

Gerhard Steinke

RF7

Entwicklungstendenzen der Stereophonie

### 1. Einleitung

Wie können wir den Informationsinhalt der Stereo-Übertragung besser nutzen - wie kommen wir zu der angestrebten Übereinstimmung zwischen dem Studioklangbild und der Heimwiedergabe?

Die Kritik am gegenwärtigen Stand der Wiedergabequalität wächst ständig, im wesentlichen gekennzeichnet durch einige gravierende Mängel der raumbezogenen Stereophonie, wie

- Beschränkung der Lokalisationsmöglichkeit auf den Winkelbereich zwischen den beiden Lautsprechern,
- große Platzabhängigkeit,
- starker Einfluß der akustischen Eigenschaften des Wiedergaberaumes auf das Stereo-Klangbild,
- begrenzte Räumlichkeitsempfindung,
- Kompromisse zugunsten der Kompatibilität.

Der Hörer will nicht lediglich unter exakt definierten Bedingungen und Einschränkungen das Phänomen "Stereophonie" zur Kenntnis nehmen; er erwartet einen gewissen Komfort der Stereo-Wiedergabetechnologie, um die möglichen Vorzüge unkompliziert genießen zu können.

Könnte man sich auf die gemeinsame Unterstützung einheitlicher Forderungen und Tendenzen für die Weiterentwicklung einigen, so würde mehr Aussicht auf Annahme durch den Rezipienten, auf schnellere und ökonomische Realisierung sowie höhere technische und ästhetische Qualitäten bestehen.

Die kopfbezogene Stereophonie hat offensichtlich dadurch eine schnellere Entwicklung durchlaufen, weil an mehreren Stellen gleichzeitig intensiv und vor allem komplex, Zusammenhänge zwischen objektiven Parametern und subjektiven Wahrnehmungsgrößen, einem Kernproblem der musikalischen Akustik und der Audiotechnologie, untersucht wurden.

Bemerkenswerte Fortschritte, im Sinne von Qualitätssprüngen wurden erst erreicht, als in die bisherigen Theorien des Hörens neue Erkenntnisse einfließen. Insbesondere ist zu nennen die Arbeit von THEILE [1] zur Lokalisation im überlagerter Schallfeld.

Wir können daraus folgern, daß wir uns verstärkt der Erarbeitung von psychoakustischen Funktionsmodellen und den Möglichkeiten einer technischen Systemoptimierung zur Substitution biologischer Teilfunktionen der Verarbeitung von Sprache und Musik widmen müssen, wenn wir unsere Probleme umfassender lösen wollen.

Dabei können wir davon ausgehen, daß mit der Entwicklung der Mikrorechenteknik gegenwärtig völlig neue Möglichkeiten der technischen Erzeugung und Verarbeitung von Sprache und Musik entstehen. Damit können biologische Teilfunktionen, gekennzeichnet durch Stimulus-Response-Verhalten, mit Hilfe von technischen Teilfunktionen zur rationellen und effektiven Prozeßablaufgestaltung ersetzt werden.

Ich möchte hierzu auf Untersuchungen von BLUTNER und HALLER [2] [3] im Forschungsinstitut für Musikinstrumente, ZWOTA, (DDR) aufmerksam machen, deren kybernetische Perzeptionsforschungen sich stark am biologischen Vorbild orientieren.

Sie zeigen auch, daß die Abgrenzung von Teilfunktionen des biologischen Systems nur dann sinnvoll sind, wenn sie im Kontext der komplexen Gesamtfunktion geschieht. Die Hauptmechanismen sind dabei:

1. Sequentielle Prozeduren des semantischen Bereichs, d. h. Zuordnung bestimmter Signalmerkmale zu Zeichenklassen im Sinne der Semiotik
2. Integrale Prozeduren des außersemantischen Bereichs, d. h. Zuordnung bestimmter Signalmerkmale zu allgemein graduell variablen Eigenschaften des Expedienten (z. B. Erregung eines Muskels).

Darüber hinaus existieren eine Vielzahl indirekter Wirkungsmechanismen, die nur schwer zu formalisieren sind.

Ziel derartiger sehr interessanter Forschungen ist es also, bestimmte Teilfunktionen des menschlichen Gehörs durch ein technisches Gerät zu ersetzen, - bis zu höchsten geistigen Prozessen wie Spracherkennung oder die ästhetische Aufnahme von Musik.

Man muß aber zugeben, daß man noch vollständig am Anfang eines Erkenntnisprozesses steht; auch die bisherigen Denkmodelle der Kybernetik und Systemtheorie sind immer wieder in Zweifel zu ziehen.

Immerhin wurden bei den Arbeiten von THEILE sowie von BLUTNER und HALLER durch Lösungen, die sich in der Praxis bestätigten, erste erfolgreiche Fortschritte erzielt.

So wurde z. B. durch Anwendung der Zeithüllenanalyse zur Ermittlung eines rhythmischen Musters, Informationen zur Klangqualität von Gitarren ermittelt, wodurch es möglich ist, objektive akustische Gebrauchswertgutachten zu erstellen, die sonst nur durch aufwendige subjektive Bewertungen mit Hilfe trainierter Hörgruppen ermittelt werden können.

Eine andere Erkenntnis, die in diesem Zusammenhang auch nur zitiert werden kann, ist, daß das bisher am sinnvollsten erscheinende Lautheitsmeßverfahren von ZWICKER, z. B. bei der Anwendung von Akkordeonklängen in der Baß- und Mittellage unbefriedigende Korrelationen zur subjektiven Zielgröße ergibt, wenn diese im Paarvergleich ermittelt, und dabei spektrale Gewichtsfunktionen sowie schnelle Einschwingvorgänge mitberücksichtigt werden. Dies soll hier erwähnt werden, weil wir etwas befangener sein sollten, wenn wir so selbstverständlich von Lautstärkewerten bei der Beschallung - ob im Wohnraum oder im Mehrzwecksaal - sprechen, wo doch unsere Meßergebnisse je nach Programm bis zu 6dB falsch sein können (!), wir aber Empfehlungen für Abhörlautstärken oder Grenzen für Gehörschädigungen festlegen wollen.

Und schließlich bewies THEILE, daß erst die Diffusfeldbetrachtung für das Kunstkopffverfahren den Beginn eines Optimierungprozesses erlaubt.

## 2. Schwerpunkte absehbarer Entwicklungstendenzen

Lassen Sie uns nun 3 Schwerpunkte für Entwicklungstendenzen betrachten:

- 2.1. Erlauben bi-fone Wiedergabeverfahren eine Verbesserung der Stereo-Wiedergabe, etwa eine intensivere Ausschöpfung des Inhaltes der Stereo-Information?
- 2.2. Wie sollte sich die Zweilautsprecherwiedergabe weiterentwickeln, um bessere Auflösung und auch Räumlichkeit zu vermitteln?
- 2.3. Können wir einen Abhörstandard für Regie- und Wohnräume finden?

### Zu 2.1. Bifone Wiedergabeverfahren

Ein wesentlicher Grund für die Mängel der Zweikanal-Stereofonie scheint bekanntlich darin zu liegen, daß die beiden Lautsprecher nicht nur die zugeordneten Ohren, sondern jeweils - wenn auch verzögert, pegelverringert und klanggefärbt - die abgewandten Ohren erreichen.

Dadurch wird eine Verzerrung der Richtungsabbildung bei Lautsprecherwiedergabe unvermeidbar. Dazu kommen Verfälschungen der Klangfarbe und der zeitlichen Wahrnehmung der einzelnen ursprünglichen Schallquellen [4] .

Da der Tonregisseur dies aber als gegebene Bedingung voraussetzt, richtet er bei der Mikrofonaufnahme die Schallquellen- und Mikrofonanordnung (bewußt oder unbewußt) dementsprechend darauf ein. Durch die Verwendung zusätzlicher Stützmikrofone kann er Ortungsfehler wieder aufheben.

In Kenntnis der Wirkung der erwähnten Übersprechanteile (Störkomponenten) war es naheliegend, durch Kompensationsschaltungen diese zu beseitigen bzw. zu verringern. Erste Vorschläge machten BAUER [5], ATAL und SCHRÖDER [6]. Eine Reihe von Weiterentwicklungen baute darauf auf (z. B. TRADIS [7]). Unsere Experimente mit neueren derartigen Prozessoren (u. a. von CARVER [8] und NATIONAL [9]) lassen erkennen, daß bei weiterer Verbesserung gegenüber der üblichen (nicht kompensierten) Lautsprecherwiedergabe folgende Eindrücke erzielbar sind:

Bei der Wiedergabe kopfbezogener Aufnahmen werden die Hörereignisse überzeugend und glaubhaft ähnlich wie beim realen Ereignis empfunden; die Hörereignisorte sind eindeutiger aufzulösen, sie sind definierbar, schärfer lokalisierbar. Tiefe und Dreidimensionalität der Hörereignisse treten auch außerhalb der Basis auf. Hörereignisse sind im Bereich von sehr nah am Ohr bis zu ca. 5 m exakt ortbar.

Bei der Wiedergabe raumbezogener Aufnahmen werden diese zunächst effektvoller als bei der üblichen Lautsprecherwiedergabe empfunden; die propagierte hörere Stereoauflösung tritt aber nicht ein, die Eindrücke sind bei den einzelnen Versuchspersonen unterschiedlich, für verschiedenes Programmaterial nicht eindeutig reproduzierbar. Die Entfernungsempfindung kann meist nicht exakt formuliert werden.

Entsprechend dem THURLE`schen Assoziationsmodell entstehen bei der Kompensation für raumbezogene Signale keine exakten Lokalisationsreize mehr, so daß die stereofone Auflösung unbestimmter werden muß.

Die störende Wirkung eines zu starken, gegenphasigen S-Signals und die in den meisten Fällen dennoch nicht ausreichende Räumlichkeitsempfindung, sowie die mangelnden Ortungsmöglichkeiten hinten, sind weitere Einschränkungen, die einer allgemeinen Anwendung solcher Anordnungen für raumbezogene Stereophonie, insbesondere zur angestrebten Raumsimulation, entgegenstehen und nicht empfehlenswert machen. Dennoch werden immer wieder fragwürdige industrielle Lösungen dieser Art angeboten.

Die gegebenen Grenzen hinsichtlich der Lautsprecheranordnung, der Fixierung des Kopfes am exakt definierten eng tolerierten Hörerplatz, die Bedingung geringer Nachhallzeit des Wiedergaberaumes, reduzieren die Anwendung auf wissenschaftliche Untersuchungszwecke bzw. Detailkontrollen im Funkhaus. Mit diesen Anordnungen gelingt es, aufnahmetechnische Fehler bei Polymikrofonie zu erkennen und zu analysieren. Dagegen kann sich wegen der Kompatibilitätsbedingung die Aufnahmetechnik nicht generell auf solche Prozessoren einstellen.

## Zu 2.2. Wie erhalten wir eine bessere Auflösung und Räumlichkeit?

Es gibt viele Überlegungen u. a. von KEIBS [10], DOLBY [11] und MAUSNER [42] für die gesonderte Abstrahlung von Mittensignalen, ferner für zusätzliche von der Mitte nach außen die Links- und Rechts-Signale abstrahlende Lautsprecher (SNOW [12], KUHL [13]) oder auch eine Lautsprecherkette einzusetzen. Alle Vorschläge führten aber bisher nicht zum Ziel, weil es nicht gelang, Mittensignale aus dem Stereo-Signal eindeutig zu isolieren und getrennt wiederzugeben.

In einer Vielzahl von Patentschriften finden sich lediglich Lösungsbehauptungen für Matrizierungsschaltungen, Korrelationsfaktor- und Schwellertschaltungen dazu. Der Vorschlag von DOLBY ist dagegen praktikabel, für ein extrahiertes Signal, das einem Mittelsignal ähnlich ist, eine scheinbar höhere Übersprechdämpfung zu erreichen, indem durch Verzögerung der Seitensignale R/L eine Erstlokalisierung dieses "Mittensignals" erreicht wird (Bild 1).

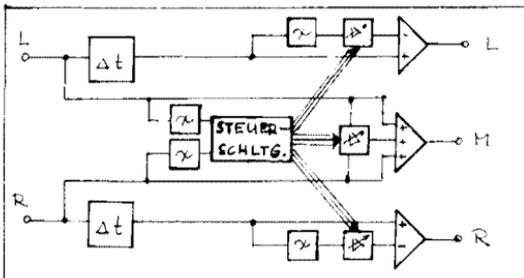


Bild 1.

Bisher wird das Verfahren nur für Kinos verwendet.

Es ist verständlich, daß jede Veränderung der Wiedergabeanordnung Rückwirkungen auf die Aufnahmetechnologie hat, so daß aufgrund der Kompatibilitätsbedingung Abweichungen mit Vorsicht zu betrachten sind. Dennoch sollte die weitere Forschung für eine Stützung der Stereo-Basis nicht aufgegeben werden.

Für größere Räume ist es auch zweckmäßig, sich mehr die erreichten Fortschritte der Beschallungstechnik zunutze zu machen. Auf der Basis des Gesetzes der 1. Wellenfront (Bild 2):



Es liegt daher nahe, eine derartige Anordnung mit einer geeigneten Schaltung zur Ableitung eines Mittensignals zu verbinden (Bild 4).

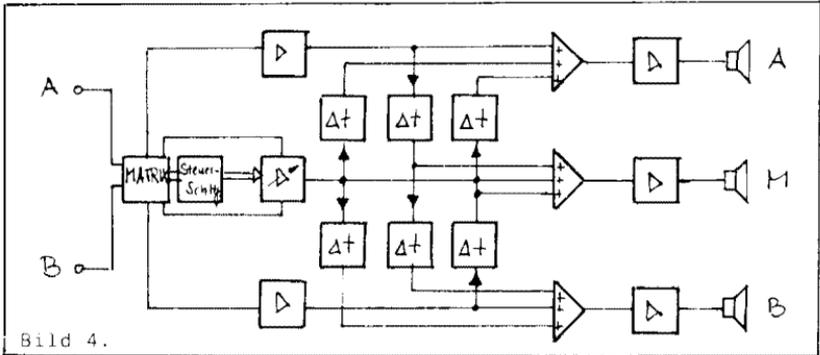


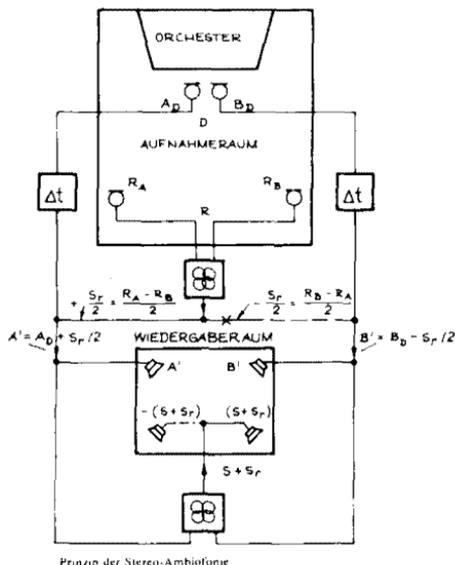
Bild 4.

Somit werden auch seitlich sitzende Hörer bei geeignet gewählten Verzögerungszeiten nicht mehr ständig die Vorzugsrichtung des ihnen am nächsten stehenden Lautsprechers und daher ein verzerrtes Stereo-Klangbild empfinden, sondern die richtige Ortung wird durch das Zusammenwirken von Intensitäts- und Zeitdifferenzen sichergestellt.

Für kleinere Räume kann noch keine ausgereifte Anordnung vorgestellt werden, da die Ableitung eines echten Mittensignals Vorbedingung ist. Es sollte aber auf diese Tendenz aufmerksam gemacht werden, um sich mit dem Gedanken eines mittleren Lautsprechers zu befassen.

Für die Forderung nach Vermittlung einer überzeugenden Rauminformation zur Erzielung der gewünschten und der Realität angemessenen entsprechenden Räumlichkeitsempfindung finden sich die wichtigsten Hinweise auch heute noch in den grundlegenden Arbeiten von LAURIDSEN [15]. L. KEIBS entwickelte daraus das stereo-ambiofone Verfahren [16] (Bild 5), dessen einfachste Version, die Rückgewinnung und Abstrahlung von S-Signalen aus der Stereoinformation A/B, als pseudoquadrofone Wiedergabe eine sehr große (auch kommerzielle) Verbreitung und Bedeutung gewann, und sich immerhin länger behaupten konnte als die Vierkanaltechnik, in reiner 4-Kanal-Version bzw. Matrix-4-2-4-Version.

Bild 5:



Prinzip der Stereo-Ambifonie

Bei diesem Verfahren werden Direkt- und Rauminformationen im Studio mit getrennten Mikrofonen aufgenommen und entweder über 4 Kanäle übertragen und wiedergegeben (2 Lautsprecher vorn, 2 Lautsprecher hinten) oder die Informationen werden überlagert und nur über die üblichen beiden Stereo-Lautsprecher wiedergegeben. Das Raumsignal ist gegenphasig, es wird räumlich empfunden und verdeckt das Direktsignal in geringem Maße.

Die räumliche Wirkung ist bei Zwei-Lautsprecher-Wiedergabe jedoch noch nicht stark genug, wenn entsprechend der Kompatibilitätsbedingung das Verhältnis  $D$  zu  $R$  angemessen bleiben soll.

KEIBS [17] gab dazu die weiterführende Anregung der Nachbildung von Raumreflexionen aus dem Stereo-Signal  $A/B$ , die zumal dann erforderlich ist, wenn das Signal einen sehr geringen  $S$ -Anteil aufweist. Aufbauend auf Untersuchungen von SCHODDER [18] über die Schallfelderhältnisse in Aufnahmeräumen, kam KEIBS [19] zu Vorschlägen, in mehreren Verzögerungsstufen (z. B. 30 ms/-3 dB, 45 ms/-6 dB und 70 ms/-10 dB, bezogen auf  $A/B$ -Direktsignal = 0 dB) die Reflexionsfolge eines guten Saales zu simulieren.

Für die Aufstellung der dafür erforderlichen Zusatzlautsprecher wurde seinerzeit eine hintere Anordnung empfohlen.

Neuere Untersuchungen [20] führten aber zu der Erkenntnis, daß eine seitliche bzw. seitlich-vordere Anordnung zweckmäßiger und den realen Verhältnissen in Konzertsälen entsprechender ist. Man kommt dann zu einer "Trapezanordnung", wie inzwischen auch von MADSEN [21], KUHLE [22] und KOWALGIN [23] vorgeschlagen (Bild 6).

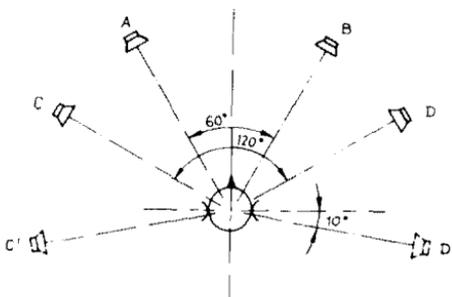


Bild 6.  
Wiedergabeanordnung in Trapezform nach Kuhl [22].  
Lautsprecher A-B-C-D nach Kowalgin [23].

Für eine angemessene Raumsimulation läßt sich aus der Kombination einer 4-2-4-Stereo-Ambiofonie bzw. 4-4-4-Stereo-Ambiofonie sowie der je nach Art des Programmsignals zusätzlichen Verzögerungen und evtl. Verhallung des Direktsignals eine Anordnung für Heimzwecke ableiten. Hierfür bestehen jedoch z. Z. noch keine ökonomisch vertretbaren Voraussetzungen (Bild 7).

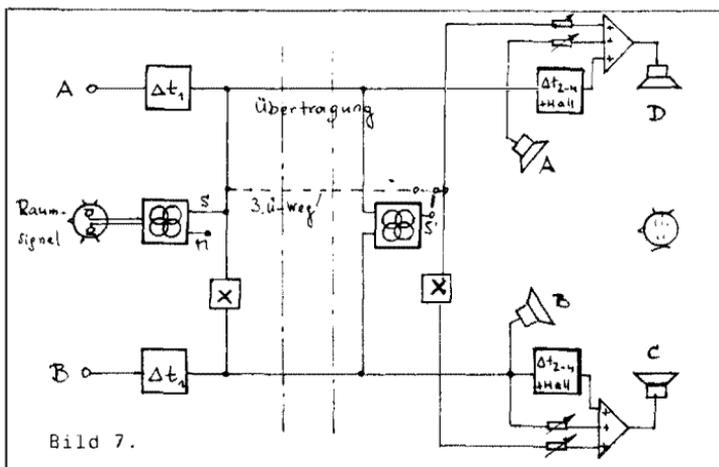


Bild 7.

Es ist zu erwarten, daß sich bei Verwendung eines dritten Übertragungskanal für Rauminformationen, wie er bekanntlich in verschiedener Weise zusätzlich zu dem Stereo-Multiplexsignal denkbar wäre, viele Möglichkeiten für eine wirkungsvolle Räumlichkeitsvermittlung auf der Basis der gezeigten Anordnungen eröffnen.

Für die Trapez-Leutsprecheranordnung wurde, inzwischen auch ein Matrix-Verfahren in der UdSSR, das ABC-Panorama-System [23], entwickelt. Es handelt sich um ein spezielles 4-2-4-Matrixsystem, das kompatibel mit der üblichen A/B-Stereofonie ist.

Die Anordnung gem. Bild 8 a zeigt die optimale Stellung sowie die Grenzen des Bereiches der sicheren Lokalisation (Bild 8 b).

Bild 8.

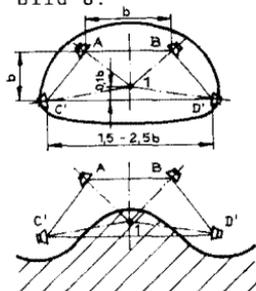
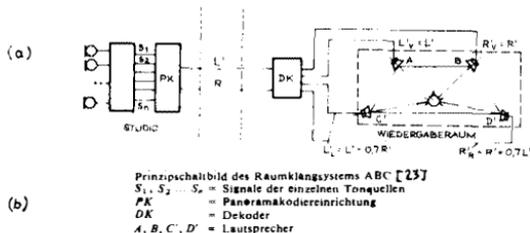


Bild 9.



Das Prinzipschaltbild für das Panoramasytem "ABC" zeigt Bild 9.

Das ABC-System wurde vor allem für Kinotheaterwiedergabe entwickelt. Die bekannt gewordenen Vorteile des Verfahrens machen es empfehlenswert, die Anordnung auch für Wohnraumwiedergabe eingehend zu untersuchen.

### Zu 2.3. Wie findet man einen Abhörstandard für Wohnräume und Regieräume?

#### 2.3.1. Wechselwirkungen zwischen Abhörraum und Abhöreinstellungen

Wie auch auf dieser Tagung festzustellen ist, wurde auf der Aufnahmeseite ein hoher Qualitätsstand erreicht. Eine einheitliche Bewertung der produzierten Aufnahmen ist jedoch nur auf der Grundlage eines einheitlichen "Abhörstandards" möglich. Dies bedeutet

- für kopfbezogene Stereofonie
  - . Verwendung von Kopfhörern gleicher definierter Eigenschaften
- für raumbezogene Stereofonie
  - . weitgehend gleiche Eigenschaften des Abhörortes (Wiedergaberaumes)

- weitgehend gleiche Eigenschaften der sog. Abhöreinrichtung (d. h. der Einheit von Lautsprecherkombination, Einbaugeschäube, Verstärker usw.) und deren Aufstellung (geometrische Anordnung) im Raum.

Würde man, wie von THEILE [24] vorgeschlagen, einen einheitlichen "Bezugs-Kopfhörer" standardisieren, wäre die Qualität von kopfbezogenen Stereo-Übertragungen erstmalig einheitlich subjektiv bewertbar und vergleichbar. Diese wichtige Forderung muß nicht nur zur Verbesserung des internationalen Programmaustausches zwischen den Rundfunk- und Fernsehorganisationen, sondern vor allem im Interesse des Rundfunkhörers erfüllt werden.

Ein "Bezugs-Kopfhörer", für die kopfbezogene Stereophonie unverzichtbar, ist allein jedoch nicht ausreichend, da die Wiedergabe von raumbezogener Stereophonie über Kopfhörer zur störenden IKL führt und damit die Vergleiche zur Lautsprecherwiedergabe erschwert.

Darüber hinaus kann das Zusammenwirken von Raum und Lautsprecher bisher mit Kopfhörern noch nicht ausreichend simuliert werden.

#### Bedingungen für Abhörräume

Gesucht wird also zunächst ein "Bezugs-Abhörraum". Die Anforderungen hierfür sind allerdings widersprüchlich.

Einerseits sind die Einflüsse des Raumes gering zu halten, um Verdeckungen, Klangfärbungen, Fehlortungen usw. bei der Kontrolle der Aufzeichnungen und Übertragungen zu minimieren; andererseits soll der Raum ein "wohnliches" Gefühl vermitteln. Es ist also nach denjenigen raumakustischen Eigenschaften zu suchen, deren Einflüsse auf die Schallwiedergabe zum Erreichen befriedigender Hörereignisse zulässig bzw. nützlich sind. Somit soll der Abstand zwischen der Wahrnehmbarkeitsschwelle der Einflußgrößen des Raumes und der Stufe für deren beginnende "Schädlichkeit" so groß wie möglich gemacht werden, um sich mehr einer (nicht exakt definierten) "Wohnraumakustik" und nicht der unteren Grenze "reflexionsfreier Raum" zu nähern. Annäherungen an Wohnraumbedingungen sind offensichtlich wünschenswert, aber die vielfältigen Untersuchungen an Hörerwohnungen in den letzten Jahren (u. a. [25], [26], [27]) lassen erkennen, daß es keinen typischen "Durchschnittswohnraum" gibt, den man zugrundelegen kann.

Klangfärbungen durch Kurzzeitreflexionen an Wänden und Decke werden vom Ohr bereits bei sehr kleinen Pegeln registriert [28] [29]; es ist daher notwendig, durch entsprechende Schallabsorberanordnungen um die Abhöreinrichtungen (einschl. Decke und Fußboden) einen Intensitätsunterschied von mind. 6 dB zwischen Direkt- und Reflexionsschall am Hörerplatz zu erzwingen.

Angestrebt wird, daß Reflexionen des Wiedergaberaumes erst dann am Ohr des Tonregisseurs eintreffen, wenn die ersten Reflexionen aus dem Aufnahmeraum unbeeinflusst wahrgenommen werden. Strebt man an, wie DAVIS [30], daß der Halbraum hinter dem Regiepult sowie der Fußboden in definierter Weise reflektierend wirkt, um ein besseres Aufenthaltsgedühl zu vermitteln, scheint sich dies nach Untersuchungen von VOELKER [31] lediglich für die Genres Popmusik, Discomusik, Tanzmusik u. ä. als nützlich zu erweisen.

Für größere Abhörräume (ebenso aber auch bei Aufnahmen aus großen Aufnahmesälen) ist eine solche Lösung wenig sinnvoll.

Trotz der in einigen Parametern noch bestehenden Auffassungsdifferenzen spielt die Vereinheitlichung von Abhörräumen, die Suche nach einem "Bezugsabhörraum" eine zunehmend größere Rolle. Die hohen Kosten für Regie- und Abhörräume machen eine Standardisierung zur Ableitung einheitlicher Richtlinien für den Bau aus ökonomischen Gründen dringend erforderlich. Daneben stehen die nicht quantifizierbaren, aber zweifellos auch hohen Kosten für Produktionen, die wegen solcher akustischer Unzulänglichkeiten unbefriedigend eingeschätzt werden, und die international nicht austauschbar bzw. kommerziell nicht verwendbar sind.

In der OIRT sowie im CCIR wird seit mehreren Jahren an einer derartigen Aufgabe gearbeitet [32]. Auch in der Audio Engineering Society wurde die Frage aufgegriffen, da sie ein Grundproblem der Stereo-Wiedergabe berührt [32].

Da man im Studiobereich zwischen Abhörräumen (die hochwertig und nahezu kompromißlos gestaltet werden können) und Regieräumen (mit umfangreichen, die akustischen Eigenschaften des Raumes mehr oder weniger beeinflussenden technischen Einrichtungen) unterscheiden muß, andererseits aber auch einem Bezug zu Wohnräumen nicht ausweichen sollte, ist eine Einteilung in folgende Kategorien von Räumen zweckmäßig:

- I: hochwertige Abhörräume ("Bezugs-Abhörraum")
- II: Regieräume
- III: Idealwohnraum ("Bezugs-Wohnraum")
- IV: reale Wohnräume (für Hinweise auf Mindestbedingungen)

Für die Kategorie I existieren bzw. entstehen z. Z. eine Reihe von Standards der internationalen Rundfunk- und Fernseh-Organisationen.

In der OIRT-Empfehlung 86/1 [33] konnte für zahlreiche Parameter Übereinstimmung gefunden werden:

- Volumen  $120 \pm 30 \text{ m}^3$  (Empfehlung für Stereo: obere Toleranz) (IEC /39/:  $60 - 110 \text{ m}^3$ ; Vorzug:  $80 \text{ m}^3$ );
- symmetrische Raumform zur Basis; Vermeidung größerer reflektierender Flächen wie Fenster und Türen usw.;
- zweckmäßigste Seitenverhältnisse zur möglichst gleichmäßigen Verteilung der Eigenfrequenzen des Raumes im unteren Frequenzgebiet (aufgrund der Untersuchungen von LOUDEN [34] und HUHN [35];
- Nachhallzeit  $T = 0,25 \text{ s}$  bis  $0,4 \text{ s}$  (mit Toleranz des gewählten Nennwertes von  $\pm 0,1 \text{ s} \leq 160 \text{ Hz}$  und  $\pm 0,05 \text{ s} > 160 \text{ Hz}$ ).

Zur Vermeidung von störenden Kurzzeitreflexionen sollten speziell in der Hörebene Mitten- und Höhenabsorber (Breitbandabsorber) an den Wänden symmetrisch zur Mittelsenkrechten der Basis in einem Bereich  $\leq 900 \text{ mm}$  bis  $> 1600 \text{ mm}$  vorgesehen werden.

Zur Vermeidung einer Überbedämpfung sind im Deckenbereich stark strukturierte Tiefenabsorber notwendig, die ggf. mit weiteren Höhenabsorbern auf dem Fußboden (Teppich) eine ausreichende Diffusität herstellen können. (Weitere neuere Hinweise geben auch [36], [37], [38]).

Für die Kategorie III Ideal-Wohnraum existiert z. Z. ein IEC-Dokument [39], das einen wohnraumgroßen Raum für das Testen und Messen von Hi-Fi-Anlagen empfiehlt und das die Grundlage für einen Heim-Abhörstandard bilden könnte. Bisher wurde in der Studio-Praxis lediglich versucht, durch mehr oder weniger willkürlich ausgewählte Gehäuselautsprecher, in geringer Entfernung von oder auf dem Regiepult in Studio-Regieräumen aufgebaut, eine Heimabhörbedingung zu simulieren.

Wesentliche Angaben weichen bei IEC jedoch von den Empfehlungen für Kategorie I ab (z. B. soll die Decke reflektierend sein) und bedürfen weiterer Präzisierungen und Korrekturen, um vergleichbare Bedingungen transformiert auf kleinere Volumen, zu erhalten.

#### Bedingungen für Abhöreinrichtungen

Neben den ungelösten Problemen des Wiedergaberaumes ist die Festlegung der Parameter der zu empfehlenden Lautsprecher zur Erzielung eines einheitlichen Klangbildes noch weitaus schwieriger. Unsere Erfahrungen zeigen jedoch, daß die Arbeit mit einer entsprechenden Empfehlung für Studio-Abhöreinrichtungen OIRT E 55/1 aussichtsreich sein kann, wenn ein progressiver Hersteller bestimmte Grundvereinbarungen beachtet.

So wurde vom VEB Musikelectronic Geithain eine neue Abhöreinrichtung entwickelt, die sich durch hohe Gleichmäßigkeit im Frequenzgang und in der Richtcharakteristik, geringste Einschwingverzerrungen und hohes Bündelungsmaß (6 dB bis 10 dB steigend im Bereich 100 Hz bis 10 kHz) auszeichnet.

Bei der Entwicklung wurde u. a. die Erfahrung des RFZ berücksichtigt, daß mittels koaxialer Lautsprecher-Anordnungen eine bestmögliche Lokalisationsschärfe bei der Stereo-Wiedergabe erreichbar ist. Die neue Abhöreinrichtung (RL 900) besitzt daher eine koaxiale 3-Wege-Anordnung und liefert in Verbindung mit dem erreichten Bündelungsmaß eine außerordentlich hohe stereofone Auflösung und Impulstreue.

Von vornherein beachtet wurde bei der Entwicklung die klangliche Ähnlichkeit verschiedener Kategorien (A, B und C) von Einrichtungen. Neben dem großem Studio-Monitor (A) entstanden eine mittlere (B) (ca. 50 l) und eine kleinere Einrichtung (C) (8 l). Die Einrichtungen B und C sind für kleinere Räume und Ü-Wagen vorgesehen; zusätzlich ist die kleine 2 l-Box (C) für den Heimvergleich vorgesehen. Da sie nun von der Industrie im Handel vertrieben wird, hat der Rundfunkhörer mit dieser Box im Wohnraum die Möglichkeit, eine weitgehende Ähnlichkeit mit der Klangvorstellung im Studio zu erreichen - eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Standardisierung und eine Maßnahme zur Verringerung der Probleme bei der Rundfunk-Stereofonie.

Durch geeignete Bemessung des Schallbündelungsmaßes [40] gelingt es, die durch Raumreflexionen bedingte Klangfärbung zu mindern, so daß der Hörer (zumindest am Bezugs-Abhörort) mehr Direkt- als Diffusschall erhält.

Es geht darum, ein optimales Verhältnis zwischen dem Hallabstand für impulshaften Schall von Musik und Sprache im Abhörraum und dem von der Abhöreinrichtung zu erbringenden Bündelungsmaß zu finden. Ferner sollte eine weitgehende Frequenzunabhängigkeit des Bündelungsmaßes gewährleistet werden, damit eine Klangfarbenänderung zwischen Direkt- und Diffusfeld verringert werden kann.

Die Forderungen des Aufnahmepersonals gehen teilweise auch dahin, daß bei der Wiedergabe die Räumlichkeitseindrücke und die Durchmischung des Klanges dem Programmgenre jeweils angepaßt sein sollten. Aus Tests mit akustisch verschiedenartigen Räumen [37] kann die Erwartung entnommen werden, je nach Programm auch unterschiedliche Raumakustik vorzufinden.

Es wäre aber völlig verfehlt, demnach programmabhängig unterschiedliche Abhörräume in den Funkhäusern zu installieren; schließlich kann auch der Hörer seine Raumbedingungen nicht laufend verändern. Die Lösung muß vielmehr durch geeignete Signalaufbereitung auf der Wiedergabeseite für einen Standardraum gefunden werden.

### 2.3.2. Zur Anordnung der Abhöreinrichtungen

Bekanntlich verursacht die Lautsprecherwiedergabe prinzipbedingt die größte Einschränkung in der Stereophonie, wenn der Zuhörer sich nicht exakt in der Mittensenkrechten der Basis befindet. Laufzeitdifferenzen um 1 ms zwischen kohärenten Signalen können die Phantomschallquelle bereits mit einem der beiden Lautsprecher zusammenfallen lassen - das entspricht einem Weg von ca. 33 cm. Eine Verschiebung des Kopfes um ca. 10 cm bedingt eine Laufzeitdifferenz von 30  $\mu$ s und somit eine Hörereignisverschiebung von ca. 12°. Diese Werte mögen für den Hörer im Wohnraum noch tolerierbar sein; für den produzierenden Tonregisseur entstehen damit bereits erhebliche Fehler bei der Einstellung des Klangbildes für die verschiedenen Teilschallquellen. Fordert man im Abhörraum ferner für die Abhöreinrichtung ein bestimmtes Bündelungsmaß, ergibt sich eine relativ kleine Hörzone für optimalen Frequenzgang.

Die bekannte Definition einer bestimmten "Stereo-Hörfläche" in Abhängigkeit vom Kohärenzgrad hat sich in der Praxis nicht bewährt.

Sie ist vielmehr nur ein "Schlauch minimaler Breite". Auch frühere Empfehlungen, daß die nutzbare Hörfläche sich vergrößern ließe, wenn sich die Achse von gerichteten Lautsprechern vor einem Hörer in der Mitte schneiden, sind nicht realisierbar. Angenommen wurde, daß in diesem Fall bei Bewegung des Kopfes aus der Mitte heraus aufgrund der Äquivalenzbeziehungen die durch Änderung der Laufzeit hervorgerufene Verschiebung des Mitteneindrucks durch Intensitätsunterschiede der Lautsprecherrichtwirkung wieder aufgehoben werden könne. Es treten aber dabei frequenzabhängige Lokalisationsfehler, Änderungen der Klangfarbe und der Tiefenstaffelung, Verbreitung der Phantomschallquellen und Probleme bei bewegten Schallquellen auf.

Erwartungen des Aufnahmepersonals, daß bei längerer Nachhallzeit des Abhörortes die genannte Stereo-Hörfläche erheblich breiter würde, sind nicht erfüllbar, da Pegel- und Laufzeitunterschiede weitgehend von der Nachhallzeit unabhängig sind. Dagegen können eine längere Nachhallzeit durch den geringer werdenden Hallabstand sowie stärkere Kurzzeitreflexionen im Bereich bis ca. 10 ms zu geringerer Lokalisationschärfe und zu einer Verbreitung der Phantomschallquellen führen. Die dann mitunter empfundene "stärkere Bindung des Klanges" würde also mit zu großen Nachteilen erkauft werden.

Es wird daher allgemein empfohlen, daß mehrere bei der Aufnahme beteiligte Mitarbeiter stets hintereinander sitzen, um sowohl Lokalisations- als auch Klangfarben- und Balanceeinstellungen eindeutig und reproduzierbar vornehmen bzw. beurteilen zu können. Für Film- und Fernsehproduktionen kann dies zu Problemen führen. Abweichungen vom Mittenplatz (Bezugs-Abhörort) können nämlich dazu führen, daß mehr der Abhörraum den Kohärenzgrad bestimmt als die Aufnahme selbst.

Die vorn erwähnten Vorschläge zur Verringerung der erwähnten Platzabhängigkeit, insbesondere durch Einfügung eines (dritten) Mittenlautsprechers, sollten daher aus diesen Gründen ernster als bisher verfolgt werden [43].

### 3. Qualitätsparameter

Zum Schluß noch ein Wort zu den Qualitätsparametern, die für das Ende der Übertragungskette vom Funkhaus oder Schallplattenstudio bis zum Hörer maßgebend und zu beachten sind.

Es hat sich gezeigt, daß trotz übersichtlichem Aufbau der Kette aufgrund unterschiedlicher Betriebstechnologien und uneinheitlicher Interpretation von internationalen Empfehlungen auch bei der UKW-Übertragung noch viele vermeidbare Fehler auftreten. Wir haben schon fast vergessen, daß aufgrund der Preemphasis und anderer Einschränkungen im Laufe der Kette eine unbeeinflusste Übertragung des Programmsignals - auch nach über 60 Jahren Rundfunk - nicht möglich ist.

Eine Arbeitsgruppe im CCIR (IWP 10/6) [32] befaßt sich seit 4 Jahren damit, einheitliche Festlegungen zu erarbeiten und deckt ständig bisher nicht eindeutig erkannte Fehler auf.

Sie leistet damit wichtige Arbeit, um überhaupt einen Qualitätsstand definieren und daraus für die Wiedergabeseite wirkliche Hi-Fi-Bedingungen ableiten zu können.

Hier sehen wir eine schon übersehbare Entwicklungstendenz vor uns; die Formulierung einer neuen Qualität. "Hi-Fi-" wie bisher in Standards definiert - reicht nicht mehr aus.

4. Literaturhinweise

- [1] THEILE, G.: Zur Theorie der optimalen Wiedergabe von stereofonen Signalen über Lautsprecher und Kopfhörer. RTM 25 (1981) 4, S. 155-170
- [2] BLUTNER, F.: Psychoakustisches Funktionsmodell und Möglichkeit einer technischen Systemoptimierung. Nachrichtentechnik-Elektronik 33 (1983) 1, S. 21-26
- [3] HALLER, K.;  
BLUTNER, F.: Multiples Modell zur Beschreibung subjektiver Klangattribute. Nachrichtentechnik-Elektronik 33 (1983) 1, S. 33-35
- [4] BLAUERT, I.: Räumliches Hören. S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1974
- [5] BAUER, B. B.: Stereophonic earphones and binaural loudspeakers. J. AES 9 (1961) 2, S. 148-151
- [6] ATAL, B. S.;  
SCHROEDER, M. R.: Die Nachahmung der Raumakustik durch den Elektronenrechner. Gravesaner Blätter (1961) 27/28; 124
- [7] DAMASKE, P.;  
MELLERT, V.: Ein Verfahren zur richtungsgetreuen Schallabbildung des oberen Halbraumes über zwei Lautsprecher. Acustica 1969/70, S. 153-162
- [8] CARVER, R. W.: Sonic Holography. Audio 66 (1982) 3, S. 26, 30-35
- [9] o. V.:  
AMBIENCE-PHONE und AMBIENCE-STEREO  
- Zwei neuartige Stereo-Wiedergabesysteme für Kopfhörer und Lautsprecher. Funkschau 52 (1980) 18, S. 69-71  
19, S. 91-92
- [10] KEIBS, L.;  
TISMER, W.: Verfahren zur Wiedergabe stereofoner Schallübertragungen und -aufzeichnungen. WP 42908 (Anmeldetag: 12. 4. 61) WP 47205
- [11] DOLBY, R.: 1. Schaltungsanordnung für die stereofone Tonwiedergabe. Auslegeschrift 25 36 682 (BRD); Anmeldetag: 18. 8. 75;  
2. Schaltungsanordnung zur Ableitung eines Mittenkanalsignals für stereofone Tonwiedergabeanlagen. Offenlegungsschrift 2551 326 (BRD); Anmeldetag: 15. 11. 75

- [12] SNOW, W. B. : Sound Reproducing System. US-Patent 2137032 v. 15. 11. 83
- [13] KUHL, W. : Über eine Lautsprecheranordnung zur Wiedergabe stereophoner Schallaufnahmen. Rundfunktechn. Mitt. 3 (1959) 4, S. 170-171
- [14] HOEG, W. ;  
STEFFEN, F. ;  
STEINKE, G. ;  
REICHARDT, W. ;  
AHNERT, W. : Ein Schallübertragungssystem zur richtungs- und entfernungsgetreuen Beschallung großer Auditorien ("Delta-Stereofonie-System"). Techn. Mitt. d. RFZ 20 (1976) 2, S. 25-27
- [15] LAURIDSEN ;  
SCHLEGEL, F. : Stereofone und richtungsdiffuse Klangwiedergabe. Gravesaner Blätter 2 (1956) 5, S. 28-50
- [16] KEIBS, L. : Möglichkeiten der stereo-ambiofonen Schallübertragung auf 2 Kanälen. Acustica 12 (1962) 2, S. 118-124
- [17] KEIBS, L. : Perspektiven für eine raumbezogene Rundfunkübertragung. Techn. Mitteilungen BRF 4 (1960) 1, S. 2-20
- [18] SCHODDNER, G. R. : Über die Verteilung der energiereichen Schallrückwürfe in Sälen. Akustische Beihefte (1956) 2, S. 445-465
- [19] KEIBS, L. : Zur Frage der Schallfeldverhältnisse in Aufnahme- und Wiedergaberäumen und ihrer Abbildung in den Wiedergaberäumen mittels der Zweikanal-Technik. Techn. Mitteilungen BRF 4 (1960) 4, S. 125-129
- [20] BARRON, M. : The subjective effects of first reflections in concert halls - The need for lateral reflections. J. Sound Libr. 15 (1971) 4, S. 475-494
- [21] MADSON, E. R. : Extraction of ambience information from ordinary recordings. J. AES 18 (1970) 5, S. 490-496
- [22] KUHL, W. ;  
PLANTZ : Die Kombination eines Verzögerungsgerätes mit einem Nachhallgerät zur Erzielung eines Raumeindrucks bei mehrkanaligen Schallübertragungen. Rundfunktechn. Mitt. 20 (1976) 2, S. 39-43
- [23] KOWALGIN, J. A. : Stereofonie: Entwicklungsprobleme und -richtungen. Technika Kino i Televidenja 26 (1982) 9, S. 3-11

- [24] THEILE, G. : Untersuchungen zur Standardisierung eines Studiokopfhörers. Rundfunktechn. Mitt. 27 (1983) 1, S. 17-26
- [25] LEBEDLW, W. M. ;  
REZWIJAKOWA, S. N. : Über die Standardisierung des Abhörraumes. OIRT-Rundfunk und Fernsehen (1977) 2, S. 15-24
- [26] MOLLER, H. : Relevant Hi-Fi-Tests of home. 47. AES-Convention, Februar 1974 Kopenhagen
- [27] WILLIGES, H. : Die Lautsprecherwiedergabe im Wohnraum und ihre Probleme. Funkschau 51 (1979) 8, S. 457-460; 9, S. 516-518
- [28] ATAL, B. S. ;  
SCHROEDER, M.R. ;  
KUTRUFF: Perception of Coloration in Filtered Gaussian Noise-Short-Time spectral analysis by the ear. Vortrag (H-31) zum 4. Intern. Congress on Acoustics, 1962, Copenhagen
- [29] MUELLER, L. : Zum Mechanismus der Klangfärbung in Räumen. Vortrag 24-S-19 zum 7. ICA, Budapest, 1971
- [30] DAVIS, D. : The Lede concept for the control of Acoustic and Psychoacoustic parameters in recording control rooms J. AES 28 (1980) 9, S. 585-595
- [31] VOELKER, E.-J. : Regieräume für Musikwiedergabe. Rundfunktechn. Mitt. 26 (1982) 3, S. 112-120
- [32] STEINKE, G. : Important CCIR-Standards for the Audio-World. Vortrag 6-9 zur 73. AES-Convention, 1983 (Eindhoven) (Preprint Nr. 1984)
- [33] OIRT-Empfehlung E 86/1: OIRT-Bezugs-Abhörräume. Varna 1979
- [34] LOUDEN, M. M. : Dimension-Ratios of Rectangular Rooms with good Distribution of Eigentones. Acustica 24 (1971) 2, S. 101-104
- [35] HUHN, K. : Die Festlegung der Raumproportionen kleiner studioteknischer Räume zur Optimierung der Eigenfrequenzverteilung bei tiefen Frequenzen. Techn. Mitteilungen RFZ 23 (1979) 2/3, S. 55-58
- [36] BORENIUS, J. : On Loudspeakers response in sound Control Rooms. J. AES 29 (1981) 4, S. 258-261
- [37] HIRATA, Y. ; Optimum Reverberation times of Monitor Rooms  
MATSUDAIRA; and Listening Rooms. Vortrag (G-6) zur 68. NAKAJIMA: AES-Convention 1981, Hamburg (Preprint Nr. 1730)

- [38] VÖLKER, E. I.: Proposal for a Standard Control Room.  
Vortrag (F-3) zur 75. AES-Convention 1984,  
Paris (Preprint Nr. 2081)
- [39] IEC, Draft Publication 268-13: "Listening Tests on  
Loudspeakers", Sound  
System Equipment; Part 13  
Working Group Document  
(TC 29-B) (1980)
- [40] STEINKE, G.;  
HANNS, E.: Das Schallbündelungsmaß von Studioabhöre-  
richtungen und Versuche, seine Eignung für eine  
Relation zum subjektiven Bewertungsparameter  
"Präsenz" zu ermitteln. Techn. Mitteilungen  
RFZ 12 (1968) 2, S. 59-66
- [41] FASOLD, W.;  
KRAAK, W.;  
SCHIRMER, W.: Taschenbuch Akustik (1984) Teil Elektro-  
akustik, S. 130-1
- [42] MAUSNER, E.: Programmabhängige 2-3 M trix. Diplomarbeit,  
TU Berlin (West), 1976
- [43] STEINKE, G.: Stand und Entwicklungstendenzen der Stereo-  
fonie. Techn. Mitt. d. RFZ (1984) 1, S. 1-10  
2, S. 25-32