Binaurale Raumsynthese (BRS): Aufnahme- und Wiedergabesituation (aus [9])

## Psychoakustische Messungen zur Lokalisation

Da die Lokalisation von Schallereignissen in der Horizontalebene mit Hilfe des BRS-Prozessors unter Einbeziehung der spontanen Kopfbewegung mit Hilfe des Headtracking - speziell im Bereich „vorne“ - bekannt ist und sich nicht signifikant vom natürlichen Hören unterscheidet [1], wird hier nur die Lokalisation, bei Variation der Schallereignisse, in vertikaler Richtung im Frontbereich untersucht.

Im Vergleich zu horizontalen Richtungen, bei denen das Richtungshören durch die interauralen Laufzeit- und Pegeldifferenzen unterstützt wird, spielen diese interauralen Unterschiede bei vertikalen Richtungen, insbesondere in der Medianebene, eine untergeordnete Rolle. Weshalb eine Lokalisation in der Medianebene dennoch möglich ist, ist wissenschaftlich nicht endgültig geklärt. Die Analyse der HRTF, an Probanden gemessen, zeigt, dass die individuellen HRTF im Medianebenenbereich ( $\delta = 45^\circ - 135^\circ$ ) weniger stark variieren als in entsprechenden Horizontalebenebereichen [5].

In entsprechenden Hörversuchen [3] ergab sich, dass spezifische lineare Verzerrungen, die durch die Kopf- und Ohrmuschelform verursacht werden, für das Richtungshören in der Medianebene verantwortlich sind. Blauert hat gezeigt, dass je nach Schalleinfallrichtung, Frequenzbereiche selektiv angehoben werden [3]. Das könnte erklären, weshalb schmalbandige Schallereignisse nicht eindeutig zu lokalisieren sind.

Um beim Vergleich realer und virtueller Abhörsituationen eine optische Beeinflussung der Versuchsteilnehmer zu vermeiden, wurde eine schalldurchlässige aber sichtundurchlässige Leinwand zwischen Hörer und Lautsprechern installiert. Zur Angabe der Hörereignisorte wurde auf dieser Leinwand eine schachbrettähnliche Struktur aufgespannt, die die Leinwandfläche in Quadrate der Größe 15 x 15cm aufteilt. Mit Hilfe der entsprechenden Zeilen- und Spaltenkennzeichnung ist eine eindeutige Identifikation jedes einzelnen Quadrats möglich (Abb. 7). Der Abstand zweier Quadratflächenzeilen entspricht dabei, abhängig von der seitlichen Auslenkung, einem Elevationswinkel von etwa  $6^\circ$ .

Die Testteilnehmer wurden vor der Leinwand an der Hörposition auf einem höhenverstellbaren Stuhl platziert, so dass die Ohrhöhe jeweils individuell auf 130cm justiert werden konnte. Diese Position entsprach der jeweiligen Kunstkopfposition beim Einscannen bzw. bei der Messung der binauralen Raumimpulsantworten.

An den Hörversuchen nahmen 18 Personen teil, die über ein gesundes Gehör verfügen und Hörversuchserfahrungen besitzen.

Als Testsignal zur Richtungsbestimmung wurden Rauschimpulse verwendet (Rosa-Rauschen, Impulslänge = 200ms). Eine Testsequenz bestand aus fünf Rauschimpulsen mit je-



weils 200ms langen Pausen zwischen den Impulsen. Diese Folge wurde jeweils viermal wiederholt.



**Abb. 7:** Schachbrettmethode

Die Hörversuche beschränkten sich ausschließlich auf den vorderen kritischen Bereich der Lautsprecheranordnung (Left-Center-Right). Da sowohl das menschliche Aussenohr als auch Kunstkopfsysteme in der Regel Unsymmetrien zwischen „Links“ und „Rechts“ aufweisen, wurden linker und rechter Frontbereich getrennt untersucht. In der untenstehenden Tabelle sind die verwendeten Schallreize, die Direkt- und Phantomschallquellen beinhalten, mit den entsprechenden Pegelverhältnissen aufgelistet. Die Schallquellen befanden sich in Ohrhöhe und wurden in der Höhe nicht variiert.

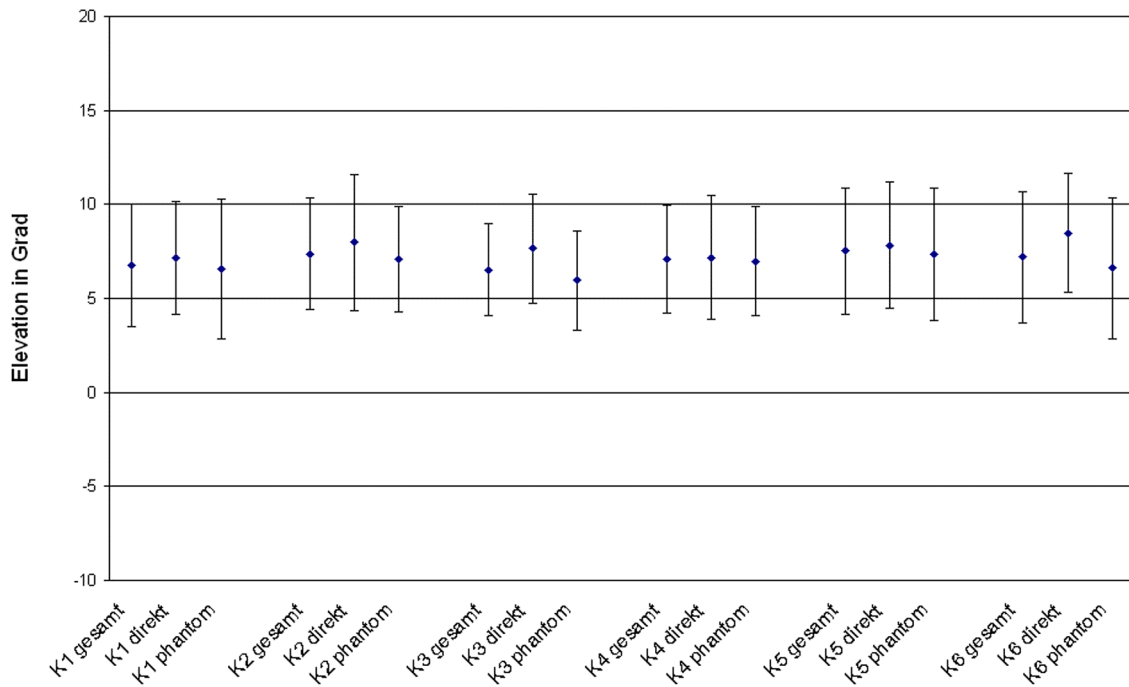
Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, für jede Testsequenz, die Richtung des Hörereignisses mit Hilfe eines Laserpointers auf der mit Flächenquadraten versehenen Leinwand zu markieren (Abb. 7).

Um die Ergebnisse nicht durch Auf- und Absetzen des Kopfhörers zu beeinträchtigen, wurden die beiden Versuchsserien, Reale Abhörsituation und Virtuelle Abhörsituation bzw. BRS-Prozessor, in getrennten Sitzungen durchgeführt.

	Position	Richtung	Richtung / °	Pegel /dB
Direktschallquellen	1	L	- 30°	L: +3
	2	R	+ 30°	R: +3
	3	C	0°	C: +3
Phantomschallquellen	4	L-C	- 15°	L: 0 C: 0
	5	R-C	+ 15°	R: 0 C: 0
	6	L-L-C	- 22.5°	L: +3 C: -3
	7	R-R-C	+ 22.5°	R: +3 C: -3
	8	C-C-L	- 7.5°	L: -3 C: +3
	9	C-C-R	+ 7.5°	R: -3 C: +3

### Ergebnisse zur Lokalisation

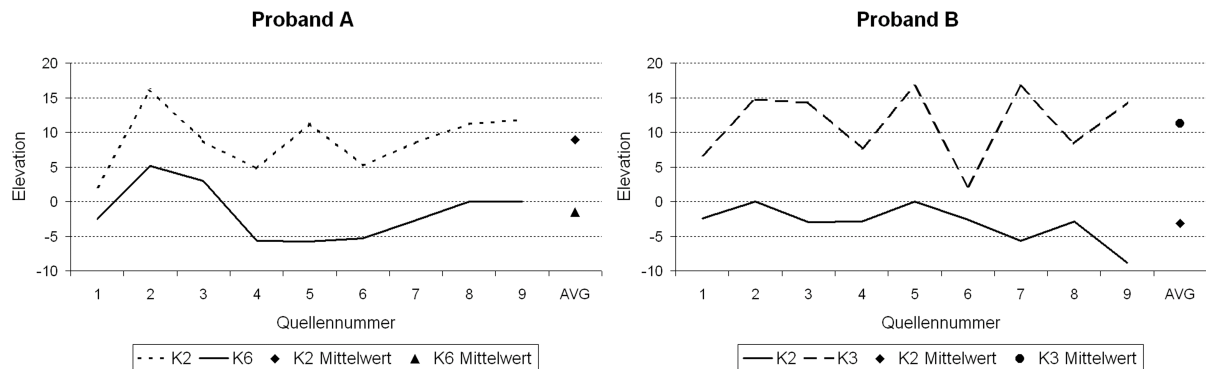
Die in Abb. 8 dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Abweichungen zwischen virtuellen und realen Schallquellen. Im einzelnen wurden für die untersuchten Richtungen je Kunstkopf der Mittelwert über die 18 Versuchspersonen und der 95%-Vertrauensbereich des Mittelwertes berechnet. Am Beispiel des Kunstköpfe K2, K3, K6 sind individuelle Ergebnisse in Bezug auf die Richtungsabhängigkeit der Hörereignisse in Abb. 9 dargestellt. Für alle untersuchten Kunstköpfe besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den angegebenen Hörereignisrichtungen der Direkt- und der Phantomschallquellen. Deshalb wurde über alle Schallreize je Kunstkopf gemittelt. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Abb. 8 zusätzlich zur Gesamtheit der Ergebnisse für die Fälle Direkt- und Phantomschallquellen gesondert dargestellt.



**Abb. 8:** Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche der Elevation über 18 Probanden und alle Hörereignisrichtungen

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den untersuchten Kunstköpfen in Bezug auf die Hörereigniselevation kein signifikanter Unterschied besteht. Im Mittel zeigen alle Kunstkopfsysteme eine geringe Elevation von etwa 7°. Diese leichte Elevation kann in Zusammenhang mit dem BRS-System als tolerierbar angesehen werden.

Um trotz dieses zufriedenstellenden Ergebnisses eine Erklärung für vereinzelt beobachtete Hörereigniselevationen zu finden, wurden die individuellen Ergebnisse analysiert. In Abb. 9 wird deutlich, dass für einzelne Probanden signifikante Unterschiede zwischen unterschiedlichen Kunstköpfen auftreten können.



**Abb. 9:** Testergebnisse von zwei Probanden für ausgewählte Kunstköpfe

## Hörversuche zur Klangfarbe

Die Hörversuche zur Beurteilung der Klangfarbenreproduktion des BRS-Prozessors wurden stereophon durchgeführt. Auf diese Weise können räumliche Effekte, z. B. einer 3/2-Stereoaufnahme, die das Hörereignis beeinflussen können, vermieden werden und die Sensibilität in Bezug auf die Klangfarbe gesteigert werden. Als Testsignale wurden die folgenden stereofonen Aufnahmen ausgewählt, die sich in Vorversuchen als kritisch in Bezug auf die Klangfarbenreproduktion erwiesen haben:

Beispiel	Quelle
Sprache, weiblich	EBU SQAM-CD, Track 53
Klavierkonzert	Mozart – Klavierkonzerte, Track 1, EMI CDC 7 47432 2
Popmusik	Chris Rea - New Light Through Old Windows, Track 6, Eastwest B000025ULL
Applaus	Unveröffentlichte Aufnahme des Bayerischen Rundfunks, Requiem Bruckner

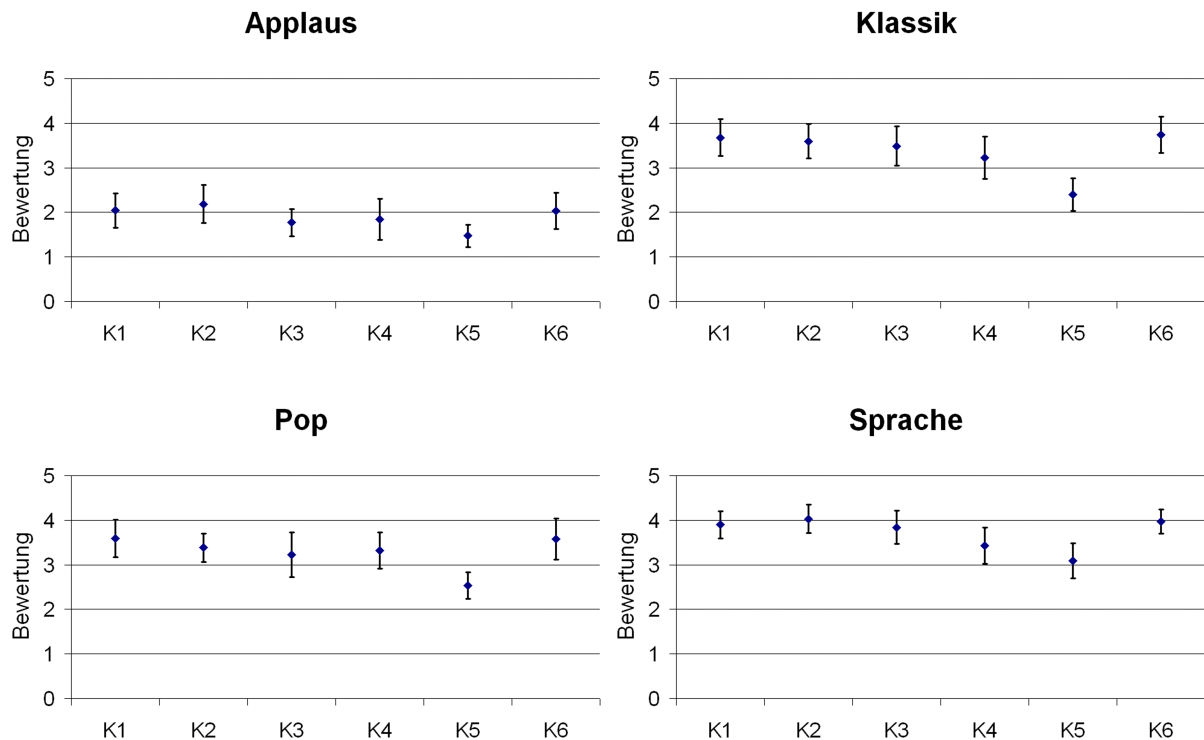
Als Bewertungsskala für die BRS-Klangfarbenreproduktion im Vergleich zur realen Lautsprecherreproduktion wurde die folgende fünfstufige Beeinträchtigungsskala in Anlehnung an [7] verwendet.

Note	<b>Klangfarbenänderung</b>
5	nicht wahrnehmbar
4	gerade wahrnehmbar
3	wahrnehmbar
2	deutlich wahrnehmbar
1	extrem wahrnehmbar

Beim Versuch wurde die Ohrhöhe der Teilnehmer entsprechend der Kunstkopffposition während des Einscannens individuell auf 130cm eingestellt. Die Versuchspersonen hatten die Möglichkeit, das Umschalten zwischen realer und virtueller Reproduktion mit Hilfe eines Fußumschalters und dementsprechend das erforderliche Auf- und Absetzen des Kopfhörers selbst zu steuern. Der Versuch zur Klangfarbenreproduktion wurde mit 18 Versuchspersonen durchgeführt.

## Ergebnisse zur Klangfarbe

In Abb. 10 sind jeweils die Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereiche der Mittelwerte der Beurteilungen des BRS-Systems für die untersuchten Kunstköpfe und Testbeispiele dargestellt.



**Abb. 10:** Mittelwerte und 95%-Vertrauensbereich über 18 Probanden

Insgesamt liegen die Mittelwerte bei den Testbeispielen mit Ausnahme des „Applaus“ zwischen den Noten „3 = wahrnehmbar“ und „4 = gerade wahrnehmbar“. Betrachtet man die 95%-Vertrauensbereiche der Mittelwerte, so zeigt sich, dass mit Ausnahme des Kunstkopfes K 5 kein signifikanter Unterschied zwischen den untersuchten Kunstköpfen in Bezug auf die Klangfarbenreproduktion besteht. Dabei weist der Kunstkopf K 5 signifikant schlechtere Ergebnisse auf als die anderen Kunstköpfe. Im Vergleich zu den anderen Testbeispielen weist der Applaus unabhängig vom betrachteten Kunstkopf signifikant schlechtere Ergebnisse auf („2 = deutlich wahrnehmbar“).

## Schlussfolgerungen

Aus den durchgeführten Experimenten können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden. In Bezug auf die Elevation von Hörereignissen und die Mittelwerte der Beurteilungen wurden für Schallquellen im Frontbereich (L, C, R) keine signifikanten Unterschiede zwischen den

untersuchten Kunstköpfen in Verbindung mit dem BRS-System festgestellt. Die bei den untersuchten Kunstkopfsystemen auftretende Elevation von etwa  $7^\circ$  wird als tolerierbar betrachtet. Die Grundlage dieser Ergebnisse ist die messtechnische Einhaltung des frequenzunabhängigen Diffusfeldübertragungsmaßes beider Systemkomponenten Kunstkopf und Kopfhörer mit einer Toleranz kleiner  $\pm 1.5\text{dB}$  im Frequenzbereich 50 - 12000Hz.

Die Streuung der Einzelergebnisse und die Analyse der individuellen Ergebnisse in Bezug auf bestimmte Elevation/Kunstkopf-Konstellationen deuten an, dass in einzelnen Fällen die individuellen Übertragungsmaße einzubeziehen sind. In Bezug auf die Klangfarbe zeigen die untersuchten Kunstköpfe mit einer Ausnahme zufriedenstellende Ergebnisse in Bezug auf die Testbeispiele mit tonalem Charakter. Im Falle des Testbeispiels „Applaus“, einem rauschähnlichem Signal, sind die Ergebnisse als nicht zufriedenstellend zu bezeichnen. Obwohl dieses Ergebnis in der Praxis eher als akademisch anzusehen ist, wenn man z. B. an die Unterschiede beim Vergleich von unterschiedlichen Studiolautsprechern mit rauschähnlichen Signalen denkt. Dennoch wird dieser Effekt der Klangänderungen bei rauschähnlichen Signalen weiter untersucht werden.

Die Auswirkungen der in vereinzelt Fällen einzubeziehenden individuellen Übertragungsmaße sind bisher nicht ausreichend untersucht worden. Das Ergebnis dieser Studie deutet jedoch darauf hin, diese zu berücksichtigen. In der Praxis könnte die Einbeziehung der individuellen Übertragungsmaße so aussehen, dass in bestimmten Fällen individuelle Messungen am entsprechenden Benutzern des BRS-Systems durchgeführt werden. Alternativ könnten aufgrund der Analyse der individuellen Messergebnisse unterschiedliche Kunstkopf/Kopfhörer-Entzerrungsklassen im BRS-Prozessor zur Verfügung gestellt werden. Der Benutzer hätte dann die Möglichkeit, mit Hilfe geeigneter Testsignale, die für ihn optimale Entzerrungsklasse auszuwählen.

## Literatur

[1] MACKENSEN, PHILIP / REICHENAUER, KLAUS / THEILE, GÜNTHER [IRT]: EINFLUSS DER SPONTANEN KOPFDREHUNGEN AUF DIE LOKALISATION BEIM BINAURALEN HÖREN, 20. TONMEISTERTAGUNG TAGUNGSBAND 1998, KARLSRUHE,

[2] MACKENSEN, PHILIP / FRUHMANN, MARKUS / THANNER, MATHIAS / THEILE, GÜNTHER [IRT] / HORBACH, ULRICH / KARAMUSTAFAOGLU, ATILA [STUDER] (2000): HEAD-TRACKER BASED AURALIZATION SYSTEMS: ADDITIONAL CONSIDERATION OF VERTICAL HEAD MOVEMENTS

- [3] BLAUERT, JENS (1974): RÄUMLICHES HÖREN, . VERLAG HIRZEL, STUTTGART, 1974
- [4] EBU TECH. 3276-E-2ND EDITION: LISTENING CONDITIONS FOR THE ASSESSMENT OF SOUND PROGRAMME MATERIAL: MONOPHONIC AND TWO-CHANNEL STEREOPHONIC. GENEVA, 1998.
- [5] Møller, H./ Sørensen, M. F. / Hammershøi, D. / Jensen C. B.: HEAD-RELATED TRANSFER FUNCTIONS OF HUMAN SUBJECTS. J. AUDIO ENG. SOC., VOL. 43, No. 5, 1995 MAY, S.300-321.
- [6] Theile, GÜNTHER [IRT]: ÜBER DIE LOKALISATION IM ÜBERLAGERTEN SCHALLFELD. DISSERTATION, TECH.UNIV. BERLIN,1980
- [7] RECOMMENDATION ITU-R BS.1116-1: METHODS FOR THE SUBJECTIVE ASSESSMENT OF SMALL IMPAIRMENTS IN AUDIO SYSTEMS INCLUDING MULTICHANNEL SOUND SYSTEMS. IN: ITU-R RECOMMENDATIONS: BS SERIES; BROADCASTING SERVICE (SOUND), GENEVA, 1998, S.434-459
- [8] Horbach, ULRICH / Pellegrini, RENATO [STUDER] / Felderhoff, UWE / Theile, GÜNTHER [IRT]: EIN VIRTUELLER SURROUND SOUND ABHÖRRaum IM Ü-WAGEN. 20. TONMEISTERTAGUNG KARLSRUHE, TAGUNGSBAND, MÜNCHEN 1998
- [9] Horbach, ULRICH / Karamustafaoglu, ATILA / Pellegrini, RENATO [STUDER] / Mackensen, PHILIP / Theile, GÜNTHER [IRT] (1998): DESIGN AND APPLICATION OF A DATA-BASED AURALIZATION SYSTEM FOR SURROUND SOUND, AES (AUDIO ENGINEERING SOCIETY), 1999
- [10] RECOMMENDATIONS OF THE CCIR, VOLUME X – PART 1, RECOMMENDATION 708 DETERMINATION OF THE ELECTRO-ACOUSTICAL PROPERTIES OF STUDIO MONITOR HEADPHONES, CCIR 1990