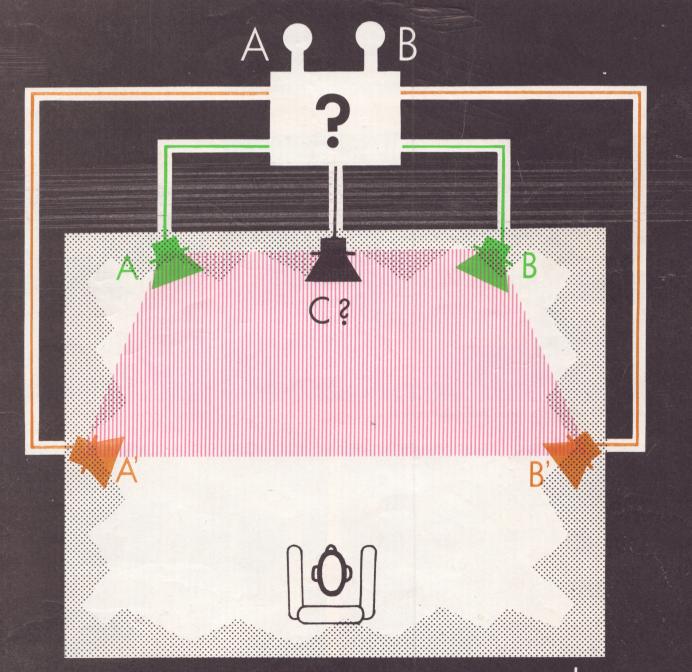
radio fernsehen elektronik

1

Bauanleitung: Basic-Heimcomputer
Anwendung der Signaturanalyse
Dimensionierung von PLL-Schaltungen

VEB VERLAG TECHNIK
BERLIN
ISSN 0033-7900
JANUARHEFT
34. JAHRGANG
EVP 3,80 MARK



STEREOFONIE mit Lautsprecher-?

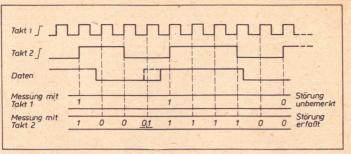


Bild 10: Minimale Toröffnungs- und Torschließungszeit

Bild 11: Wirkung unterschiedlicher Taktfrequenzen bei der Fehlererkennung

Mikrorechner und Signaturanalyse

Mikrorechnersysteme sind auf Grund mehrerer Eigenschaften besonders günstig für die Anwendung der Signaturanalyse:

- Anwesenheit komplexer Datenströme (Bussystem)
- Mehrzahl der Schaltungskomplexe synchron durch CPU-Takt gesteuert
- Möglichkeit der Anregung von Schaltungskomplexen durch Implementierung von Testsoftware (Einsparung von Stimulushardware).

Andererseits treten hier Besonderheiten auf, die innerhalb konventioneller Logiksysteme bei Anwendung der Signaturanalyse nicht berücksichtigt werden müssen. In erster Linie zählt hierzu die spezifische Arbeitsweise einer CPU. Alle Abläufe erfolgen in sinnvoll aufeinanderfolgenden Maschinenzyklen, die in sich streng taktgesteuert ablaufen. Um die Signaturanalyse auch in solchen Systemen erfolgreich anwenden zu können, ist insbesondere der Gültigkeitsbereich der Mikrorechnersignale zu beachten und mit der Arbeitsweise des Signaturanalysators in Übereinstimmung zu bringen.

Betrachten wir hierzu ein einfaches Beispiel. Die CPU wünscht innerhalb eines Speicherzyklus Daten aus einem Speicher zu lesen (Bild 13). Dazu ist die Ausgabe von Adreß- und Steuersignalen zu definierten Taktzeitpunkten erforderlich. Erst in der letzten Taktperiode T₃ werden durch die CPU die Datenleitungen abgefragt. Will man das gesamte Signalsystem, einschließlich der davon abgeleiteten Signale (innerhalb des Speichersystems), abhängig von zusätzlichen Zeitbedingungen (WAIT), der Signaturanalyse unterwerfen, so ist klar, daß die dem Signaturanalysator zuzuführenden Signale sorgfältig aufeinander abgestimmt werden müssen. Dies ist insbesondere bei der Bereitstellung des Taktsignals zu beachten. Dieses darf erst auftreten, wenn die zu analysierenden Signale gültig sind. Die geschilderte Vorgehensweise ist auch bei den übrigen Maschinenzyklen zu beachten.

Um den Anwender des Signaturanalysators 31 020 weitgehend von den Überlegungen nach Auswahl geeigneter Taktsignale zu entlasten, wurde in der Anschlußsteuerung ASA 535 225.0 ein komplexes Taktaufbereitungssystem implementiert.

Weitere Gesichtspunkte bei der Anwendung der Signaturanalyse in Mikrorechnersystemen sind

- Unterbringung von Test- und Stimulusprogrammen im System
- Eintrittsmöglichkeit in der Testphase bzw. Wiedereintritt in die Systemphase

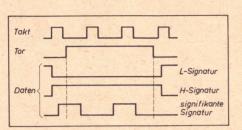


Bild 12: Entstehung von Null- und H-Signatur

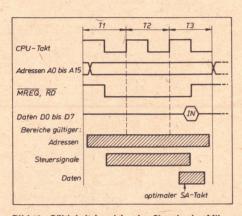


Bild 13: Gültigkeitsbereiche der Signale des Mikroprozessors U 880 D im Speicherlesezyklus

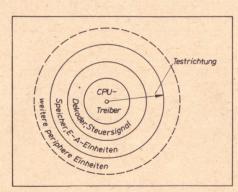


Bild 14: Teststrategie innerhalb eines Mikrorechnersystems

 Bereitstellung von Testhilfen in Form von zusätzlichen Hardwarestimuli sowie weitgehende Berücksichtigung von schaltungstechnischen Besonderheiten (Taktqualifier).

Teststrategie

Bei der Anwendung der Signaturanalyse in komplexen Mikrorechnersystemen sind einige Grundsatzprobleme zu lösen:

- Wie wird die Signaturanalyse in ein vorhandenes universelles Diagnosesystem eingeordnet?
- In welche Teilkomplexe wird der Signaturtest zerleat?

In welcher Reihenfolge werden die Teilkomplexe zweckmäßigerweise durchlaufen?

Da die Signaturanalyse ein reines Auswerteverfahren ist, wird sie im allgemeinen von der System-CPU als steuernde Quelle Gebrauch machen. Eine sinnvolle Teststrategie wird folglich, vom Mikrorechnerkern (CPU und Bustreiber) beginnend, zu peripheren Funktionsgruppen (Speicher, E-A-Bausteine) fortschreiten (Bild 14). Der Test des Kerns erfolgt in der Regel im sogenannten Freilaufzustand, d.h., die CPU wird durch schaltungstechnische Maßnahmen (ohne Benutzung von Programmspeichern) gezwungen, sinnlose Befehle (NOP, LDA.A usw.) guszuführen, die z.B. zum Durchlaufen des gesamten Adreßraumes führen und hierbei zu einer Erregung der CPU-nahen Schaltungsteile führen [7]. Eine einfache Schaltung zum Erzwingen des Freilaufzustandes für die CPU U 880 D unter Benutzung des Befehls LD A.A (OP-Kode 7FH) zeigt Bild 15.

Bezüglich der Funktionsweise der CPU besitzt der Freilauftest nur eine geringe Aussagekraft, weitere CPU-Tests werden nur mit Hilfe von Stimulusprogrammen zu sinnvollen Ergebnissen führen. Hierbei können unterschiedliche Wege beschritten werden. In [8] ist eine emulationsähnliche Technik beschrieben, die mit Hilfe von Zusatzhardware und Stimulusprogrammen einen umfangreichen CPU-Test sowie die Analyse weiterer Mikrorechnerkomponenten erlaubt. Die Anwendbarkeit solcher Methoden wird jedoch erschwert, wenn z. B. LSI-Schaltkreise eingelötet werden. In vielen Fällen wird auch durch Mikroprozessor-Selbsttests eine Überprüfung des Systemkerns günstiger sein.

Innerhalb eines größeren Diagnosekomplexes wird die Signaturanalyse unmittelbar nach der Diagnose eines defekten Moduls (nicht mit Signaturanalyse) eingeordnet. Durch sie wird die Fehlerlokalisierung bis zum defekten Bauelement vorgenommen.

Signaturanalyse im Mikrorechnersystem K 1520

Im Standard-Leiterkartensortiment des Systems K 1520 sind keine Vorbereitungen getroffen, um beispielsweise mit dem Signaturanalysator 31 020 unmittelbar eine Signaturanalyse durchführen zu können.

Mit Hilfe der folgenden vom VEB Robotron Meßelektronik "Otto Schön" Dresden angebotenen Geräte bzw. Leiterkarten ist die Signaturanalyse in den meisten Anwendungsfällen durchführbar:

Fortsetzung auf Seite 54

Stereofonie

Obering. Dipl.-Ing.
GERHARD STEINKE

Mitteilung aus dem Rundfunk- und Fernsehtechnischen Zentralamt der Deutschen Post¹)

1. Zielstellungen der Zweikanalstereofonie

Allgemein müssen Ziel und Aufgabe der elektroakustischen Übertragungstechnik darin bestehen, für den Hörer in seinem Wohnraum die Voraussetzungen für ein bestmögliches Hörerlebnis zu schaffen [1] [2] [3] [4]. Dazu gehört, bei der Wiedergabe die Wahrnehmung der notwendigen Richtungs-, Entfernungs- und Raumeindrücke zu gewährleisten, um die Zuordnung der einzelnen Teilschallquellen im Ursprungsraum verhältnisgerecht und im entsprechenden Abstand im Hörereignis beizubehalten. Dazu gehört aber auch die Erhaltung bzw. proportionale Transformation bestimmter subjektiver Parameter wie Lautstärkeverhältnisse, Klangfarbe, Durchsichtigkeit, Zusammenklang usw., um insgesamt eine überzeugende Vorstellung vom jeweiligen Schallereignis, einschließlich seiner akustischen Umwelt sowie seiner ästhetischen und inhaltlichen Werte, der jeweiligen Hörerwartung entsprechend, zu vermitteln.

Eine weitgehende Originaltreue (bei Verzicht auf den Anwesenheitseffekt und den optischen Eindruck) ist nur mit einem idealen kopfbezogenen Stereofonieverfahren erreichbar, bei dem sich die Hörereignisse bei der Aufnahme, d. h. im Originalschallfeld, und bei der Wiedergabe hinsichtlich ihrer räumlichen, zeitlichen und eigenschaftlichen Merkmale entsprechen. Die in den letzten Jahren erreichten Verbesserungen bei der Kunstkopftechnik haben sich der Forderung nach Originaltreue schon sehr weit genähert.

Dagegen erreichte bisher die raumbezogene Stereofonie, bei allen positiven Eigenschaften, nur eine Annäherung mit Kompromissen und Einschränkungen. Tatsächlich entwickelte sich auf Grund der Randbedingungen wie die der Wohnraumwiedergabe und der Kompatibilität, die bestimmte Grenzen setzen, eine eigene Zielstellung und damit ein eigener Reproduktionsstil, dessen klangliches Erlebnis bemerkenswerte und oftmals vorteilhafte Unterschiede zum Eindruck im Konzertsaal aufweist, im Sinne eigenständiger und medienspezifischer Nachschöpfungen. Das darf jedoch nicht darüber hinwegsehen lassen, daß die räumliche Einbeziehung unvollkommen ist.

Im folgenden Beitrag werden anhand veröffentlichter Ergebnisse der vielfältigen Untersuchungen in der DDR und in zahlreichen anderen Ländern die wesentlichen Probleme und Vorschläge zur Verbesserung der Stereofonie dargestellt; ästhetische Fragen können nur gestreift werden. Trotz des erreichten beachtlichen Fortschritts seit Einführung der Stereofonie ist erkennbar, daß sowohl die theoretischen Grundlagen als auch die derzeitige Zweilautsprecherwiedergabe bei effektiverer Nutzung des Informationsinhalts, wie er bereits in den beiden Teilsignalen vorhanden ist, einer sinnvollen Weiterentwicklung bedürfen. Auf die hochfrequenztechnische Seite wird nicht näher eingegangen. Erst bei einer Forderung nach mehr als zwei Übertragungskanälen werden hier neue Probleme entstehen. Ökonomische Grenzen und Bedingungen der Standardisierung lassen aber derartige Anforderungen vorläufig nicht als real erscheinen.

2. Grundlagen der Stereofonie

In den Anfangsjahren des Stereorundfunks reichten die theoretischen Vorstellungen über den Mechanismus des Gehörs beim räumlichen Hören nicht aus, um Ansatzpunkte zur entscheidenden Verbesserung der stereofonen Übertragung - sowohl der raumbezogenen als auch der kopfbezogenen - zu finden. Viele Einzeluntersuchungen zur Richtungslokalisation [6] [7] hatten Einfluß auf Veränderungen und Weiterentwicklungen, vorwiegend entwickelte sich jedoch die raumbezogene Stereofonie aus der täglichen Aufnahmepraxis bei Rundfunk und Schallplatte heraus. Die kopfbezogene Stereofonie, die Kunstkopfstereofonie, mit ihrer anderen Zielstellung, die dem natürlichen Hören entsprechen soll, besaß in den ersten Jahren der Einführung einige prinzipielle Schwächen, vor allem unzureichenden Vorn-Eindruck, Klangfarbenmängel, zu geringe Kompatibilität des Kunstkopf-Mikrofonsignals mit den Signalen der raumbezogenen Stereofonie. Die vielfältigen Untersuchungen, die besonders der Kunstkopfstereofonie gewidmet waren, führten zu bemerkenswerten Fortschritten, die nunmehr auch der raumbezogenen Stereofonie zugute kommen werden.

Es zeigte sich dabei, daß bisherige theoretische Lösungsansätze unzutreffend waren, sowohl hinsichtlich der geeigneten Entzerrung von Kunstkopfmikrofonen und Kopfhörern als auch für die Problematik der Lokalisation bei Lautsprecherwiedergabe. Während man sich bei den meisten Untersuchungen auf die Lokalisation einer Einzelschallquelle konzentriert hatte, waren die Probleme der Lokalisation im überlagerten Schallfeld, Fragen des Entfernungs-, Elevations- und Raumeindrucks nur unbefriedigend geklärt.

Vor einiger Zeit führte Theile [8] [9] ein Assoziationsmodell für die Lokalisation im überlagerten Schallfeld ein. Er stützt sich dabei auf die Hypothesen, daß Assoziationsvorgänge ein Grundprinzip der sensorischen Reizverarbeitung darstellen und daß die Lokalisation über einen Reizmustervergleich zwischen aktuellen Reizen und erlernten Reizmustern erfolgt, die Hörereigniszuordnung also auf Grund der Hörerfahrung zustande kommt.

Die Zweikanalstereofonie basiert im wesentlichen auf dem Phänomen, daß bei Abstrahlung positiv korrelierter Signale über zwei Lautsprecher Phantomschall-

quellen erzeugt werden. Bisher wurde das Entstehen von Phantomschallquellen einer "Summenlokalisation" zugeschrieben, worunter verstanden wurde, daß aus den Schallfeldüberlagerungen an den Ohren (jedes Ohr enthält von jedem der beiden Lautsprecher einen bestimmten Schallanteil) Summensignale resultieren, deren Komponenten das Gehör nicht mehr zu trennen vermag und die zu resultierenden Richtungseindrücken einer fiktiven Schallquelle führen. Daraus entwickelte sich eine Reihe von Summenlokalisationstheorien [11] [12] [13] für das reine Richtungshören, die von einer Äguivalenz der Ohrsignale für diesen Fall und der Situation einer am Ort der Phantomschallquelle befindlichen realen Schallquelle (Ersatzschallquelle) ausgingen. Die Probleme der Entfernung, Elevation in Abhängigkeit vom Basiswinkel der Lautsprecheranordnung, Mitdrehen der Hörereignisse bei Kopfdrehung in engen Grenzen usw. waren damit nicht zu deuten.

Teil 1

Es ist aber leicht einsehbar und inzwischen auch nachgewiesen [14], daß die Ohrsignale im überlagerten Schallfeld, d.h. bei Wiedergabe über zwei Lautsprecher, eine andere spektrale Zusammensetzung als bei einer einzelnen Ersatzschallquelle haben müssen; die kurze Verzögerungszeit zwischen den beiden Schallfeldern (bei 60° Basiswinkel zwischen 250 µs und 320 µs, je nach Kopfgeometrie) führt durch Kammfilterwirkung zu linearen Verzerrungen. Merkwürdigerweise stören sie nicht. Gerade die erheblichen Probleme bei der kopfbezogenen Stereofonie zeigen aber, wie schnell dort schon geringe lineare Verzerrungen zur Im-Kopf-Lokalisation (IKL) führen können. Bei der raumbezogenen Stereofonie werden durch diese Verformungen die Entfernungswahrnehmungen und die Klangfarbe jedoch nicht beeinflußt. Es gab zwar genügend Hinweise, daß die Summenlokalisationstheorie offenbar unzureichend ist, jedoch erst mit Hilfe der Hypothese von Theile lassen sich die verschiedenen Widersprüche (auch zum erwähnten Kammfiltereffekt) erklären. Identische Hörereignisse können demnach

auch bei unterschiedlichen Ohrsignalen entstehen, durch ein oder mehrere Lautsprecher (Schallquellen); im letzteren Fall, wenn die folgenden Voraussetzungen für Phantomschallquellenbildung (bisher als Summenlokalisationseffekt bezeichnet) bei den abzustrahlenden Signalen vorhanden sind [1]:

41

Die ungekürzte Fassung dieses Beitrages einschließlich des Literaturverzeichnisses erschien in "Technische Mitteilungen des RFZ", Hefte 1 und 2 (1984)

- gleichartige, positiv korrelierte Signale (im allgemeinen von der gleichen Schallquelle im Ursprungsraum stammend und mit Mono- bzw. Koinzidenzmikrofon aufgenommen)
- Einhaltung bestimmter Grenzwerte der Pegel- und Laufzeitdifferenzen zwischen beiden Signalen.
 Typische Beziehungen sind in den Bil-

dern 1 und 2 zusammengestellt.

Einhaltung einer bestimmten geometrischen Zuordnung des Hörers zu den beiden Lautsprechern. (Die übliche Bezugsanordnung für Aufnahme im Studio und Wiedergabe beim Hörer ist die Anordnung entsprechend Bild 3. Die Toleranzen sind in der OIRT-Empfehlung E 86/1 festgelegt [17]; s. dazu Abschnitt 4.)

Darüber hinaus ist zu beachten, daß sich

Laufzeit- und Pegeldifferenzen addieren, also auch kompensieren können. Derartige Aguivalenzbeziehungen lassen sich teilweise aus den Bildern 1 und 2 ableiten und sind stark von den jeweiligen gegebenen Bedingungen abhängig. Eine bessere Veranschaulichung der qualitativen und quantitativen Zusammenhänge, insbesondere auch für den Bereich längerer Laufzeiten, wie er bei der Beschallung gro-Ber Räume von Bedeutung ist, zeigt die Darstellung im Bild 4. (Als Bezug dient Lautsprecher 2 \(\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\tin}\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\te}\tint{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\texi}\tiex{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\texi}\tiex{\texit}\xi}{\text{\text{\text{\text{\text{\text{\texi}\tiex{\text{\tex Nach Theile kann nun angenommen werden, daß nicht die an den Ohren tatsächlich auftretenden Spektren für Richtungsund Entfernungshören und die Außer-Kopf-Lokalisation (AKL) maßgebend sind, sondern die Spektren, die die Lautsprecher einzeln an den Ohren hervorrufen. Somit scheint das Ohr in der Lage zu sein, die Komponenten von Summensignalen, die an

und einzeln zu bewerten.
Als Erklärung werden Assoziations- und Mustererkennungsprozesse vermutet, die durch die zwei aktuellen Lokalisationsreize einzeln ausgelöst werden, so daß erst nach der Diskrimination der Lautsprecherorte infolge der Kohärenz der Lautsprechersignale die Phantomschallquelle gebildet wird und die Lokalisation zwischen den Lautsprechern erfolgt. Dabei wird unter Lokalisation das Zuordnungsgesetz zwischen dem Ort eines Hörereignisses außerhalb des Kopfes und bestimmten Merkmalen eines oder mehrerer Schallereignisse verstanden

den Ohren auftreten, wieder zu trennen

Unter Lokalisationsreiz werden derartige (hinreichend breitbandigen) Ohrsignale an den Trommelfellen verstanden, die sich hinsichtlich der Zeit- und der spektralen Merkmale einem einzigen Schallereignisort zuordnen lassen. Ein Lokalisationsreiz ist gegeben durch die Wirkung des Außenohres im Schallfeld einer Schallquelle.

Das Assoziationsmodell ist durch eine zweidimensionale Reizverarbeitung gekennzeichnet (s. Bild 5 nach [8]):

Nach spektraler Zerlegung der Ohrsignale mit Hilfe von Filtern folgt zuerst

- die Ortsassoziationsstufe (Mechanismus der assoziativ gesteuerten Mustererkennung für räumliche Merkmale)
- danach die Gestaltassoziationsstufe (Signalerkennung, Bestimmung der eigen-

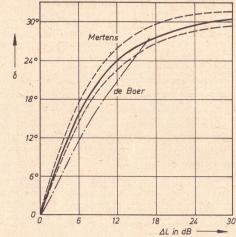


Bild 1: Subjektiv ermittelte Abhängigkeit des Hörereigniswinkels φ (Lokalisationswinkels) von der Pegeldifferenz ΔL zwischen den Schallpegeln Lo, Lı der Lautsprecher Q_0 , Q_1 bei der Zweikanalwiedergabe nach de Boer [7] für Sprache und nach Mertens [13] für Gaußtöne (Mittelwerte, nach [1]). Der angegebene Streubereich gilt für Frequenzen von 330...7 800 Hz

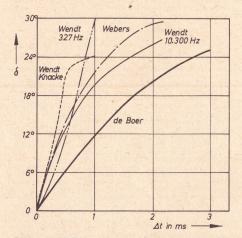


Bild 2: Subjektiv ermittelte Abhängigkeit des Hörereigniswinkels φ (Lokalisationswinkels) von der Laufzeitdifferenz $\Delta t=t_1-t_0$ zwischen den beiden Signalen bei Zweikanalwiedergabe nach de Boer [7] für Sprache (Basiswinkel $\delta=48^\circ$); nach Wendt [12] für Knacke und terzbreite Tonimpulse 327 Hz und 10 300 Hz (Basiswinkel $\delta=60^\circ$) nach Webers [15] und nach Blauert [16]

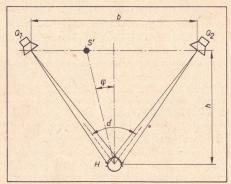


Bild 3: Standard-Wiedergabeanordnung bei Zweikanal-Stereofonie nach OIRT-E 86/1 [17]

- Q₁ linker Wiedergabelautsprecher
- 2 rechter Wiedergabelautsprecher
- Hörer auf der Mittellinie zur Basis Basisbreite
- Hörabstand (Optimum ≈ 0,7 b; zulässige
- Grenzen: 0.5 bis 1.5 b)
- Ort der Phantomschallquelle
- Hörereignisrichtung (Lokalisationswinkel)
 Basiswinkel (Optimum ≈ 70°; Heimstandard = 60°; zulässige Grenzen: 37°...90°)

schaftlichen Merkmale des Hörereignisses – mit Ausnahme der räumlichen Merkmale).

Diese beiden Stufen entsprechen völlig den beiden elementaren Bereichen der Hörerfahrung: Die empfangenen Ohrsignale sind zurückzuführen auf die beiden voneinander unabhängigen, stets gemeinsam auftretenden Schallquelleneigenschaften Ort und Gestalt.

Die hypothetischen Fähigkeiten der Ortsassoziationsstufe, zwei (oder mehr) Schallereignisse von identischer Gestalteigenschaft gleichzeitig diskriminieren zu können und die Fähigkeiten der Gestaltassoziationsstufe, Schallereignisse identischer räumlicher Eigenschaften gleichzeitig diskriminieren zu können, führen zu einer Darstellung der Phantomschallquellensituation, die sich vom bisher angenommenen Summenlokalisationsprinzip [21] unterscheidet (Bild 6a, Impulsbilder).

In vereinfachter Annahme ist nach dem neuen Modell das Gehör infolge seiner Assoziationseigenschaften in der Lage, aus den überlagerten Schallfeldern AL + BL und B_R + A_R diejenigen Anteile herauszufinden, die von je einem Lautsprecher herrühren. Die Anteile AL/AR und BR/BL lösen wegen korrespondierender Zeit- und spektraler Merkmale je eine Ortsassoziation aus. Es existieren danach nur noch die beiden Reizantworten A' und B' mit den eigenschaftlichen Merkmalen, die von der Schallauelle A bzw. B herrühren, Erst dann folgt in der Gestaltassoziationsstufe die Signalerkennung und Signalverschmelzung der identischen Information - es kommt zu einem Hörereignisort (Phantomschallquellenort).

Bei der bisherigen Summenlokalisationstheorie wurde gemäß Bild 6b die Auswertung der Summensignale $A_L + B_L$ bzw. $B_R + A_R$ angenommen; diese enthalten aber die spektralen Verformungen auf Grund des Kammfiltereffektes. Da die Verformungen für die Klangfarbenwahrnehnung, Elevation und AKL unwirksam sind, ergibt sich damit die Unhaltbarkeit der bisherigen Modellvorstellung einer Summenlokalisation.

Das Typische der raumbezogenen Stereofonie ist demnach die Phantomschallquellenbildung (wenigstens zwei Ortsassoziationen führen zur Lokalisation eines Hörereignisses! Die Bezeichnung Ersatzschallquelle ist also falsch) im Unterschied zur kopfbezogenen Stereofonie, bei der Ersatzschallquellenbildung als Folge einer Ortsassoziation für den Hörereignisort zustandekommt.

Mit dem Assoziationsmodell, das hier nur kurz skizziert werden konnte, werden Phänomene des räumlichen Hörens einheitlich erklärt und bieten sich weitere Ansätze für Untersuchungen auf dem Gebiet der elektroakustischen Übertragung.

Insbesondere kann daraus die richtige Entzerrung für Kopfhörer abgeleitet werden: Die inverse Filterung in der Ortsassoziationsstufe erfolgt nur dann, wenn die Wirkung des Außenohrs an der Bildung der Ohrsignale "erkannt" wird; beim natürlichen Hören enthalten die breitbandigen Ohrsignale entsprechende Außenohrmerkmale. Bei der Kopfhörerwiedergabe findet dagegen durch die bisher übliche 0°-Freifeldentzerrung des Kopfhörers die inverse

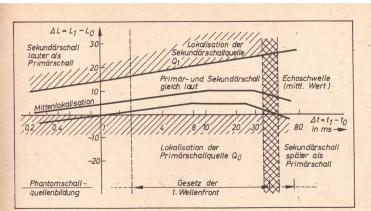


Bild 4: Geltungsbereich der Phantomschallquellenbildung bzw. des Gesetzes der ersten Wellenfront [18]

periphere Stufen

Orts - assoziationsstufe

Ohrsignal

Ohrsignal

Filterbank

Ohrsignal

Filterbank

ortsbestimmende Mustererkennung

Mustererkennung

Hörereignis

spektrale Selektion

Selektion

Bild 5: Prinzip des Assoziationsmodells nach Theile [8] [9]

Filterung nicht statt, weil die Ohrsignale (bei Wiedergabe von raumbezogenen Signalen) keine auswertbaren Außenohrmerkmale enthalten. Selbst ein individuell genau freifeldentzerrter Kopfhörer könnte bestenfalls für die monofonen Anteile des Stereosignals auswertbare Außenohrmerkmale erzeugen. Aber auch das wird in der Praxis nicht erreicht (zu erkennen an der IKL), so daß die spektralen Merkmale der Ohrsignale, die der freifeldentzerrte Kopfhörer verursacht, erst in der gestaltbestimmenden Stufe zur Wirkung kommen und somit vom Prinzip her Klangfarbenfehler auftreten. Daher ist zu begründen, daß nur eine Diffusfeldentzerrung bei Kopfhörern sinnvoll ist [22].

Es ist zu erwarten, daß in Weiterentwicklung des Modells auch Verbesserungsmöglichkeiten bei der raumbezogenen Stereofonie mit Lautsprechern gefunden werden können.

3. Prinzipielle Verfahrenslösungen

3.1. Raumbezogene Stereofonie

Bekanntlich unterscheidet man nach den beiden wesentlichen Faktoren, die zur Phantomschallquellenbildung führen, die grundlegenden Aufnahme- und Wiedergabeverfahren

Intensitätsstereofonie Laufzeitstereofonie.

je nachdem, ob vorzugsweise Pegel- oder Laufzeit-(Phasen) unterschiede (entsprechend den in den Bildern 1 und 2 gezeigten Zusammenhängen) die Richtungsinformationen übertragen [1]. In der üblichen Anordnung entsprechend Bild 3 treten die Hörereignisse und die Räumlichkeitswahrnehmungen (nur) in der Basisebene (Bild 7) auf.

Für die Aufnahme in Intensitätsstereofonie werden entweder Koinzidenzmikrofone oder Kombinationen von Koinzidenz- und richtungsgeregelten Einzelmikrofonen verwendet. Viele Rundfunk- und Schallplattenorganisationen bevorzugen dieses relativ übersichtliche Verfahren, da bei Koinzidenzmikrofonen durch die spezielle Bauweise praktisch nur Intensitätsunterschiede übertragen werden, und bei den Einzelmi-

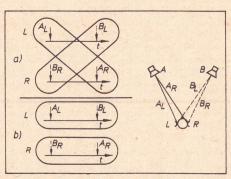
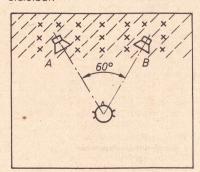


Bild 6: Auswertung der Ohrsignale in einer Phantomschallquellensituation (nach Theile [8]). a) Assoziationsprinzip; b) Summenlokalisationsprinzip

krofonen die akustische Entkopplung der einzelnen Systeme zur Vermeidung unbeabsichtigter Paarbildung beherrschbar ist, wenn das akustische Übersprechen zwischen den Mikrofonen gering gehalten wird. Hauptvorteil ist die volle Kompatibilität [23] der monofonen Fassung. Ferner wird bei diesem Aufnahmeverfahren trotz der Frequenzabhängigkeit der Phantomschallquellenbildung mit Hilfe der Intensitätsdifferenzen (Bild 1) im Hörereignis eine bessere Lokalisationsschärfe und gleichmäßigere Ausfüllung des Basisbereiches als bei Laufzeitstereofonie erreicht. Allerdings ist die räumliche Einbeziehung gering; eine Raumwirkung ist nur in der Tiefe erzielbar.



X Phantomschall- /// Gebiet des quellen Räumlichkeits- eindruckes

Bild 7: Hörereignisse (Phantomschallquellen und Raumeindruck) bei Intensitätsstereofonie

Zu der allgemeinen Bevorzugung der Intensitätsstereofonie haben u. a. Arbeiten über die M/S-Mikrofontechnik und ihre zweckmäßige Anwendung im regietechnischen Bereich, die Umsetzungsmöglichkeiten M/S → A/B usw. bedeutend beigetragen [24] [25] [26]; insbesondere führt dabei die symmetrische A/B-Regietechnik zu übersichtlichen Verhältnissen.

Praktikable Mikrofontechnologien für Intensitätsmikrofone zur getrennten Verarbeitung der Direkt- und der Rauminformationen wurden im RFZ der Deutschen Post für den Rundfunk der DDR entwickelt [28] und inzwischen weiter modifiziert, um sich den vielfältigen Aufnahmesituationen anzupassen.

Demgegenüber wenden einige Rundfunkorganisationen (u.a. Niederlande, Schweiz, Frankreich) für sinfonische Musik die Laufzeitstereofonie mit distanzierten Mikrofonen an (Abstände von zwei Hauptmikrofonen 15 cm bis etwa 1 m sind üblich), weil diese Anordnung zu einer verstärkten Räumlichkeitswahrnehmung führt. Der Zusatz von Stützmikrofonen erfordert allerdings eine laufzeitgerechte Einordnung, was mit digitalen Verzögerungsgeräten möglich wird.

Problematisch ist bei dem Laufzeitverfahren jedoch die Kompatibilität (Addition der beiden Signale kann zu frequenzabhängigen Auslöschungen führen), so daß für monofone Versionen mitunter nur ein Teilsignal A bzw. B anstelle des Summensignals benutzt werden kann. Die Aufnahmetechnologie ist nicht einfach beherrschbar; in Abhängigkeit von den Abständen der Mikrofone untereinander sowie von den einzelnen Schallquellen kann ein "Loch in der Mitte" auftreten, das sich als Konzentration der Hörereignisse in Nähe der Basislautsprecher äußert. Derartige Eigenheiten und auch die stärkere Frequenzabhängigkeit erschweren die Handhabung der Laufzeitstereofonie und führen zu größerer Lokalisationsunschärfe.

Auch Kombinationen beider Verfahren können zu guten Ergebnissen führen. Untersuchungen [29] zeigten, daß Aufnahmen in "gemischter" Stereofonie ähnliche Ergebnisse liefern wie mit Intensitätsstereofonie, jedoch eine etwas größere Ortungsunschärfe aufweisen.

Eine spezielle Anordnung distanzierter Mikrofone mit Trennscheibe [30], die ähnlich einem Kunstkopf mit Diffusfeldentzerrung wirkt, erzeugt ein Lautsprechersignal, das Vorteile der Kunstkopftechnik mit Klangfarbenkompatibilität verbindet. In letzter Zeit mehren sich aber auch kritische Hinweise, daß bei bestimmten Verfahrenskombinationen und allgemein bei Polymikrofonie unter hochwertigen Abhörbedingungen und bei Diaitalaufzeichnungen hörbare Phasen- bzw. Laufzeitfehler, Auslöschungen, Frequenzgangverzerrungen u.a. auftreten können. Man kann daher bereits eine Tendenz zur Reduzierung der Zahl der Mikrofone und zur Vereinfachung der Technologie feststellen.

Bei Beachtung der entsprechenden Bedingungen sind jedoch bei beiden Aufnahmeverfahren, je nach angewandter Mikrofonund Bearbeitungstechnologie, Ergebnisse möglich, die Hörerlebnissen im Ursprungsraum nahekommen, bzw. diesen gegenüber in speziellen Parametern Vorteile aufweisen [31]:

- Das Lautstärkeverhältnis der Instrumente und Solisten zueinander ist optimierbar.
- Die Durchsichtigkeit (Klarheit) der klanglichen Passagen, insbesondere der subtilen Einschwingvorgänge, ist bis zu ästhetisch sinnvoller Größe zu steigern – ein wichtiger Vorteil der Stereofonie.
- Ausgewogene Klangfarbe (bei zweckmäßig dosierter Präsenz einzelner Teilschallquellen) ist erzielbar.
- Gleichmäßige Richtungsverteilung (stereofone Auflösung) und angemessene Tiefenstaffelung sind erreichbar. Dabei kann aufnahmetechnisch in gewissem Umfang auch das R/D-Verhältnis angepaßt werden.

Die wesentlichen Mängel der raumbezogenen Zweikanalstereofonie sind wie folgt zu beschreiben:

- Hörereignisse können im allgemeinen nur im Winkelbereich zwischen den beiden Lautsprechern lokalisiert werden [1], und es ist nur ein begrenzter Raumeindruck zu vermitteln (Bild 6).
- Es besteht starke Abhängigkeit des Mittensignaleindrucks bei Abweichungen vom optimalen Hörerplatz.
- Die akustischen Eigenschaften des Wiedergaberaumes beeinflussen im allgemeinen das Hörereignis.
- Die Forderung nach Kompati Bilität (Mono/Stereo) zwingt zu aufnahmeund wiedergabetechnischen Kompromissen [23] oder muß sogar (z. B. beim Stereohörspiel) bis zu einem gewissen Grade ignoriert werden.

3.2. Kopfbezogene Stereofonie

Es bestehen keine Zweifel, daß die Reproduktion der im Ursprungsraum (Aufnahmeraum) auftretenden Ohrsignale, d. h. der Originalverhältnisse, als hinreichende und zugleich notwendige Bedingung für eine weitgehend originalähnliche Wiedergabe gelten muß [14] [33].

Der Grundmangel einer Im-Kopf-Lokalisation des Hörereignisses, d. h. der fehlende Entfernungs- und Abstandseindruck bei Kopfhörerwiedergabe, war lange Zeit nicht zu beheben.

Erst mit einer entscheidenden Verbesserung des Aufnahmeorgans, des Kunstkopfes [34] [35], wurde 1973 der Durchbruch und die anschließende Einführung für Rundfunkzwecke möglich.

Wie sich aber in der mehrjährigen Experimentierphase zeigte, unterschied sich auch diese Kopfnachbildung (KU 80) noch durch einige prinzipielle Mängel von der Ideallösung und behinderte eine größere Anwendungsbreite der Kunstkopfstereofonie [31] [36]:

- Die Klangfarbe war in Abhängigkeit von der Ansprechrichtung und -entfernung mehr oder weniger unbefriedigend.
- Die Vorn-Ortung war in vielen Fällen ungenügend; die im Bereich ±15° vor dem Kunstkopf befindlichen Schallquellen wurden in zahlreichen Fällen als Hörereignisse hinter dem Kopf geortet (Richtungsinversion), teilweise trat auch wieder IKL auf.

- Es wurde subjektiv eine zu große Räumlichkeit wahrgenommen.
 k
- Es gab keine Kompatibilität hinsichtlich der Klangfarbe zur üblichen raumbezogenen Stereowiedergabe.

Insbesondere der letzte Aspekt behinderte eine größere Anwendung beim Rundfunk und auch bei der Schallplatte. Der Grundwiderspruch zwischen Kopfhörer- und Lautsprecherwiedergabe ist prinzipbedingt zu erwarten:

Während bei Lautsprecherwiedergabe jedes Lautsprechersignal jeweils beide Ohren erreicht und damit abweichende Ohrsignale gegenüber dem natürlichen Hören entstehen, erreichen bei kopfbezogener Stereofonie beide Kunstkopfsignale ungestört die jeweiligen Ohren.

Diese interauralen Übersprechanteile (s. Bilder 3 und 6) wirken als Störkomponenten und führen dazu, daß sich Phantomschallquellen ausbilden und die Lautsprecherwiedergabe deshalb nur innerhalb der Basis (Bild 6) zu Hörereignissen führt. Eine anzustrebende Kompatibilität kann sich daher auch nur auf diesen Bereich beschränken. Mit der früheren Kopfnachbildung KU 80 wurde die Kompatibilität als unzureichend empfunden, da die Klanafarbe unbefriedigend war. Zunächst wurde die Wirkung der Übersprechanteile als ausschließliche Ursache dafür angesehen, bei den weiteren Verbesserungsschritten wurde jedoch festgestellt, daß auch dafür die Unvollkommenheiten der Kopfentzerrung ausschlaggebend sind.

Daß es überhaupt möglich ist, die erwähnten Mängel zu überwinden und sich einer idealen Lösung weitgehend zu nähern, wurde durch Laws und Platte [37] bewiesen, als sie Sondenmikrofone am natürlichen Kopf anbrachten und damit eine Systemlösung sowie Übertragungen hoher Qualität lieferten.

Bei der Gegenüberstellung von Messungen mit Kunstkopf und denen mit Sondenmikrofonen wurden die entscheidenden Unterschiede erkannt.

Zunächst wurde bei der weiteren Entwicklung davon ausgegangen, die akustischen Eigenschaften der Gehörgänge einschließlich der akustischen Impedanz der Trommelfellbezugsebene beim Kunstkopf genauer als bisher nachzubilden und eine verbesserte rückwirkungsfreie Ankopplung der Mikrofone an das System Ohrmuschel-Gehörgang-Trommelfell des Kunstkopfes zu erreichen.

In späteren Untersuchungen zeigte es sich dann [381 [39], daß in der Praxis auf eine mechanische Trommelfellnachbildung verzichtet werden kann und Abweichungen der Impedanz durch entsprechende Entzerrungen der Mikrofonsignale korrigiert werden können.

Zur Verbesserung der Außenohrnachbildung wurde nach einer Vielzahl von Messungen der typische Durchschnittswert neu und genauer ermittelt [40]. Der verbesserte Kunstkopf KU 81 i besitzt daher eine genauere Nachbildung der komplizierten Gestalt und Lage der Außenohren. Der Gehörgang wurde auf 4 mm zugunsten eines möglichst glatten Frequenzganges bei hohen Frequenzen gekürzt, da danach das äußere Schallfeld vom Ohrkanal nicht mehr richtungsabhängig beeinflußt wird. Danach folgt ein Anpaßstück als Über-

gang vom Ohrkanaldurchmesser zum Mikrofonkapseldurchmesser, das auch die akustischen Glieder für die notwendige Entzerrung enthält, die somit auf akustischem Wege hergestellt wird [41].

Weiterhin haben Untersuchungen zur Richtungsabbildung [16] gezeigt, daß der Kunstkopf sich ähnlich zu Intensitätsmikrofonen verhält; die verbleibende Abweichung der Hörereignisrichtung ist exakt auf die gleichsinnig wirkenden Laufzeitdifferenzen zurückzuführen, die der Kunstkopf im Gegensatz zu Koinzidenzmikrofonen zusätzlich vermittelt (gemischte Stereofonie). Bei den Kunstkopfsignalen wirken Laufzeitund Pegeldifferenzen etwa gleichwertig. Da, wie im Abschnitt 3.1. erwähnt, die Lokalisationsunschärfe bei Laufzeitstereofonie in gewissem Maße größer als bei Intensitätsstereofonie ist, kann diejeniae von Kunstkopfsignalen als dazwischenliegend eingeordnet werden. Die Kompatibilitätsforderung wird also in dieser Hinsicht ausreichend erfüllt. Die Frage der geeigneten Entzerrung des Kunstkopfes (und in der Systembetrachtung darauf abaestimmt auch die für den Kopfhörer) löste Theile [16] [42] zugunsten der Kompatibilität auf der Basis der theoretischen Betrachtung am Assoziationsmodell. Er konnte nachweisen, daß gerade die Anpassung an den bisher allgemein freifeldentzerrten Kopfhörer [43] ungeeignet für Lautsprecherwiedergabe ist. Der Kunstkopf, der außerdem in den meisten Fällen in größerer Entfernung zur Schallquelle und in akustisch unterschiedlicher Umgebung aufgestellt wird, sollte daher so entzerrt werden, daß sein Diffusfeldfrequenzgang eben ist, wie das auch bei den üblichen im Studiobetrieb eingesetzten (Stereo-)Mikrofonen angestrebt wird. Eine Freifeldentzerrung kann dagegen immer nur für eine Schalleinfallsrichtung zutreffen, beeinflußt aber das Übertragungsmaß für alle Schalleinfallsrichtungen. Daher hing bisher der Frequenzgang des Diffusfeldübertragungsmaßes von der gewählten Freifeldbezugsrichtung (z. B. 0° oder +30°) ab.

Die Erkenntnis, daß ebener Diffusfeldfrequenzgang sehr gut mit einer hohen Klangfarbentreue korrespondiert, ist in der Praxis nicht neu und hat sich bereits bei der Einmikrofontechnik in der Monofonie als nützlich erwiesen, als durch größere Abstände der Mikrofone (z. B. vor sinfonischen Klangkörpern) der Diffusfeldfrequenzgang der bedeutsamere war, und man dann lieber einen Anstieg des Freifeldübertragungsmaßes beim Druckempfänger in Kauf nahm. Bereits 1960 wurde auf die vorteilhafte Ausnutzung des Druckanstieges in derartigen Fällen aufmerksam gemacht [44]. Die analoge Anwendung auf den Kunstkopf, der auch in großem Abstand zur Erzielung einer lautstärkemäßig ausgeglichenen Balance aufgestellt wird, wurde aber erst durch die Überlegungen von Theile deutlich gemacht.

Mit der neuen Systemlösung dürfte insbesondere auf der Aufnahmeseite ein ausreichender Stand der Technik erreicht sein. Verbesserungen sind allerdings noch auf der Wiedergabeseite denkbar, u. a.

Individualanpassung des Kopfhörers
 Berücksichtigung von Kopfbewegungen.

Auch beim diffusfeldentzerrten Kopfhörer bleiben dessen (zulässige) Toleranzen und die Abweichungen des jeweiligen Ohres vom zugrundegelegten "Durchschnittsohr" für den Aufnahmekopf bestehen. Hier könnte durch individuelle Entzerrung noch eine weitere Anpassung erreicht werden.

Die Kopfbewegungen, als natürliche Hörgewohnheiten (Orientierungshilfen) des Menschen, erlauben eine Erhöhung der Ortungsschärfe gegenüber unbewegtem Kopf, da dabei die Richtung der höchsten Empfindlichkeit des Gehörs ausgenutzt wird. Eine derartige Maßnahme auf der Wiedergabeseite wurde in [47] vorgeschlagen, und zwar mit Hilfe einer Anordnung, bei der durch geeignete (z. B. elektrische oder mechanische) Steuergrößen, die aus der Kopfdrehung abgeleitet werden, die Übertragungseigenschaften der Wiedergabeeinrichtung so gesteuert werden, daß die Änderungen der Ohrsignale mit denjenigen Änderungen übereinstimmen, die die Ohrsignale bei entsprechenden Kopfbewegungen während des normalen Hörvorganges bzw. während einer raumbezogenen Lautsprecherwiedergabe erfahren würden. Eine industriell gefertigte Lösung (die dem Hörer auch zumutbar ist) wurde bis-

her nicht vorgestellt. Von IRT und MB Electronic [48] wurde ein spezieller Schulterbügel entwickelt, der zwei hochwertige Zweiwege-Lautsprechersysteme seitlich des Kopfes und in geringem Abstand von der Ohrenachse trägt. Die Anordnung erlaubt die Freiheit der Kopfbewegungen im Schallfeld, hat aber darüber hinaus noch den Vorzug der sicheren Vorn-Ortung und der einwandfreien Außer-Kopf-Lokalisation bei der Wiedergabe von Kunstkopfsignalen. Der mitunter störende Kopfhörereffekt wird vermieden. Entzerrt wird dieser sog. Kopflautsprecher (MB 2000-Monitor) konsequent in einer Diffusfeldanpassung.

Der praktische Einsatz des neuen Kunstkopfes (KU 81 i), diffusfeldentzerrt und mit bedeutend besseren Klangfarbeneigenschaften, hat gezeigt, daß dieser in Verbindung mit diffusfeldentzerrtem Kopfhörer sehr nah an die Idealbedingungen herankommt. Es gelingt damit [36]

- den Ursprungsraum überzeugend darzustellen, insbesondere hinsichtlich des Raumeindrucks und der Halligkeit
- die Schallquellen, d. h. Sänger, Sprecher, Musiker und ihre mögliche Bewegung über die gesamte Hörperspektive bis zur unmittelbaren Nähe des Ohres zu verteilen und dabei entfernungsund richtungsgetreu abzubilden
- hohe Durchsichtigkeit durch exakte Lokalisation zu vermitteln, wobei diese durch Anwendung des intelligenten Hörens, d. h. des bewußten Orientierens auf bestimmte Teile im Hörereignis, unterstrichen wird
- die Klangfarbe korrekt zu vermitteln und damit auch die Unterscheidbarkeit von Stimmen, Instrumenten u. a. zu unterstützen, die ohnehin schon durch Richtungsverteilung und Tiefenstaffelung beim Kunstkopfverfahren differenziert empfunden werden kann.

Bedeutsam dabei ist die Tatsache, daß sowohl der Hörer zu Hause als auch der Abhörende im Studio unter Verwendung hochwertiger Kopfhörer die prinzipiell gleichen Hörbedingungen erreichen können.

Mit Lautspiechern wäre das trotz optimistischer Entwicklung der HiFi-Technik aus raumakustischen Gründen und wegen der im Heim begrenzten Abhörlautstärke, -dynamik und -qualität praktisch nicht erreichbar (s. Abschnitt 4.).

Mit dem Kunstkopf KU 81 i wurden inzwischen auch Musikaufnahmen im Neuen Gewandhaus in Leipzig produziert, die bei der Wiedergabe über Lautsprecher den ebenfalls vorliegenden raumbezogenen Aufnahmen (in üblicher Mehrmikrofontechnologie) mindestens gleichwertig waren. Es gibt aber auch Fälle in der Aufnahmetechnik, bei denen außer dem Kunstkopf auch Stützmikrofone, pegel- und laufzeitgerecht eingesetzt, hinzugefügt werden müssen. Für die verschiedenen Bedingungen hat inzwischen das Aufnahmepersonal des Rundfunks der DDR entsprechende Technologien entwickelt, die weiter vervollkommnet werden. Dabei zeigt sich, daß der Einsatz von Kompandern zur Störabstandsverbesserung unumgänglich ist und die Bandmontage schwieriger und zeitaufwendiger

Die Übertragung in kopfbezogener Technik erfordert aber auch wesentlich strengere Maßstäbe bezüglich der inhaltlichen Werte des Programms; es bieten sich neue Seiten einer beeindruckenden Informationsvermittlung, die das gedankliche Mitgehen, das räumlich differenziertere Beteiligtsein des Hörers, ein bildhaftes Erkennen von Situationen, Vorgängen und Zuständen fördern und unterstützen. Experimente im Fernsehen mit stereofoner Kunstkopfübertragung sollten dabei nicht ausgeschlossen werden.

4. Probleme der konventionellen Wiedergabetechnologie

4.1. Wechselwirkungen zwischen Abhörraum und Abhöreinrichtungen

Wie gezeigt wurde, konnte auf der Aufnahmeseite ein hoher Qualitätsstand erreicht werden. Eine einheitliche Bewertung der produzierten Aufnahmen ist jedoch nur auf der Grundlage eines einheitlichen Abhörstandards erreichbar. Das bedeutet für kopfbezogene Stereofonie die Verwendung von Kopfhörern gleicher definierter Eigenschaften und für raumbezogene Stereofonie weitgehend gleiche Eigenschaften des Abhörraumes (Wiedergaberaumes) und ebenso weitgehend gleiche Eigenschaften der sog. Abhöreinrichtung (d. h. der Einheit von Lautsprecherkombination, Einbaugehäuse, Verstärker usw.) und deren Aufstellung im Raum.

Für die kopfbezogene Stereofonie konnte auf Grund neuerer Erkenntnisse eine gute Systemlösung gewonnen werden. Würde man, wie in [22] vorgeschlagen, dazu noch einen einheitlichen Bezugskopfhörer standardisieren, wäre die Qualität von 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.

Der Bezugskopfhörer, für die kopfbezogene Stereofonie unverzichtbar, ist allein jedoch nicht ausreichend, da die Wiedergabe von raumbezogener Stereofonie 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 (s. Abschnitt 5.2.).

Erschwerender aber zeigte sich die Frage der richtigen System-Ausgangsbedingungen: Die Regieräume der Studios, in denen die zu bewertenden Aufzeichnungen produziert wurden, weichen teilweise erheblich untereinander und vom Bezugsraum im RFZ ab. Das Aufnahmepersonal wurde mitunter durch ungünstiges Zusammenwirken von Raumakustik und Abhöreinrichtung zu Fehleinschätzungen verleitet.

4.1.1. Bedingungen für Abhörräume

Die Ergebnisse der Literatur [49] bis [55] und eigene Erfahrungen lassen erkennen, daß die Anforderungen an spezielle Abhörräume teilweise widersprüchlich sind: 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 [56] [57] [58] lassen erkennen, daß es keinen typischen Durchschnittswohnraum gibt, den man zugrundelegen kann.

Nach Untersuchungen in [59] werden Klangfärbungen durch Kurzzeitreflexionen an Wänden und Decke vom Ohr bereits bei sehr kleinen Pegeln registriert. Über weitere Untersuchungen in akustischen und psychoakustischen Parametern in Regieräunen wird in [51] [53] [60] [61] [63]

Angestrebt wird, daß Reflexionen des Wiedergaberaumes erst dann am Ohr des Tonregisseurs eintreffen, wenn die ersten Reflexionen aus dem Aufnahmeraum unbeeinflußt wahrgenommen werden.

Trotz der in einigen Parametern noch bestehenden Auffassungsdifferenzen spielt die Vereinheitlichung von Abhörräumen, die Suche nach einem Bezugsabhörraum eine zunehmend größere Rolle, sowohl für den internationalen Programmaustausch als auch für vergleichbare systematische subjektive Bewertungen der Übertragungsqualität [63] [64]. 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 derartiger akustischer Unzulänglichkeiten unbefriedigend eingeschätzt werden, und die international nicht austauschbar bzw. kommerziell nicht verwendbar sind.

Da man im Studiobereich zwischen Abhörräumen (hochwertig und nahezu kompromißlos gestaltet) 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:

- 1. hochwertige Abhörräume (Bezugsabhörraum)
- 2. Regieräume
- 3 Idealwohnraum
- 4. Wohnräume (für Hinweise auf Mindestbedingungen).

Für die Kategorie 1. existieren bzw. entstehen z. Z. eine Reihe von Standards der internationalen Rundfunk- und Fernsehorganisationen.

In der OIRT-Empfehlung 86/1 [17] konnte für zahlreiche Parameter Übereinstimmung gefunden werden:

- Volumen 120 m³ ± 30 m³ (Empfehlung für Stereo: obere Toleranz)
- symmetrische Raumform zur Basis: Vermeidung größerer reflektierender Flächen wie Fenster und Türen usw.
- zweckmäßige Seitenverhältnisse zur möglichst gleichmäßigen Verteilung der Eigenfrequenzen des Raumes im unteren Frequenzgebiet
- Nachhallzeit T=0.25 s-0.4 s (mit Toleranz des gewählten Nennwertes von $\pm 0.1 s \leq 160 \text{ Hz}$ und $\pm 0.05 s > 160 \text{ Hz}$).

Für die Kategorie 3. wird in einem IEC-Dokument [73] ein wohnraumgroßer Raum für das Testen und Messen von HiFi-Anlagen empfohlen, der die Grundlage für einen Heim-Abhörstandard bilden könnte. Wesentliche Angaben weichen jedoch von den Empfehlungen für Kategorie 1. ab (z. B. soll die Decke reflektierend sein) und bedürfen weiterer Präzisierungen und Korrekturen, um vergleichbare Bedingungen zu erhalten.

4.1.2. 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. Die Vielfalt der existierenden Studiolautsprecher und die Auffassungsunterschiede zu den einzelnen Parametern verleiten zu dem Ausweg der Standardisierung eines Bezugskopfhörers; dieser kann aber nur eine Hilfsgröße darstellen. Die Erfahrungen des RFZ und des Rundfunks der DDR sowie die Arbeit in der Studiengruppe II der Technischen Kommission der OIRT zeigen, daß eine entsprechende Empfehlung für Studioabhöreinrichtungen (E 55/1) aussichtsreich sein kann, wenn ein progressiver Hersteller bestimmte Grundvereinbarungen beachtet.

Der VEB Musikelectronic Geithain entwikkelte für den Einsatz beim Rundfunk der DDR eine neue Abhöreinrichtung, die sich durch hohe Gleichmäßigkeit im Frequenzgang und in der Richtcharakteristik, geringste Einschwingverzerrungen und hohes Bündelungsmaß (6...10 dB steigend im Bereich 100...10 000 Hz) auszeichnet.

Bei der Entwicklung wurde u. a. die Erfahrung des RFZ berücksichtigt, daß mit Hilfe koaxialer Lautsprecheranordnungen eine bestmögliche Lokalisationsschärfe bei der Stereowiedergabe erreichbar ist. Die neue Abhöreinrichtung (Herstellerbezeichnung: RL 900) besitzt daher eine koaxiale Dreiwegeanordnung und liefert in Verbindung mit dem erreichten Bündelungsmaß eine außerordentlich hohe stereofone Auflösung und Impulstreue. Von vornherein beachtet wurde die klangliche Ähnlichkeit verschiedener Kategorien (A, B und C) von Einrichtungen: Neben dem großen Studiomonitor (A) entstanden eine mittlere (B) (etwa 50 I) und eine kleine Einrichtung (C) (81). Die Einrichtungen B und C sind für kleinere Räume und Ü-Wagen vorgesehen; zusätzlich ist die kleine 8-I-Box (C) für den Heimvergleich gedacht. Da sie künftig auch vom Handel vertrieben wird, hat der Rundfunkhörer mit dieser Box im Wohnraum die Möglichkeit, eine weitgehende Ähnlichkeit mit der Studiovorstellung zu erreichen eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Standardisierung und eine Maßnahme zur Verringerung der Probleme bei der Rundfunkstereofonie.

Über die Bedeutung des Schallbündelungsmaßes für die Minderung der durch Raumreflexionen bedingten Klangfärbung und damit über die Erzielung einer bestimmten Präsenzwirkung wurde bereits in [74] berichtet. Die geeignete Bemessung des Bündelungsmaßes bewirkt, daß der Hörer (zumindest am Bezugsabhörort) mehr Direkt- als Diffusschall erhält. Es sollte ein optimales Verhältnis zwischen dem auf den Abhörraum bezogenen Ausgangs-Hallabstand (für impulshaften Schall von Musik und Sprache) und dem von der Abhöreinrichtung zu erbringenden Bündelungsmaß gefunden werden. Ferner sollte eine weitgehende Frequenzabhängigkeit 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 jeweils dem Programmgenre angepaßt sein sollten. Aus Tests in akustisch verschiedenartigen Räumen [49] [55] kann die Erwartung entnommen werden, je nach Programm auch unterschiedliche Raumakustik vorzufinden. Zur Einschätzung derartiger Forderungen ist noch die Wechselwirkung zwischen Abhörraum und der Anordnung der Abhöreinrichtungen zu betrachten.

4.2. Anordnung von Abhöreinrichtungen und weitere Konsequenzen

Bezüglich der geometrischen Anordnung von Stereoabhöreinrichtungen haben sich für einen Heimstandard ein Basiswinkel $\delta=60^\circ$ und eine Basisbreite b von 3 m durchgesetzt.

Für den Studiobereich hatte schon vorher die OIRT Festlegungen in E 86/1 erarbeitet [17]; Bild 3 zitiert daraus einige Angaben. Der optimale Hörabstand ergibt sich zu $\delta \approx 70^\circ$ bei $h \approx 0.7b$. Der damit definierte Punkt auf der Mittelsenkrechten der Basis wird als Bezugsabhörort festgelegt, in dem sich die Bezugsachsen der Abhöreinrichtungen schneiden sollen.

Bekanntlich verursacht die Lautsprecherwiedergabe prinzipbedinat die größte Einschränkung in der Stereofonie, wenn der Zuhörer sich nicht exakt in der Mittensenkrechten der Basis befindet. Aus Bild 2 ist zu entnehmen, daß Laufzeitdifferenzen um 1 ms zwischen kohärenten Signalen die Phantomschallquelle bereits mit einem der beiden Lautsprecher zusammenfallen lassen können - das entspricht einem Weg von etwa 33 cm. Eine Verschiebung des Kopfes um etwa 10 cm bedinat eine Laufzeitdifferenz von etwa 30 us und somit eine Hörereignisverschiebung von etwa 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 (wünschenswert ist 6...10 dB, im Bereich von 100 bis 10 000 Hz), ergibt sich eine relativ kleine Hörzone für optimalen Frequenz-

Auch frühere Vorschläge [11] [76], daß sich die nutzbare Hörfläche vergrößern ließe. wenn sich die Achsen 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 die durch Änderung der Laufzeit hervorgerufene Verschiebung des Mitteneindrucks durch Intensitätsunterschiede der Lautsprecherrichtwirkung wieder aufgehoben werden könne. Es treten aber dabei frequenzabhängige Lokalisationsfehler. Anderungen der Klangfarbe und der Tiefenstaffelung, Verbreiterung der Phantomschallquellen und Probleme bei bewegten Schallauellen auf.

Erwartungen des Aufnahmepersonals, daß bei längerer Nachhallzeit des Abhörraumes die genannte Stereohörfläche erheblich breiter würde, sind nicht erfüllbar, da Pegel- und Laufzeitunterschiede weitgehend von der Nachhallzeit unabhängig sind, wie viele Messungen (u. a. [15] [29]) zeigen. Dagegen können eine längere Nachhallzeit durch den geringer werdenden Hallabstand und stärkere Kurzzeitreflexionen im Bereich bis etwa 10 ms zu geringerer Lokalisationsschärfe und zu einer Verbreiterung der Phantomschallquellen führen. Die dann mitunter empfundene "stärkere Bindung des Klanges" würde also mit zu großen Nachteilen erkauft wer-

Es wurde daher für das Aufnahmepersonal in der DDR und bei vielen anderen Rundfunkorganisationen empfohlen, daß mehrere bei der Aufnahme beteiligte Mitarbeiter (z. B. Toningenieur und Tonregisseur) stets hintereinander sitzen, um sowohl Lokalisations- als auch Klangfarben- und Balanceeinstellungen eindeutig und reproduzierbar vornehmen bzw. beurteilen zu können. Für Film- und Fernsehproduktionen kann das zu Problemen führen. In der Praxis werden daher diese Festlegungen oft

mißachtet, so daß produzierte Aufzeichnungen später abweichend beurteilt werden. Abweichungen vom Mittenplatz (Bezugsabhörplatz) können eben dazu führen, daß mehr der Abhörraum den Kohärenzgrad bestimmt als die Aufnahme selbst.

Andererseits muß aber festgestellt werden, daß die vielen Vorschläge zur Verringerung der erwähnten Platzabhängigkeit, insbesondere durch Einfügung eines (dritten) Mittenlautsprechers, bisher zu keinem nutzbaren Erfolg führten.

Es gab viele Überlegungen [77] [78] [79] [80], für die gesonderte Abstrahlung von Mittensignalen, ferner für zusätzliche, von der Mitte nach außen die Links- und Rechts-Signale abstrahlende Lautsprecher

[81] [82] bzw. eine Lautsprecherkette [83] [84] als "akustische Holofonie" einzusetzen. Alle Vorschläge führten aber bisher nicht zum Ziel, weil es nicht gelang, Mittensignale aus dem Stereosignal eindeutig zu isolieren und getrennt wiederzugeben.

Aus den vielfältigen Forderungen und Kritiken kann der Schluß gezogen werden, daß neben den raumakustischen Bedingungen vor allem den Schwächen der jetzigen zweikanaligen raumbezogenen Stereofonie die Schuld für die Unzufriedenheit gegeben werden muß, insbesondere, wenn sich das Fehlen einer wirkungsvollen Rauminformation als Bindeglied für die einzelnen Phantomschallquellen im Ge-

samthörereignis als starker Mangel zeigt. Es sollte daher angestrebt werden, auf der Basis optimaler Abhörbedingungen und Kenntnis der Möglichkeiten und Grenzen der Zweikanal-Intensitätsstereofonie, die Aufnahme- und Wiedergabetechnologien für die verschiedenen Programmgenres derart weiter zu entwickeln, daß die eingangs gestellte Zielstellung besser als bisher erfüllt werden kann. Parallel zur Optimierung der Stereoabhörbedingungen sollte der Bedeutung der Übertragung von Rauminformationen (s. Abschnitt 6.) und der Wiedergabe der beiden Stereosignale über mehr als zwei Lautsprecher mehr Beachtung geschenkt werden.

Wird fortgesetzt

Oberflächenmontage von Bauelementen

Die Montage verschiedener Bauelemente auf Leiterplatten und Mehrebenenleiterplatten durch Bestückungslöcher hindurch und ihr anschließendes Löten ist Stand der Technik und hat auch durch Automatisierbarkeit einen hohen Stand erreicht. Insbesondere die weitere Miniaturisierung von Baugruppen und Geräten und eine kostenaünstige Fertigung führten in Weiterentwicklung dieser Technologie zur Oberflächenmontage, bei der Bauelemente von oben auf die Leiterplatten aufgesetzt, verklebt und verlötet werden, ohne daß Bestückungslöcher vorhanden sein müssen. Die Vorteile liegen in erster Linie in einfacheren Leiterplattengestaltungen, insbesondere bei Mehrebenenleiterplatten, durch Wegfall von Bestückungslöchern und Durchkontaktierungen, in kleineren Bauelementeabmessungen und damit in einer Erhöhung der Packungsdichte. Weiterhin kann mit der Oberflächenmontage die Bestückung auch bei Anwendung von Bestückungsautomaten vereinfacht werden, was zu einer Kostenreduzierung führt.

Die Oberflächenmontage hat sich aus der Dickschichtschaltungstechnologie entwikkelt, wo entsprechende Dickschichtbauelemente auf ein Keramiksubstrat montiert wurden. Für die Oberflächenmontage geeignet sind

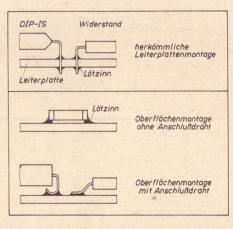
- Widerstände und Kondensatoren, Drahtbrücken
- Transistoren und Dioden
- integrierte Schaltungen

in geeigneter technologischer Realisierung, wobei die Entwicklung auch hier vom zunächst einfachen zum komplizierteren Bauelement verlief.

Bauelemente für die Oberflächenmontage werden auch als

- Chip-Bauelement (meist quaderförmig)
 MELF-Bauelement (Metal Electrode Face Bonding; zylindische Form)
- SMC (Surface Mounted Component)Bauelement
- SMD (Surface Mounted Device)-Bauelement oder
- Minimold-Chip

bezeichnet. Sie können ohne Anschlußdrähte oder mit Anschlußdrähten herge-



stellt werden. Die letzte Ausführungsform wird auch mit Quadpack (Japan) bezeichnet. Die Bauelemente zur Oberflächenmontage tragen in ihrer drahtlosen Ausführungsform an bestimmten Stellen (Stirnseite, Außenkanten) lötfähige Kontaktierungen, mit denen sie auf vorbestimmten Stellen auf der Leiterplatte verlötet werden. Die Bauelemente werden auf die Leiterplatte aufgeklebt, um sie so für die nachfolgenden Schritte festzulegen. Nach dem Bestücken der Leiterplatte werden die Bauelemente über Kopf im Lötbad angelötet.

Im Zusammenhang mit einer automatischen Bestückung hat es sich als günstig erwiesen, Oberflächenmontagebauelemente magaziniert, vorzugsweise in Gurten, zu verpacken. Die Gurte können unterschiedlich sein (8 mm, 12 mm) oder auch die Bauelemente in einer Vertiefung enthalten, aus der sie im Automaten durch einen Stift herausgehoben werden.

Neben den Vorteilen weist die Oberflächenmontage zur Zeit noch eine Reihe von Nachteilen auf, die es noch zu überwinden gilt. Besonders nachteilig ist die auf diesem Gebiet noch fehlende Standardisierung und die dadurch bedingte Vielfalt verschiedener Bauelementeformen und -abmessungen. Chipträger werden – obwohl sie genormt sind – relativ wenig eingesetzt. Weiterhin treten oftmals unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Bauelement und Leiterplatte auf, die zu einer Überbeanspruchung der

Lötstellen und zu Unterbrechungen führen können. Abhilfe bieten hier flexible Leiterplatten, die die Spannungen ausgleichen, oder die Anwendung des sog. SO-Gehäuses (Small Outline - Kleinprofilgehäuse), das ähnliche thermische Eigenschaften wie bisherige DIP-Gehäuse für IS aufweist. Auch können andere Lötmittel zum Erfolg führen. Veränderungen im Leiterplattenmaterial können ebenfalls notwendig werden, um den neuen und gestiegenen Anforderungen der Oberflächenmontage gerecht zu werden. Elastomere Schichten unter den Bauelementen können Ausfallursachen verringern. Wärmegbleitungen können von der Leiterplattenunterseite durch Aussparungen an die Bauelemente herangeführt

Die Oberflächenmontage verlangt auch eine veränderte Reparaturtechnologie. Das Auslöten ist im allgemeinen problemlos, da die Löttemperatur auf das gesamte defekte Bauelement wirken darf. Das Einlöten ist schwieriger, dabei sollte die Temperatur des Lötens nur kurz einwirken.

Die Oberflächenmontage ist im Vordringen begriffen und wird bei Lösung der auftretenden Probleme noch weitere Verbreitung finden. Man rechnet damit, daß 1990 etwa 50 % aller aktiven und passiven Bauelemente als Oberflächenmontagebauelemente angeboten werden.

Literatu

[1] Nicholson, B.: Surface-mount technologies expand, but widespread use is still delayed. Electronic Design News, Boston 28 (1983) 26, S. 224–231

Wir verkaufen:

1 Stück **TV-Transitest** TR-0850/T 023 Import Ungarn

1 Stück Servochrom

CENTRUM-Warenhaus Hoyerswerda Abt. Technik

7700 Hoyerswerda, Albert-Einstein-Straße 1a Telefon: 662 13

Kenngröße		Einheit	23.207	23.309		23.412	7 + 5 10 12 1	23.617	23.922
		Ω	0,68 bis < 3,32 2,32 bis < 10 10 bis < 24,9 24,9 bis 100 > 100 bis 100k > 100k bis 560k > 560k bis 511M	1,47 bis < 3,32 3,32 bis < 10 10 bis < 24,9	> 100 bis 332k > 332k bis 681k > 681k bis 17M		3,32 bis < 10 10 bis < 24,9 24,9 bis 511k > 511k bis 1,54M > 1,54M bis 2,15M > 2,15M bis 3,01M	1,47 bis < 3,32 3,32 bis < 10 10 bis < 24,9 24,9 bis 1M > 1M bis 4,87M > 4,87M bis 5,62M	1,47 bis < 3,32 3,32 bis < 10 10 bis < 24,9 24,9 bis 100k > 100k bis 2,26M > 2,26M bis 8,66M > 8,66M bis 15,4M
Nennwider- stands- toleranz	E6				_	±20			
	E12		±10		±10		±10	±10	±10
	E24	0/0	±5		±5		±5	±5	±5
			±2		±2		±2	±2	±2
			_ ±1		±1		±1	— · ±1	_ ±1
			_ ±0,5 _	-	±0,5 -	Service -	±0,5 —	<u> </u>	_ <u>±0,5</u> _
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			0,3		0,35		0,5	0,8	2,0 1,4
			0,35		0,5		0,8	1,0	
			0,05		0,08		0,1	0,15	
Grenzspannung		٧	150		250		350	500	750
Temperatur-koeffizient		6/10	±15		±15		±15	±15	±15
		10 ⁻⁶ /K	±25		±25		±25	±25	±25
			±50; ±100 —	±50; ±100		±50; ±100		±50; ±100 —	±50; ±100 -
			±200		±200		±200	±200	±200
zulässige bleibende Widerstand änderung 1		º/o	% 3 155°C P _N 1 70°C P _N 1 7	% 2	155°C PN 0,01 0,1 1 MΩ	% 2 1	155°C P _N	3 155°C 7 7 10 10 MQ MQ MQ	% 3 155°C 1 1 155°C 1 1 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10

Die wichtigsten technischen Forderungen sind als Auszug der TGL 36 521 der Tafel 5 zu entnehmen. Der Driftfaktor für die zulässig bleibende Widerstandsänderung beträgt für die Beanspruchung mit $P_n = 2$ und mit $P_r = 0.4$ bezogen auf $\Delta R/R$ für P_N .

Informationswerte

Feuchte 40 °C

95 % 56 d

Im vorangegangenen Abschnitt wurden die in der TGL 36 521 fixierten Garantiewerte dargestellt. Zur Erweiterung der Einsatzgebiete der BR 23 sind in Tafel 6 noch einige Informationswerte wie Wärmewiderstand und das typische Rausch- und Driftverfahren genannt.

Tafel 6: Typische Werte

	23.207	23.309	23.412	23.617	23.922
Wärme- widerstand R _{th} in kΩ/W	260	190	130	100	55
Überlast 6,25 P _N in ⁰ / ₀			±0,05		
mechanische Festigkeit in ⁰ / ₀	0,05			0,03	
Rauschen in $\mu V/V$ $< 1 \text{ k}\Omega$ $< 1 \text{ M}\Omega$			≤ 0,15 ≤ 0,50		

Prospektmaterial über die Literatur des VEB VERLAG TECHNIK BERLIN fordern Sie bitte bei Ihrem Buchhändler an

Stereofonie

Teil 2 und Schluß

Obering, Dipl.-Ing, GERHARD STEINKE

Mitteilung aus dem Rundfunk- und Fernsehtechnischen Zentralamt der Deutschen Post¹)

5. Bifone Wiedergabeverfahren

5.1. Verfahren zur Kompensation der Übersprechanteile für Zweilautsprecherwieder-

Im folgenden soll untersucht werden, ob bei der Wiedergabe der raumbezogenen Stereofonie über zwei Lautsprecher noch wesentliche Verbesserungen zu erwarten

Ein wesentlicher Grund für die Mängel der Zweikanalstereofonie lieat bekanntlich darin, daß die beiden Lautsprechersignale nicht nur das jedem zugeordnete Ohr, sondern jeweils (wenn auch verzögert, pegelverringert und klanggefärbt) auch das abgewandte Ohr erreichen.

Das Problem der Übersprechanteile wurde schon in prinzipiellen Beiträgen betrachtet (z. B. [7]). Demnach ist der Intensitätsunterschied an den Ohren des Hörers bei Lautsprecherwiedergabe stets kleiner als als am Ort des Aufnahmemikrofons. Dadurch wird eine Verzerrung der Richtungsabbildung bei Lautsprecherwiedergabe unvermeidbar. Dazu kommen Verfälschungen der Klangfarbe und der zeitlichen Wahrnehmung der einzelnen ursprünglichen Schallquellen. Da der Tonregisseur das aber als gegebene Bedingung voraussetzt, richtet er bei der Mikrofonaufnahme die Schallquellen- und Mikrofonanordnung dementsprechend darauf ein und versucht durch die Verwendung zusätzlicher Stützmikrofone (Polymikrofonie), Ortungsfehler wieder aufzuheben.

In Kenntnis der Wirkung der erwähnten Übersprechanteile (Störkomponenten) war es naheliegend, diese durch Kompensationsschaltungen zu beseitigen bzw. zu verringern. Unter anderem wurde eine Laufzeit-Kompensationsschaltung vorgeschlagen [86], die eine iterative Anwendung von Hilfssignalen vorsah. Eine verbesserte Lösung [87] [88] berücksichtigte auch die Frequenzabhängigkeit des Übersprechens (TRADIS-Verfahren = True Reproduction of All Directional Informations by Stereophony). Dieses Verfahren war nur im reflexionsfreien Raum einigermaßen praktizierbar; die meßtechnischen Grundlagen zur Ableitung der Kompensationssignale reichten noch nicht aus

Eine weitere Entzerrerschaltung wurde auf der Grundlage des aus Beugungserscheinungen des menschlichen Kopfes [89] abgeleiteten akustischen Übersprechens (Bild 8) dimensioniert. Sie sollte Beugung, Laufzeitdifferenzen, Abschattungseffekte usw. berücksichtigen und wurde kurzzeitig als "Arcus-3-D-Processor" (BRD, 1977) angeboten. Offensichtlich konnte jedoch die

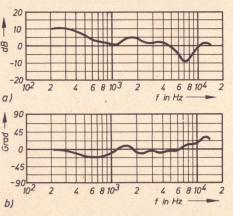


Bild 8: Akustisches Übersprechen am mittleren menschlichen Kopf nach a) Betrag; b) Phase. Verhältnis des Schalldrucks am abgewandten Ohr. Schalleinfall 36°, Laufzeit eliminiert (nach [891)

propagierte Qualität im Wohnraum nicht erreicht werden, und die Fertigung wurde wieder eingestellt.

Zur gleichen Zeit erschienen mehrere japanische Firmen mit ähnlichen Lösungen auf dem Markt, wie z.B. JVC vorübergehend mit dem Biphonic Processor BN-5 [90] [91] [92], um sowohl Kunstkopfaufnahmen (binaurale Programme) als auch übliche raumbezogene Stereoaufnahmen in der vorstehend geschilderten Art wiedergeben zu können (≙ binaural-stereofon = bifon). Obwohl die Geräte für die Anwendung im Wohnzimmer propagiert wurden, wies bereits die Beschreibung auf bessere Ergebnisse im schalltoten Raum hin. Im normalen Wohnraum kann der diffuse Schall durch Raumreflexionen die Kompensationswirkung verfälschen; insbesondere ist die Darstellung kürzerer Entfernungen als der Lautsprecherabstand nur schwer möglich; die Wiedergabe kann halliger wirken. Schallereignisse, die im Rücken des Hörers lokalisiert werden sollen, werden nur recht ungenau geortet.

Trotz der Mängel werden diese sehr ähnlichen Verfahren seit einiger Zeit in einer Lösung, die nur eine erste Näherung darstellt, erneut propagiert [93] [94]. Dabei werden die früheren, hier dargestellten Schritte nicht erwähnt, es wird von einem angeblich neu entwickelten Verfahren

"Holography" gesprochen. Gemeint ist das akustische Pendant, eine Holofonie, wie sie in Verbindung mit Systemvorschlägen zur Vierkanaltechnik bereits in [95] definiert wurde: Holofonie erstrebt die exakte Wiederherstellung eines akustischen Feldes in einem ausgedehnten räumlichen

Für die in [94] [96] vorgestellte einfache gerätetechnische Lösung - bezeichnet als Sonic Hologram Generator - werden für die Hörfläche sehr einschränkende Bedingungen angegeben, um den gewünschten Effekt zu realisieren. Es wird die im Bild 9 angegebene Anordnung empfohlen:

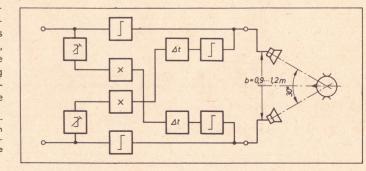
- Aufstellung der Lautsprecher etwa 60 cm von der Rückwand und etwa 120 cm von den Seitenwänden des Wohnraumes entfernt, um den Einfluß störender Reflexionen zu verringern
- Abstand (Basis) der Lautsprecher etwa 90...150 cm
- Abstände der Lautsprecher zum Ohr des Hörers auf etwa 3 mm genau.

Eigene Tests mit dem Hologram Generator bestätigen diese Genauigkeitsforderungen. Die interaurale Zeitdifferenz ist mit Rücksicht auf diese relativ geringe Basisbreite zu etwa 200 µs im oberen Frequenzbereich gewählt worden (sie steigt bei dem untersuchten Gerät bei tiefen Frequenzen bis zu maximal 1,5 ms an).

Die Anwendung dieser vereinfachten Methode und hochwertigen raumbezogenen und kopfbezogenen Stereoaufzeichnungen offenbart aber immerhin - im reflexionsfreien Raum und im Bezugsabhörraum des RFZ getestet - einige vorteilhafte Unterschiede zur konventionellen Stereofonie. abgesehen von der nicht eindeutigen Beeinträchtigung von Mittensignalen und dem subjektiv unbefriedigenden Frequenzgang der Einrichtung. Die an einem Exemplar im RFZ gemessenen Übertragungskurven zeigt Bild 10.

Die für den Hörer in seinen Hörgewohnheiten sehr einschränkende Bedingung des unbewegten, fixierten Kopfes, exakt am optimalen Punkt der Hörfläche, verringert den Nutzen und eine breitere Anwendung erheblich.

Um die starke Raumabhängigkeit einer



nach Carver [94]

¹⁾ Die ungekürzte Fassung dieses Beitrages einschließlich des Literaturverzeichnisses, auf das sich auch die Verweise in diesem Beitrag beziehen, erschien in "Technische Mitteilungen des RFZ", Hefte 1 und 2/1984.

derartigen Anordnung zu vermeiden, wurden bereits im Zusammenhang mit der Entwicklung des Kunstkopfes KU 80 zur Kompensation der Übersprechanteile zwei zusätzliche Lautsprecher verwendet [35]. Die Anordnung (Bild 11) empfiehlt Aufstellung der Lautsprecher in Trapezform mit Basiswinkel vorn von 66° und hinterem Basiswinkel von 104°. Der Abstand der hinteren Lautsprecher vom Hörer wird etwa 0,2 m größer als der von den vorderen Lautsprechern gewählt.

Die subjektiven Tests zeigten, daß diese Näherung recht gut gelungen war in bezug auf Richtungsverteilung und Räumlichkeitsdarstellung, u. a. auch die erreichbare Ortung, z. B. "oben" bei der Wiedergabe eines den Hörer überfliegenden Flugzeuges oder die Einbeziehung des Hörers in eine öffentliche Musikveranstaltung. Natürlich ist aber der Ort des Hörers auf den Mittelachsen von vier Lautsprechern noch schwieriger einzuhalten als bei zwei, wie aus Bild 11 abzuleiten ist.

Im normalen Wohnraum sind die gleichen Probleme auf Grund der Reflexionen und der gegebenen Nachhallzeit zu erwarten, wodurch Szenen im Freien u. U. unrealistischer (halliger) als bei Kopfhörerwiedergabe wirken. Mit vier Lautsprechern in derartiger Trapezanordnung kann aber bei üblichen Stereoaufnahmen, auch wenn der Hörer nicht exakt in der Mitte sitzt, ein besserer Raumeindruck erzielt werden als mit nur zwei Lautsprechern.

Eine Verbesserung der Kompensationsschaltungen in bezug auf die korrektere Wiedergabe von Mittensignalen wurde inzwischen auf verschiedenen Wegen erreicht: In [99] [100] wurden zur Ableitung der Kompensationssignale nicht die Ausgangssignale links und rechts benutzt, sondern das Differenzsignal S, das im allgemeinen keinen Mittensignalanteil mehr besitzt (Bild 12). Die weitere Bearbeitung der Kompensationssignale (Frequenzbeeinflussung, Verzögerung, Phasenaufteilung) erfolgt wie bei allen vorher erläuterten bifonen Anordnungen. Die technische Lösung erlaubt Variationen der Verzögerungszeit und somit Veränderlichkeit des Basiswinkels (bzw. der Basisbreite und Abstand eines Lautsprechers zum Hörerplatz). veränderliche Verzögerungszeit kann auch durch entsprechende Einstellung für einen gewünschten Hörerplatz (außerhalb der exakten Mittenposition) die Korrektur erreicht werden.

Neben der zweckmäßigeren Art der Kompensationssignalgewinnung macht sich auch die Addition von +S zu A und -S zu B gleichzeitig als der bekannte Räumlichkeitseindruck bemerkbar. Eine Verstärkung des Effektes ist bekanntlich durch Vergrößerung des Verhältnisses S zu A + B

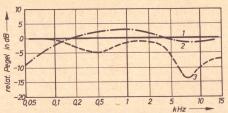


Bild 10: Frequenzbeeinflussung im Hologram Generator nach Carver (Messungen des RFZ)

- 1 Bypass (Standard-Stereo-Frequenzgang)
- 2 Frequenzgang des Kompensationssignals
- 3 Frequenzgang des Filters im Rechts- bzw. Links-Kanal zur Absenkung der Tiefen

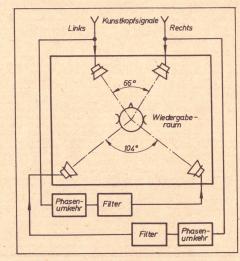


Bild 11: Lautsprecherwiedergabe von Kunstkopf signalen (nach [35])

= M möglich. Die Kombination beider Effekte ist zweckmäßiger zu lösen, wenn das Differenzsignal vor der Korrektur der Kanalsignale vergrößert wird. Der zweite Effekt ist nicht allein auf die exakte Hörposi- und tion beschränkt.

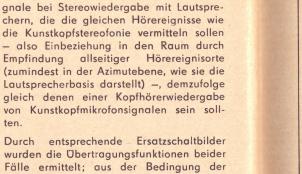
Mehrere japanische Firmen haben inzwischen geringfügig modifizierte Patente für das gleiche Verfahren angemeldet. Insbesondere bei Matsushita/National Technics waren die bifonen Systeme Gegenstand langjähriger intensiver Untersuchungen. Über Grundlagen zu dem Gerät "Ambiencestereo", das schon 1976 in Japan auf den Markt kam und nun in verbesserter Ausführung als "Ambience Stereo Controller SH 3060" vertrieben wird, berichteten zur 66. AES-Convention (1980) Sakamoto, Clegg u. g. [101] [102] [103]. Eine Verwandtschaft mit dem bereits 1960 von L. Keibs angegebenen Stereo-Ambiofonieverfahren [2] [3] [104] ist übrigens erkennbar, die Zielstellungen sind jedoch unterschiedlich; zweifellos hätte eine weitere Durchdringung der Ambiofonie-Grundlagen derartige Relationen schon früher erkennen lassen.

Sakamoto ging wie bei den übrigen bifo-

Bild 13: Kopfbezogene

akustische Über-

tragungsfunktionen



nen Systemen davon aus, daß die Ohrsi-

Durch entsprechende Ersatzschaltbilder wurden die Übertragungsfunktionen beider Fälle ermittelt; aus der Bedingung der Gleichsetzung wurden die Amplitudenund Phasenfrequenzgänge von Korrekturgliedern abgeleitet. Nach der inzwischen vorliegenden Theorie von Theile [9] läßt sich die Bedingung präziser ausdrücken das Korrekturglied muß genau auf die Entzerrung des Kunstkopfsignals abgestimmt sein. Zum besseren Verständnis der japanischen Lösung werden im folgenden die wesentlichen Überlegungen dazu wiedergegeben. Die Bilder 13 bis 18 zeigen die wesentlichen Schritte. Ein gewisser Unterschied zur Lösung in [99] [100] zeigt sich lediglich darin, daß nicht das reine Differenzsignal S zur Gewinnung von Kompensationssignalen verarbeitet wird, sondern die differentiellen Signalkomponenten $(L - \alpha R)$ und $(R - \alpha L)$ und die wahrscheinlich exaktere Nachbildung der erforderlichen Übertragungsfunktion. (Die Anteile aR und aL werden im Prozessor weiterhin zur Regelung der Basisbreite ge-

Die in [101] gezeigte Berechnung führt zu

$$G = E_{L} \approx \frac{H\phi_{1}}{H_{11}}$$

$$H = \frac{H_{11}H\phi_2 - H_{12}H\phi_1}{H_{11}H\phi_1 - H_{12}H\phi_2}$$

und somit zu Bild 17.

Bild 13 zeigt die akustischen kopfbezogenen Übertragungsfunktionen bei einer einzelnen Schallquelle, unter einem Winkel im Freifeld, mit den beiden Übertragungsfunktionen $H_{\Phi 1}$ und $H_{\Phi 2}$. Durch die Diffraktion des Kopfes sind die Signale durch die Pegeldifferenz ΔL (Φ , f) und durch die Laufzeitdifferenz Δt (Φ , f) unterschiedlich. Diese Hörbedingung ist durch das Blockdiagramm im Bild 14a bzw. eine transformierte Nachbildung (Bild 14b) für die Wiedergabe mit Kopfhörern darstellbar. Η φ2 und H_{p1} stellt das Schalldruckverhältnis zwischen rechtem und linkem Ohr dar. Der Ausdruck H_{P1} gilt dagegen für beide Ohren. Für die Zweikanalwiedergabe mit Lautsprechern ergeben sich analog Übertragungsfunktionen entsprechend Bild 15a bzw. 15b (idealisiert, Hörer am optimalen Platz zwischen zwei Lautsprechern).

Die Kombination der beiden Ersatzschaltbilder im Bild 16 zeigt die Aufgabe, die Spannungen ER und EL durch entsprechende Gestaltung der beiden Netzwerke G und H so zu dimensionieren, daß beliebige Hörereignisorte darstellbar sind. Die Anwendung dieser Ersatzschaltung bei konventioneller Stereowiedergabe zeigt Bild 18. Die darin angegebene Übertragungsfunktion für G wurde aus den schon 1965 in [13] ermittelten Kurven abgeleitet.

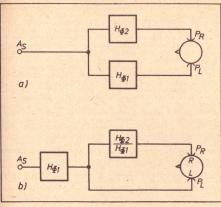


Bild 14: Blockdiagramm der akustischen Über-

a) Original; b) transformiert

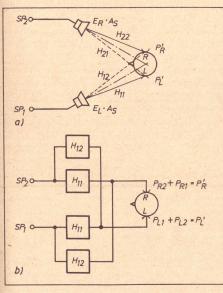


Bild 15: a) Akustische Übertragungsfunktionen beim stereofonen Hören; b) akustische Übertragung, idealisiert

Unter der dabei angegebenen Bedingung ist es möglich,

- im reflexionsfreien Raum bei exakter Einhaltung der Hörposition die Schalllokalisation in allen Richtungen außer der Richtung unmittelbar hinten in der Mitte - zu empfinden
- eine zulässige seitliche Abweichung der Hörposition etwa ±15 cm zu gewährleisten, wenn die Hörereignisorte außerhalb der Lautsprecherbasis lokalisiert werden sollen (frequenzabhängig; bei tiefen Frequenzen ist die Hörfläche größer)
- bis zu einer Nachhallzeit von 0,3 s eine brauchbare Lokalisation vorn zu empfinden; die Behauptung der Autoren,

alle Richtungen außer hinten Mitte zu orten, kann nicht bestätigt werden.

Für normale Räume, d. h. Wohnräume mit eventuell größerer Nachhallzeit über 0,3 s, wird ein Hörabstand von etwa 1 m empfohlen. Unterscheidungsfehler zwischen vorn und hinten werden vor allem durch den Einfluß der Raumreflexionen hervorgerufen. (Die für beide Ohren gemeinsame Übertragungsfunktion G hat eine besonders wichtige Rolle für die Vorn- und Hinten-Unterscheidung.) Die Anwendung der gezeigten Ersatzschaltung soll auch für "diskrete Vierkanalstereofonie" mit nur zwei Lautsprechern nutzbringend anzuwenden sein; hierbei soll insbesondere eine bessere Seitenlokalisierung erreichbar sein als bei "normaler" Vier-Lautsprecher-Anordnung wegen der dabei existierenden Signalbedingungen. Die festgestellten Schwächen des Gerätes sind u. E. auf die gegenüber dem Assoziationsmodell (Abschn. 2.) prinzipiell abweichenden Ausgangsbedingungen und die für ein Konsumgerät angemessene Nachbildungsgenauigkeit zurückzuführen.

Eine neuere Lösung, die offensichtlich systemtheoretisch einfacher und zweckmäßiger ist, wurde parallel (1980/81) von Schöne [105] auf der Basis der in [89] durchgeführten Messungen der Beugungserscheinungen am Kopf vorgestellt.

Bereits in [106] wurde (1975) vorgeschlagen, die Kompensation der Übersprechanteile nicht bei der Wiedergabe vorzunehmen, sondern bereits bei der Aufnahme zu berücksichtigen und die Kompensationssignale mit zu übertragen, aufzuzeichnen usw. Die damalige Lösung besaß jedoch noch Schwächen. Schöne griff die Anregung auf und schlug vor, zur Umwandlung der bisher (beim KU 80) freifeldangepaßten Kunstkopfsignale für optimale Lautsprecherwiedergabe die "Entkopplung" dieser Kunstkopfsignale als Aufnahmeproblem anzusehen und unmittelbar dem Kunstkopf ein derartiges Entkopplungsfilter nachzuordnen. Das erfordert aber für Kopfhörerwiedergabe ein inverses Filter. Der Aufbau im Bild 19 ist ähnlich den vorher erläuterten Anordnungen (in den Längszweigen eingefügte Entzerrer machen die Pegelanhebungen bei einer dem zugewandten Ohr des Kunstkopfes auftretenden Schallquelle rückgängig).

Da jedoch zum gleichen Zeitpunkt der neue, diffusfeldentzerrte Kunstkopf eine weitgehende Richtungs- und Klangfarbenkompatibilität (innerhalb der Stereobasis) erzielen ließ und gleichzeitig der diffusfeldentzerrte Kopfhörer eine optimale Klangneutralität bei der Wiedergabe von Intensitäts-Stereosignalen gewährleistet,

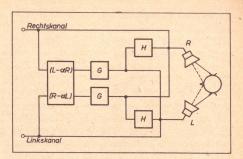


Bild 18: Anwendung bei konventioneller Stereo

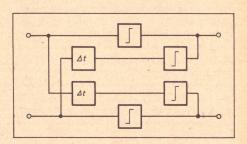


Bild 19: Kompensationsschaltung (Entkopplungsschaltung) für kopfbezogene Signale nach [105]

wurde der Vorschlag nicht weiter verfolgt. Zusammenfassend ist einzuschätzen, daß es mit Hilfe der bifonen Wiedergabeanordnung möglich ist, eine andere Darstellung vom Informationsinhalt in bezug auf Richtungs- und Raumeindrücke in den beiden Stereosignalen zu ermöglichen als bei der üblichen einfachen Links- und Rechtswiedergabe über Lautsprecher.

Experimente mit derartigen Prozessoren 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 definierter, schärfer lokalisierbar. Im Vergleich zur üblichen Stereolautsprecherwiedergabe verschwindet die mitunter hierbei wahrnehmbare Unbestimmtheit, Flachheit, diffusere Ortuna der Quellen, Tiefe und Dreidimensionalität der Hörereignisse treten auch außerhalb der Basis auf, nehmen ein größeres Volumen, eine größere Breite ein. Hörereignisse sind im Bereich von sehr nah am Ohr bis zu etwa 5 m exakt ortbar.

Bei der Wiedergabe raumbezogener Aufnahmen werden diese zunächst effektvoller als bei der üblichen Lautsprecherwiedergabe empfunden; die propagierte höhere Stereoauflösung tritt aber nicht ein,

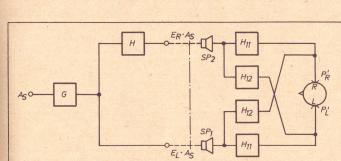


Bild 16: Stereofones System gemäß der Lokalisationstheorie von Sakomoto

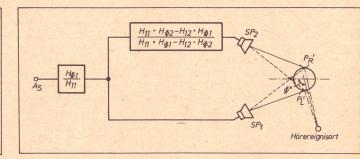
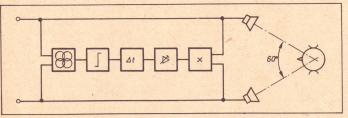


Bild 17: Schaltung zur Hörereignisortsteuerung bei Zweilautsprecher-Wieder-



BERLIN 34 (1985) 2 radio fernsehen elektronik

Bild 12: Kompensationsschaltung nach Cohen [100]

109

die Eindrücke sind bei den einzelnen Versuchspersonen unterschiedlich, für verschiedenes Programmaterial nicht eindeutig reproduzierbar. Die Entfernungsempfindung kann meist nicht exakt formuliert werden.

Entsprechend dem Assoziationsmodell entstehen bei der Kompensation für raumbezogene Signale keine exakten Lokalisationsreize mehr, so daß die stereofone Auflösung unbestimmter werden muß. Wenn bei den Tests nicht häufiger Im-Kopf-Lokalisation auftrat, ist das wahrscheinlich auf die Ungenauigkeit der Kompensationsschaltung zurückzuführen. Die störende Wirkung eines zu starken, gegenphasigen S-Signals, die in den meisten Fällen dennoch nicht ausreichende Räumlichkeitsempfindung und die mangelnden Ortungsmöglichkeiten hinten sind weitere Einschränkungen, die einer allgemeinen Anwendung derartiger Anordnungen für raumbezogene Stereofonie, insbesondere zur angestrebten Raumsimulation, entaeaenstehen.

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 durch Polymikrofonie usw. zu erkennen und zu analysieren; als Hilfsmittel für das Aufnahmepersonal sollten sie künftig mehr eingesetzt werden. Dagegen kann sich wegen der Kompatibilitätsbedingung die Aufnahmetechnik nicht generell auf derartiae Prozessoren einstellen.

5.2. Verfahren zur Simulation der Übersprechanteile für Kopfhörerwiedergabe

Bisher wurden nur die bifonen Systeme für die Lautsprecherwiedergabe betrachtet. Der Vollständigkeit wegen muß jedoch auch die umgekehrte Wiedergabeform – die Kopfhörerwiedergabe von raumbezogenen Signalen – erwähnt werden. Schließlich wird immer wieder eine gut funktionierende Lösung gefordert. Bekanntlich treten beim Abhören von raumbezogenen Stereosignalen mehrere Probleme auf:

- Es tritt Im-Kopf-Lokalisation auf, d. h., die Hörereignisse entstehen auf der Ohrenachse, der Raumeindruck liegt meist im Hinterkopf.
- Es kommt zu einer Klangfärbung, wenn, wie bisher, freifeldentzerrte Kopfhörer verwendet werden.
- Störgeräusche der Übertragung treten stärker in Erscheinung.
- Die Schallquellenlokalisation bleibt von Kopfbewegungen unabhängig.

Zur Vermeidung der Im-Kopf-Lokalisation wurden verschiedene Wege beschritten. Um die Wiedergabebedingungen anzupassen, war es zunächst naheliegend, die bei Stereolautsprecherwiedergabe herrschenden Verhältnisse zu simulieren. Dazu sind die bereits erläuterten Übersprechanteile nachzubilden.

Es läßt sich leicht nachweisen bzw. ist aus dem Vorhergesagten bereits verständlich, daß man hierzu ein zu dem vorher mehrfach dargestellten Entzerrungsnetzwerk in-

verses Netzwerk benötigt, das bewirkt, daß der elektroakustische Übertraaungsfaktor zwischen der elektrischen Spannung an ieweils einem Eingang des Netzwerkes und dem Schalldruck am Trommelfell des Hörers demieniaen aleich ist, der sich bei einer vorgegebenen Lautsprecheranordnung in einem Abhörraum zwischen der elektrischen Spannung an jeweils einem Lautsprechereingang und dem Schalldruck am Trommelfell des gleichen Hörers ergeben würde. Bei der schaltungstechnischen Realisierung, die insbesondere die erwähnten Übersprechanteile zur Vermeidung der IKL und die Klangfärbung, die bei Lautsprecherwiedergabe durch den Raumeinfluß entsteht, simulieren muß, müßten strenggenommen auch die speziellen Übertragungsfaktoren der äußeren Ohren des jeweiligen Hörers individuell berücksichtigt werden. Nach Untersuchungen in [107] sollte jedoch der Mittelwert aus einer großen Anzahl von Versuchspersonen ausreichend sein.

Ein hochwertiges Entzerrungsnetzwerk, das auch Studiobedingungen genügen soll, wurde einige Zeit unter der Bezeichnung "LSE-System" (Loudspeaker Simulating Earphone) [108] angeboten. Es war an einen speziellen Kopfhörer angepaßt; die Wirkung war subjektiv jedoch noch nicht befriedigend.

Diese Netzwerke berücksichtigen nicht die Einflüsse eines Wiedergaberaumes mit seinen Reflexionen. Eine 1977 veröffentlichte Schaltung [109] sollte die verbliebenen Mängel früherer Lösungen vermeiden. Davon ausgehend, daß eine optimale Lösung unerreichbar ist, da der Einfluß des Raumes bei praktischer Lautsprecherbeschallung kaum nachzubilden ist, wurde empfohlen, in Abhängigkeit von den Eigenschaften des abgehörten Programmes das nachgebildete "akustische Übersprechen" durch Einstellregler zu dosieren.

Experimentelle Arbeitsergebnisse im Rundfunk der DDR lieferten ähnliche Aussagen (1979). Insbesondere unterliegt der Grad der Außer-Kopf-Lokalisierung stark einer Programm- bzw. Genreabhängigkeit bei konstanter Nachbildung des Übersprechanteils, der durch geeigneten Zusatz von Diffussignalen für einige, aber nicht für alle Hörereignisrichtungen verbessert werden kann. (Günstigere Ergebnisse sind nur im Studio auf der Basis von raumbezogenen Teilsignalen zu gewinnen.)

Untersuchungen in Japan liefen in beide Richtungen: Realisierung inverser Filter und Berücksichtigung der Rauminformation aus einem "idealen" Wiedergaberaum [110] [111] [112]. Dabei wurde die Auffassung vertreten, daß ausschlaggebend für die Empfindung, ob sich ein Hörereignis innerhalb oder außerhalb des Kopfes lokalisieren läßt, die Möalichkeit ist, den Abstand der Phantomschallquelle subjektiv abschätzen zu können. Ist dieser subjektiv empfundene Abstand Null, dann findet IKL statt; hat der Hörer den Eindruck einer geringen Entfernung des Hörereignisses, dann kommt es zur AKL. Somit ist der wichtigste Faktor für den Entfernungseindruck das R/D-Energieverhältnis.

Mit dieser Aufgabenstellung wurden derartige Binaural-Converter bzw. Ambiencephone-Geräte realisiert [113], so auch von National Technics der Ambience-Headphone Controller SH 3045 [112]. Der Bi-

naural-Converter von IVC bewährte sich offenbar nicht; seine Fertigung wurde inzwischen eingestellt, eine Weiterentwicklung ist nicht beabsichtigt. Der Ambience-Headphone Controller wurde im RFZ getestet - erwartungsgemäß konnte keine eindeutige Außer-Kopf-Lokalisation festgestellt werden. Zwar wurden die Hörereignisse nicht mehr auf der Verbindungslinie zwischen den beiden Ohren wahrgenommen: der Abstandseffekt war jedoch noch zu gering, und die Hörereignisrichtung tendierte überwiegend nach oben-hinten. Auch war die Klangfärbung zu stark und unnatürlich. Eine Klanafärbung ist zwar bei Änderung eines R/D-Verhältnisses zu erwarten, die bei dem Testgerät empfundene wurde jedoch als unnatürlich eingeschätzt. Den Schlüssel für eine optimale Wiedergabe raumbezogener Aufnahmen liefert das Assoziationsmodell [9]. Danach ist ebenso wie für die Wiedergabe kopfbezogener Signale über Lautsprecher eine Entzerrung optimal, die sich auf das Diffusfeld bezieht. Der Bezug auf eine bestimmte Schalleinfallsrichtung im Freifeld ist unaünstia: besonders unter 0° wird durch die 8-kHz-Senke die Klangfarbe beeinträchtigt. Vielmehr gewährleistet gerade der richtungsneutrale Bezug die Kompatibilität zwischen Aufnahme- und Wiedergabe-

Daß sich das oben erwähnte LSE-System nicht durchsetzen konnte, hat vermutlich seine Ursache darin, daß die Simulation der Stereowiedergabe im reflexionsfreien Raum keine Kopfhörerwiedergabe zuläßt. Die Freifeldentzerrung des Kopfhörers auf +30° bietet im Vergleich zur 0°-Freifeldentzerrung kaum Vorteile. Andererseits erscheint es auch ungünstig, mit dem Kopfhörer eine Wohnraumakustik nachzubilden. Gerade der Einfluß des Wohnraumes auf die Lautsprecherwiedergabe ist problematisch (vgl. Abschn. 4.), und eine "Wohnraumentzerruna" ist technisch kaum realisierbar. Sie wäre aber erforderlich, um befriedigende Kopfhörerwiedergabe bei vollständiger AKL zu erreichen, wenn raumbezogene Signale wiedergegeben werden, die keine Außenohrmerkmale enthalten das leitet sich aus dem Assoziationsmodell ab und führt zur Konsequenz des richtungsneutralen Bezuges (val. Abschn. 3.2.). Für das ungestörte Hören im Heim und unter schwierigen Abhörbedingungen (im Übertragungswagen, bei Reportagen) ist eine ökonomische Lösung für die Wiedergabe von raumbezogenen Aufnahmen weiterhin von großer Bedeutung.

Der im Abschn. 3.2. erwähnte Kopflautsprecher stellt nach Analyse der verschiedenen bifonen Systeme eine verblüffend einfache Lösung dar und dürfte eine Mittelstellung zwischen Kopfhörerwiedergabe und Lautsprecherwiedergabe (sowohl für kopfbezogene als auch raumbezogene Stereofonie) einnehmen. Die Lautsprecheranordnung und die Entzerrung wurden so dimensioniert, daß die durch Kopfdrehung verursachten interauralen Ohrsignaldifferenzen näherungsweise den Differenzen entsprechen, die bei Kopfdrehungen im freien Schallfeld auftreten [48].

6. Verfahren zur Übertragung bzw. Extraktion und Simulation von Raumsignalen

Die Forderung nach Vermittlung einer überzeugenden Rauminformation wurde

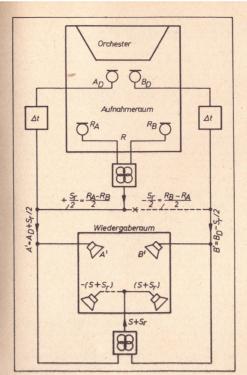


Bild 20: Prinzip der Stereo-Ambiofonie

bereits mit Einführung der Zweikanalstereofonie gestellt. Der erste konkrete Lösungsvorschlag dürfte von Buttenberg [114] angegeben worden sein, der die getrennte Übertragung von direkter (Mono-)Information und Rauminformation über zwei Kanäle bereits 1951/52 ausarbeitete und zum Patent anmeldete. Da sich das Verfahren als nicht kompatibel erwies, unterlag es dem von Lauridsen [24] (nach Blumlein 1931 [115]) eingehender auf seine praktische Realisierbarkeit untersuchten M/S-Verfahren. Immerhin gebührt Buttenberg die Priorität für erstmals erkannte wichtige Grundlagen der Übertragung, deren Bedeutung seinerzeit unterschätzt wurde und die erst 1960 in ähnlicher Weise propagiert und fortgesetzt wurden [116].

L. Keibs griff 1960 [117] die Anregungen auf, zusätzliche Rauminformationen zu übertragen, und entwickelte daraus das stereo-ambiofone Verfahren [2] [3] [104] (Bild 20), dessen einfachste Version, die Rückgewinnung und Abstrahlung von S-Signalen aus der Stereoinformation A/B, als pseudo-quadrofone Wiedergabe eine sehr große (auch kommerzielle) Verbreitung und Bedeutung gewann und sich immerhin länger behaupten konnte als die Vierkanaltechnik in reiner Vierkanalversion bzw. Matrix-4-2-4-Version. Bei diesem Verfahren werden Direkt- und Rauminformationen im Studio mit getrennten Mikrofo-

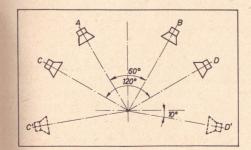


Bild 21: Wiedergabeanordnungen in Trapezform nach [125]: Lautsprecher A-B-C-D; nach [98]: Lautsprecher A-B-C'-D'

nen aufgenommen und entweder über vier Kanäle übertragen und wiedergegeben (zwei Lautsprecher vorn, zwei Lautsprecher hinten), oder die Informationen werden überlagert und nur über die üblichen beiden Stereolautsprecher wiedergegeben. Das Raumsignal ist gegenphasig, es wird räumlich empfunden und verdeckt das Direktsignal in geringem Maße.

Die räumliche Wirkung ist bei Zwei-Lautsprecherwiedergabe jedoch noch nicht stark genug, wenn entsprechend der Kompatibilitätsbedingung das Verhältnis D zu R angemessen bleiben soll. Auf das Problem dabei auftretender Verdeckungserscheinungen (für A + S und B - S) hatte Lauridsen [24] ebenfalls schon aufmerksam gemacht. Der Grundsatzbeitrag von L. Keibs [117] enthält auch die weiterführende Anregung, Raumreflexionen aus dem Stereosignal A/B nachzubilden, zumal das dann erforderlich ist, wenn das Signal einen sehr geringen S-Anteil aufweist. Aufbauend auf Untersuchungen über die Schallfeldverhältnisse in Aufnahmeräumen [118], unterbreitete er Vorschläge, 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 [119].

Für die Aufstellung der dafür erforderlichen Zusatzlautsprecher wurde vorzugsweise eine hintere Anordnung empfohlen. Untersuchungen um 1970 führten aber zu der Erkenntnis, daß eine seitliche bzw. seitlich-vordere Anordnung zweckmäßiger ist und den realen Verhältnissen in Konzertsälen mehr entspricht. Die Erkenntnisse über die Bedeutung von Seitenreflexionen werden inzwischen beim Bau von Konzertsälen zugrundegelegt, wonach die seitlichen und vorderen Reflexionen von größerer Bedeutung für den Raumeindruck sind als andere.

Im Wohnraum war die bekannte Vierecken-Quadrofonieanordnung [2] einige Zeit zwar effektvoll, aber hinsichtlich der zentralen Anordnung des Hörerplatzes meist unrealistisch. Eine Kombination eines regelbaren R/D-Lautsprechers gab der Autor 1973 an [122], um in den meisten Fällen mit zwei Wiedergabeeinrichtungen auszukommen. Den realen Verhältnissen besser entspricht aber wohl die bereits erwähnte Trapezanordnung. Derartige Anordnungen bieten darüber hinaus auch die Möglichkeit, mit den Kompensationssignalen zur Auslöschung der Störkomponenten zu experimentieren. Die Anordnung im Bild 21 [125] weicht zwar von der im Bild 11 ab, das schließt aber die weitere Optimierung und Suche nach einer einheitlichen Standardanordnung mit sinnvollen Toleranzen nicht aus. Vom Autor war bereits 1979 eine spezielle Anordnung für Heimwiedergabe vorgeschlagen worden [36].

Inwieweit eine derartige Anordnung den verschiedenen Lösungen mit einem Mittenlautsprecher überlegen ist, kann noch nicht ausgesagt werden. Mit der Abstrahlung +S/M/—S wurde schon 1966 experimentiert [126] bzw. später bei zusätzlicher Kombination mit A + B [80]. Dabei wurde immer wieder auf die notwendige Verbindung von D, R, R/D-Verhältnis und R/D-Zeitintervall mit Diffusität im Aufnahmeraum und ihre einfachste Wiedergabeform

im Wiedergaberaum hingewiesen. Auf Grund der vielfältigsten Untersuchungsergebnisse ist jedoch zu bezweifeln, daß es nur eine optimale Lösung, noch dazu mit technisch-ökonomisch vertretbarem Aufwand, gibt.

Verbesserungen zur Abstrahlung der Raumsignale (über zwei oder mehrere Lautsprecher) können nicht nur durch geeignete Verzögerungstechnik, sondern auch durch geeignete Filterung erreicht werden, da nach [128] auch richtungsbestimmende Frequenzbereiche berücksichtigt werden sollten.

Der Vollständigkeit wegen sollte noch eine der ersten Methoden der Raumsimulation zitiert werden, das M/D-Verfahren [129]. Bei diesem Verfahren werden nur zwei bis vier Reflexionen nachgebildet und dann ein Nachhallschwanz angefügt. Bei der Wiedergabe über die beiden Lautsprecher war sowohl die Gefahr der Verdeckung als auch der Eingrenzung auf den Winkelbereich zwischen den beiden Lautsprechern zu beachten. Das Verfahren wird wahrscheinlich in der seinerzeit angegebenen Form kaum noch angewendet.

Bei allen Verfahren der Raumsimulation geht man vom Zwang der Zweikanalbedingung aus. Vorschläge zur Übermittlung räumlicher Schallfeldstrukturen über diese Kanäle mit Hilfe unterschwelliger Pilotfrequenzen sollen die dabei anhaftenden Mängel überwinden, führten jedoch noch nicht zu praxisreifen Lösungen (u. a. [130]).

7. Schlußbemerkungen

Der vorstehende Überblick zeigt, daß für die Zweikanalstereofonie eine Vielzahl von Entwicklungstendenzen existieren, um den bisherigen Zustand zu verbessern. Insbesondere hinsichtlich der Vergrößerung der Stereohörfläche und der Übermittlung von Rauminformationen bietet sich eine Reihe von Ansatzpunkten. Verfahren mit mehr als zwei Übertragungskanälen wurden nicht behandelt; dennoch soll zumindest das englische Ambisonic-Verfahren [137] [138] abschließend erwähnt werden. Es benötigt drei Übertragungskanäle und wenigstens vier bis acht Lautsprecher (ableitbar sind die Sendevarianten in 21/2- und Zweikanaltechnik, ferner eine Vierkanal-Betriebsart). Die diesem Verfahren zugrundegelegten theoretischen Überlegungen und die neuartige Mikrofontechnologie erfordern noch eingehendere Analysen, damit daraus eventuell Verbesserungsmöglichkeiten für die Zweikanaltechnik abgeleitet werden können

Insgesamt sollte ersichtlich werden, daß auch nach 60 Jahren Rundfunktechnik und bei Beachtung technisch-ökonomischer Grenzen noch erhebliche Qualitätssteigerungen für die Rundfunkwiedergabe Im Heim zu erwarten sind.

Suche

So 86F1 o. ä.

Kügler, 9900 Plauen N. d. 3. Berg 4