Günther Theile
IRT

Die Bedeutung der Diffusfeldentzerrung für die stereofone Aufnahme und Wiedergabe

1. Das Problem der Kompatibilität

Das gebräuchliche stereofone Übertragungsverfahren ist die "Lautsprecherstereofonie". Der Tonmeister setzt sehr unterschiedliche Mikrofon- und Mischpulttechniken ein, um ein Klangbild zu schaffen, das seinen Ansprüchen hinsichtlich Natürlichkeit und Ästhetik gleichermaßen genügt. Die Wiedergabe erfolgt dabei im Regieraum über Lautsprecher.

Seit geraumer Zeit steht den Tonmeistern ein völlig anderes Übertragungsverfahren zur Verfügung : Kunstkopfstereofonie. Im Gegensatz zur Lautsprecherstereofonie, die eine adäquate Wiedergabe des akustischen Geschehens im Abhörraum anstrebt, will die Kunstkopfstereofonie dem Hörer die Illusion verschaffen, er befände sich im Aufnahmeraum.

Lautsprecher- und Kunstkopfstereofonie sind völlig unterschiedliche Übertragungsverfahren, die alternativ eingesetzt werden können. Daraus ergibt sich unmittelbar das Problem der Kompatibilität :

1) Technische Kompatibilität
   Die komplizierte Richtcharakteristik des Mikrofons "Kunstkopf" unterscheidet sich sehr von den Richtcharakteristiken gewöhnlicher Mikrofone. Zur Vermeidung von Klangfarbenfehlern bei Lautsprecherwiedergabe enthält der speziell für den Rundfunk entwickelte Studio-Kunstkopf KU 81 (Neumann) deshalb die sog. "Diffusfeldentzerrung". Ebenso ist wiedergabeseitig die dazu passende Diffusfeldentzerrung der Kopfhörer auch optimal geeignet für die Wiedergabe der Lautsprecherstereofonie-Signale. Insgesamt wird durch die aufnahme- und wiedergabeseitige Diffusfeldentzerrung die technische Kompatibilität erreicht; hierauf wird in diesem Beitrag näher eingegangen.

2) Künstlerische Kompatibilität

Unberührt von der Lösung technischer Kompatibilitätsprobleme sind Fragen der "künstlerischen Kompatibilität", die auftreten, wenn eine Kunstkopf-Produktion über Lautsprecher oder eine Lautsprecherstereofonie-Produktion über Kopfhörer abgehört wird. Dazu gehören beispielsweise Fragen zur Wahl der Kunstkopf-Position (eine für Kunstkopfstereofonie optimale Position des Kunstkopfes ist meistens nicht die optimale Position des Hauptmikrofons für Lautsprecherstereofonie), dazu gehören ebenso Fragen zur Aussteuerung, zur Stütztechnik, zur Hall-Balance, zur Wirkung von Reflexionen und Störgeräuschen im Aufnahmeraum usw. Umgekehrt führt bei Kopfhörerwiedergabe von Lautsprecherstereofonie-Aufnahmen die Im-Kopf-Ortung zu stark veränderten Wahrnehmungen, beispielsweise in Hinblick auf Tiefenstaffelung, und die ursprünglich vorhandenen Reflexionen des Wiedergaberaumes fehlen. Probleme dieser Art sollen hier ausdrücklich ausgeklammert werden.

Anhand der Skizze in Bild 1 sei zunächst die Problematik der technischen Kompatibilität näher erläutert.

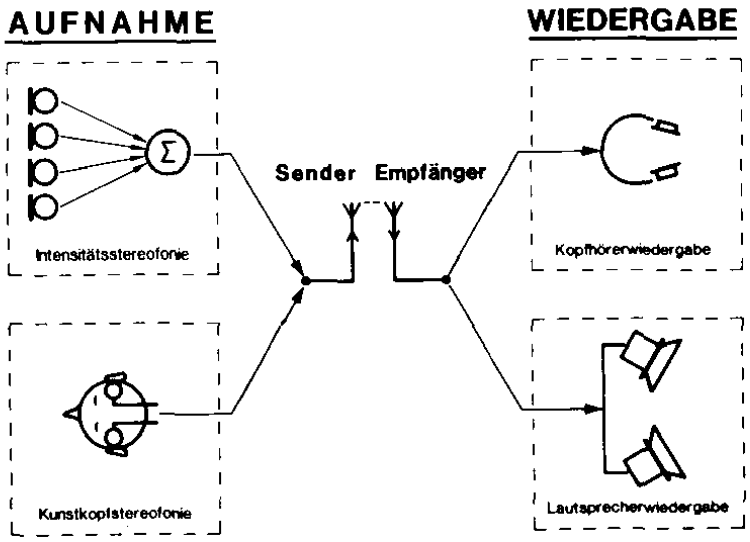

Bild 1 : Skizze zur Kompatibilitätsbetrachtung

Sowohl auf der Aufnahmeseite der Übertragung als auch auf der Wiedergabeseite gibt es je ein raumbezogenes System und ein kopfbezogenes System (Definition dieser Begriffe in /1/).

Die diagonalen Verfahren Lautsprecherstereofonie - Lautsprecherwiedergabe (raumbezogene Verfahren) und Kunstkopfstereofonie - Kopfhörerwiedergabe (kopfbezogene Verfahren) sind definitionsgemäß verträglich. Die Wahl der Entzerrung an der Schnittstelle Aufnahme/Wiedergabe ist im Prinzip beliebig.

Im Prinzip unverträglich dagegen sind die Verfahren Lautsprecherstereofonie - Kopfhörerwiedergabe, ebenso wie Kunstkopfstereofonie - Lautsprecherwiedergabe. In beiden Fällen setzen sich die Strecken aus je einem raumbezogenen und einem kopfbezogenen Verfahren zusammen. Die Unverträglichkeit ist in /1/ aus dem Assoziationsmodell allgemein abgeleitet worden; sie ergibt sich aus einer adaptiven Verarbeitung der Ohrsignale in der ortsbestimmenden Stufe des Gehörs :

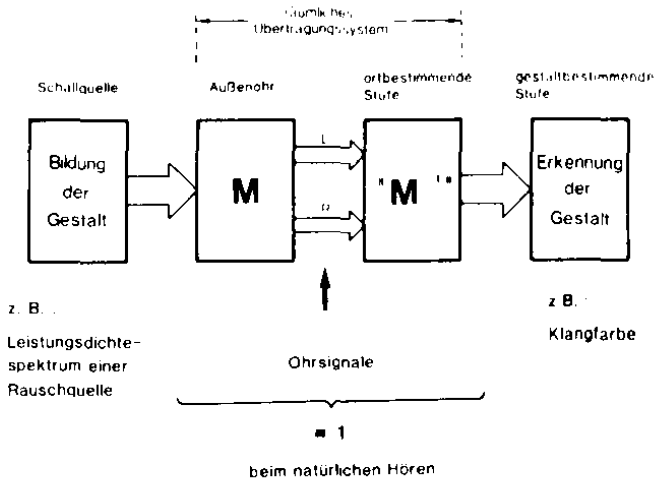

Bild 2 : Wirkungsschema für das Gehör beim natürlichen Hören

Bild 2 zeigt zunächst die Wirkungsweise des Gehörs beim natürlichen Hören. Die Ohrsignale erhalten durch die Wirkung von Kopf und Ohrmuscheln im Schallfeld eine Beeinflussung, die allein vom Ort der Schallquelle abhängt. Diese Beeinflussung wird im Modell als Form der Codierung räumlicher Information (M) aufgefaßt. In der ortbestimmenden Stufe wird die räumliche Information M "erkannt" (durch Bildung von Kreuz- und Autokorrelationen und Vergleich des aktuellen Korrelationsmusters mit gespeicherten Mustern /2/), und es erfolgt die räumliche Decodierung mit Hilfe eines adaptiven Filters "M^{-1}". Infolgedessen werden die Signale durch die Wirkung der ortbestimmenden Stufe wieder von den Ortsmerkmalen "befreit", erst danach werden sie der höher gelagerten "gestaltbestimmenden" Stufe zugeführt, und die gewonnenen Richtungs- und Entfernungsinformationen werden getrennt weitergeleitet.

Wendet man diese Wirkungsweise auf die Bildung der Klangfarbe an (die Klangfarbe ist relevant für die Bestimmung einer optimalen Entzerrung der kopfbezogenen Systeme), so erklärt sie ein für uns selbstverständliches aber trotzdem erstaunliches Phänomen. Verändert man, beispielsweise durch Kopfbewegungen, die Schalleinfallsrichtung einer Schallquelle, so verändern sich dadurch die Spektren der Ohrsignale entsprechend der Richtcharakteristik der Ohren. Der Hörer nimmt die spektralen Veränderungen jedoch nicht als Klangfarbenänderungen wahr. Das Gehör verrechnet offenbar die Änderungen der Ohrsignale zu Änderungen der Hörereignisrichtung.

Die Wirkung der Richtcharakteristik des Außenohres auf die Spektren der Ohrsignale beeinflußt nicht die Klangfarbe, weil vor der Klangfarbenbestimmung im Gehör die ortsabhängige Filterung "M^{-1}" erfolgt ("Klangfarbeninvarianz" /3/). Damit bestimmt nicht der Reiz an den Trommelfellen die Klangfarbe, sondern das Gehör "identifiziert die Klangfarbe und den Ort der Schallquelle".

Diese elementare Eigenschaft des Gehörs stellt sich im Modell durch das Produkt $M \cdot M^{-1} = 1$ dar. Das räumliche Übertragungssystem beeinflußt nicht die Klangfarbe des Hörereignisses, sofern die räumliche Information M vom Gehör ausgewertet werden kann. Das ist beim natürlichen Hören der Fall.

Analysiert man daraufhin die Übertragungsfälle Lautsprecherstereofonie - Kopfhörerwiedergabe sowie Kunstkopfstereofonie - Lautsprecherwiedergabe (Bild 1), so stellt man fest :

- Eine räumliche Information M ist bei Kopfhörerwiedergabe von raumbezogenen Signalen nicht vorhanden.
- *Die räumliche Information M, die im Kunstkopfsignal enthalten ist, kann das Gehör* bei Lautsprecherwiedergabe nicht auswerten.

In beiden Fällen ergeben sich daraus Klangfarbenprobleme, weil die ortbestimmende Stufe die falschen bzw. keine räumlichen Merkmale auswertet. Die spektralen Ohrsignalmerkmale, die Kunstkopf bzw. Kopfhörer erzeugen, gelangen "unverrechnet" an die gestaltbestimmende Stufe des Gehörs; sie beeinflussen die Klangfarbe. In /1/ ist allgemein abgeleitet worden, daß für die Entzerrung von Kunstköpfen und Kopfhörern deshalb nicht eine einzige Bezugsrichtung zugrundegelegt werden darf, sondern daß als "neutraler Bezug" das Integral über alle Außenohrübertragungsfunktionen zugrundegelegt werden muß, um ein Minimum an Klangfarbenfehlern zu gewährleisten. Das bedeutet meßtechnisch, daß nicht ein bestimmtes Freifeldübertragungsmaß, sondern das Diffusfeldübertragungsmaß von Kunstköpfen und Kopfhörern einen ebenen Frequenzverlauf aufweisen muß.

2. Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen über Lautsprecher

Bild 3 gibt die Wirkungsweise des Gehörs wieder, wenn die elektroakustische Übertragung über Kunstkopf und Lautsprecher erfolgt.

Die ortbestimmende Stufe erkennt durch die Wirkung des Außenohres die Orte der beiden Lautsprecher, es ist $M \cdot M^{-1} = 1$.

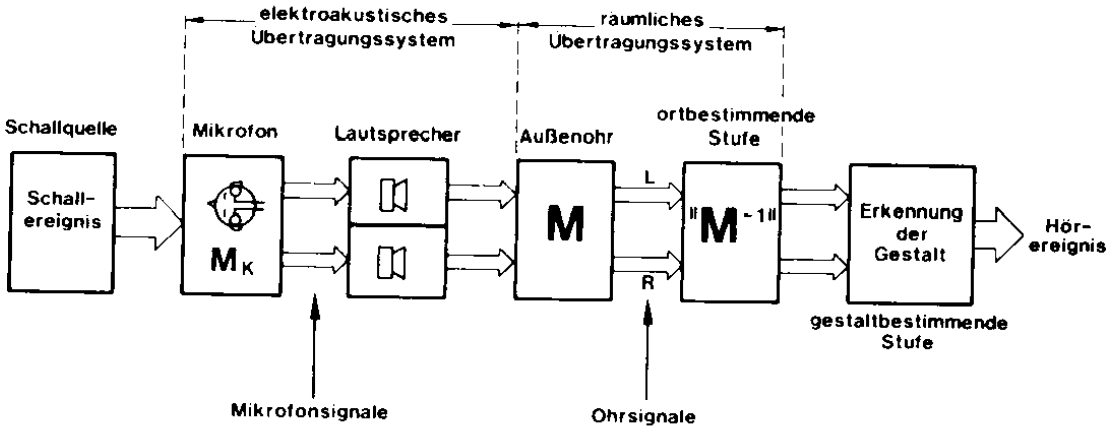

Bild 3 : Wirkungsschema des Gehörs. Lautsprecherwiedergabe von kopfbezogenen Signalen

Abhängig von der Beziehung der Lautsprechersignale werden Phantomschallquellen gebildet /2/. Die spektralen Merkmale der Kunstkopfsignale wirken dabei nicht als ortbestimmendes Merkmal; sie beeinflussen lediglich die Klangfarbe der Phantomschallquelle. Durch die Diffusfeldentzerrung des Kunstkopfes wird erreicht, daß der Einfluß der Richtcharakteristik auf die Klangfarbe minimal ist : die Summe aller richtungsspezifischen linearen Verzerrungen wird entzerrt.

Praktische Bedeutung der Diffusfeldentzerrung

Bei Lautsprecherwiedergabe wirkt der Kunstkopf demnach wie ein normales Stereomikrofon. Besonders aus diesem Grund muß der Kunstkopf eine Entzerrung aufweisen, die derjenigen von Standard-Studiomikrofonen nahekommt. Folgende Gesichtspunkte geben der Diffusfeldentzerrung eine besondere Bedeutung :

Erfolgt die Aufnahme in Konzertsälen oder Studios mit nicht extrem kleiner Nachhallzeit, so ist für das Klangbild schon bei relativ kleinem Abstand Mikrofon - Schallquelle nicht nur der Freifeldfrequenzgang, sondern auch der Diffusfeldfrequenzgang des Mikrofons maßgebend. Dazu gibt es in der Mikrofonspraxis wichtige Erfahrungen :

1. Von Studiomikrofonen wird gefordert, daß ihr Freifeld- und ihr Diffusfeldübertragungsmaß annähernd frequenzunabhängig verlaufen. Dies ist nicht möglich bei Mikrofonen, die als reine Druckempfänger arbeiten (kugelförmige Richtcharakteristiken); Freifeld— - und Diffusfeldfrequenzgang stimmen bekanntlich niemals überein. In diesem Fall

trägt man der Bedeutung des Diffusfeldübertragungsmaßes durch einen möglichst ebenen Verlauf Rechnung, und man nimmt dafür im Freifeldübertragungsmaß einen Anstieg bei hohen Frequenzen in Kauf (vgl. Bild 4). (Dies gilt natürlich nicht für Spezialmikrofone, die vorwiegend im Nahbereich eingesetzt werden oder die einen bestimmten "sound" erzielen wollen).

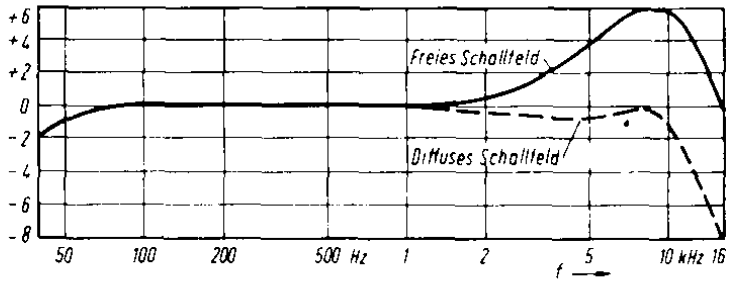

Bild 4 :

Übertragungsmaße eines Druck-Mikrofons

2. Allgemein bevorzugt man Mikrofone mit ebenem Diffusfeldübertragungsmaß, wenn sich das Mikrofon im Diffusfeld befindet. Besonders für den Kunstkopf, dessen Abstand zur Schallquelle in der Praxis größer ist als der Mikrofonabstand bei Polymikrofonie, ist das ebene Diffusfeldübertragungsmaß das entscheidende Kriterium, wenn eine klangfarbengerechte Lautsprecherwiedergabe erreicht werden soll.

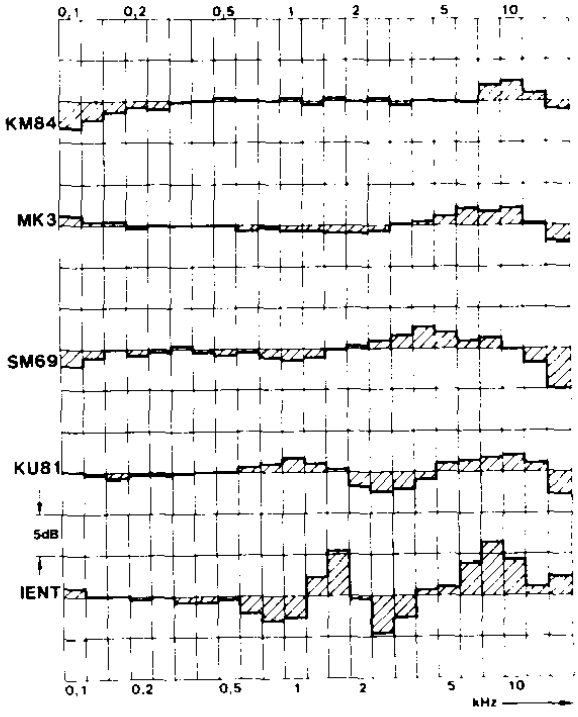

Bild 5 :

Diffusfeldübertragungsmaße von Kugelmikrofonen und Kunstköpfen

In Bild 5 sind die Diffusfeldübertragungsmaße verschiedener Studio-Mikrofone aufgetragen, dazu die Diffusfeldübertragungsmaße des Neumann-Kunstkopfes KU 81, sowie des am Institut für Elektrische Nachrichtentechnik der TH-Aachen (IENT), für Meßzwecke entwickelten Kunstkopfes /4/. Im Gegensatz zum Rundfunk-Kunstkopf KU 81 mit Diffusfeldentzerrung weist der IENT-Kunstkopf eine Freifeldentzerrung auf, die ein entsprechend ungünstiges Diffusfeldübertragungsmaß zur Folge hat (Bild 5). Dieser Kunstkopf erzeugt im Vergleich zum KU 81 und zu den anderen Mikrofonen in Bild 5 ein Klangbild,

das in Hörtests von nahezu allen Tonmeistern und fachkundigen Hörern spontan abgelehnt wurde. Da die Richtcharakteristiken der beiden Kunstköpfe sehr ähnlich sind /5/, liegt die Ursache mit Sicherheit im Diffusfeldübertragungsmaß.

Aber auch der KU 81 weist kein vollkommen ebenes Diffusfeldübertragungsmaß auf (Bild 5). Eine geringfügige Absenkung im 1-kHz-Bereich (ca. 3 dB) kann in einigen Fällen die Klangfarbe noch etwas verbessern, jedoch ist diese Korrektur nicht bei allen Aufnahmen sinnvoll.

Um die Klangfarbe der verschiedenen Mikrofontypen vergleichen zu können, wurden entsprechende Aufnahmen in drei Konzertsälen (Alte Oper/Frankfurt, Herkulessaal/München, Großer Sendesaal SFB/Berlin) durchgeführt. Die Signale unterschiedlicher Mikrofone wurden parallel auf eine Mehrspurmaschine (16-Spur-telcom bzw. 24-Spur-digital) aufgezeichnet und dienen als Testmaterial für diverse Fragestellungen.

Eine spezielle Auswertung dieses umfangreichen Materials in Hinblick auf "Klangfarbe" durch spezielle Hörtests ist noch nicht erfolgt. Jedoch konnte bereits festgestellt werden, daß besonders die Abweichungen vom Mikrofon-Diffusfeldübertragungsmaß den Klangcharakter einer musikalischen Darbietung verändern.

Es ist bekannt, daß der Klangeindruck im Konzertsaal wesentlich geprägt ist durch die Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit /6/. Ein Anstieg der Nachhallzeit auf den doppelten Wert hebt den Energiedichtepegel um 4 dB an (konstantes Raumvolumen vorausgesetzt). Ein bestimmter frequenzabhängiger Verlauf der Nachhallzeit im Bereich T = 1 s ... 3 s hat deshalb auch einen bestimmten Klangcharakter zur Folge; das Spektrum des indirekten Schallanteils entspricht in diesem Fall im Bereich $\pm$ 2 dB dem Verlauf der Nachhallzeit. Genaue Untersuchungen darüber, speziell in bezug auf die Bedeutung des Diffusfeldübertragungsmaßes, stehen noch aus. Zunächst kann gesagt werden :

- Bisher gibt es keine Untersuchungen darüber, in welchem Maße der indirekte Schallanteil im Verhältnis zum direkten Anteil das Klangbild bestimmt. Erfahrungen, die mit Kugelmikrofonen, der Jecklin-Scheibe sowie dem KU 81 gemacht worden sind, besonders aber der Hörvergleich des freifeldentzerrten IENT-Kunstkopfes mit dem diffusfeldentzerrten KU 81, zeigen, daß der Diffusfeldanteil - zumindest bei E-Musikaufnahmen - dominiert.

- Das Diffusfeldübertragungsmaß sollte im Sinne einer originalgetreuen Reproduktion des Aufnahmeraum-Klangfarbencharakters möglichst eben sein. Leichte Abweichungen um etwa ± 2 dB wirken zwar verfälschend, sind aber tolerierbar und bewegen sich im Rahmen der unterschiedlichen Energiedichtespektren verschiedener Konzertsäle. Sie können in diesem Rahmen klangliche Schwächen des Raumes ausgleichen oder verstärken.

3. Wiedergabe von raumbezogenen Aufnahmen über Kopfhörer

Bild 6 gibt die Wirkungsweise des Gehörs wieder, wenn die elektroakustische Übertragung mit üblichen raumbezogenen Aufnahmetechniken sowie Kopfhörerwiedergabe erfolgt.

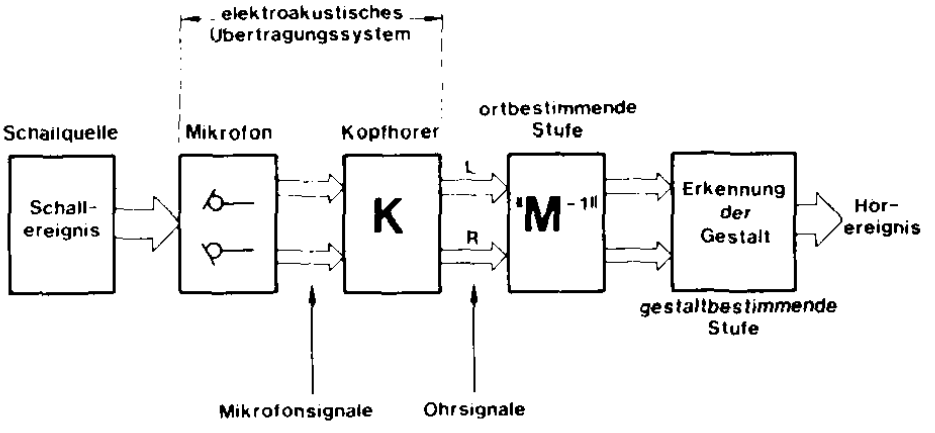

Bild 6 : Wirkungsschema des Gehörs. Kopfhörerwiedergabe von raumbezogenen Signalen

Die ortbestimmende Stufe kann keine räumlichen Merkmale M erkennen, weil die Richtcharakteristik des Außenohres durch das Aufsetzen des Kopfhörers unwirksam ist. Auch liefern die Mikrofonsignale (es sind keine Kunstkopfsignale !) keine räumlichen Ohrsignalmerkmale. Die ortsabhängige Übertragungsfunktion M ist ersetzt durch eine ortsunabhängige Kopfhörerübertragungsfunktion K.

Welchen Frequenzverlauf muß K aufweisen, damit keine Klangfarbenfehler auftreten ?

Der Ansatz "Freifeldentzerrung" erscheint formal richtig : Entzerrt man den Kopfhörer so, daß er die Freifeldübertragungsfunktion M_o (frontaler Schalleinfall) nachbildet, so kann "M^{-1}" auf M_o adaptieren; es ist $M_o \cdot M^{-1} = 1$, d.h. das Mikrofonsignal gelangt ohne lineare Verzerrungen an die gestaltbestimmende Stufe.

Doch dies kann bei einem Monosignal nur gelingen, wenn die Freifeldentzerrung des Kopfhörers $K = M_o$ individuell genau realisiert ist /7/. Es ist $M_o \bullet M^{-1} = 1$ nur, wenn das Hörereignis am Bezugsort der Entzerrung (2 m vor dem Kopf des Hörers) auftritt. Eine hinreichend genaue Entzerrung für Serien-Kopfhörer ist nicht realisierbar.

Für stereofone Signale ist die Freifeldentzerrung auch theoretisch falsch. Der "Außenohr-Ersatz" $K = M_o$ bewertet alle Anteile des raumbezogenen Signals gleich - unabhängig von den Orten der bei der Aufnahme beteiligten Schallquellen und unabhängig vom ΔL und Δt der Mikrofonsignale. Eine Schallquelle im Aufnahmeraum erzeugt also bei Kopfhörerwiedergabe Ohrsignale, die keine natürlichen räumliche Merkmale enthalten. Aus diesem Grund "erkennt" die ortbestimmende Stufe nichts weiter als die beiden Kopfhörerkapseln rechts und links an den Ohren. Das ist leicht festzustellen an der Im-Kopf-Ortung; das stereofone Hörbild ist gekennzeichnet durch "Phantomschallquellen im Kopf" /2/, es ist $M^{-1} = 1$.

Das oben gesagte bedeutet, daß die spektralen Merkmale der Ohrsignale, die der freifeldentzerrte Kopfhörer verursacht, nicht in der ortbestimmenden, sondern in der gestaltbestimmenden Stufe zur Wirkung kommen : Es ist $M_o \bullet M^{-1} = M_o$, die zu M_o inverse Filterung findet nicht statt, und es ergeben sich durch M_o Klangfarbenfehler. Ein freifeldentzerrter Kopfhörer verursacht "lineare Verzerrungen".

Lineare Verzerrungen bei Kopfhörerwiedergabe

Offenbar können Klangfarbenfehler nur vermieden werden, wenn die Entzerrung des Kopfhörers $K = 1$ ist. Nur so läßt sich die verzerrungsfreie Übertragung $K \bullet M^{-1} = 1$ erreichen. Im folgenden soll gezeigt werden, daß diese Bedingung auch physikalisch definierbar ist.

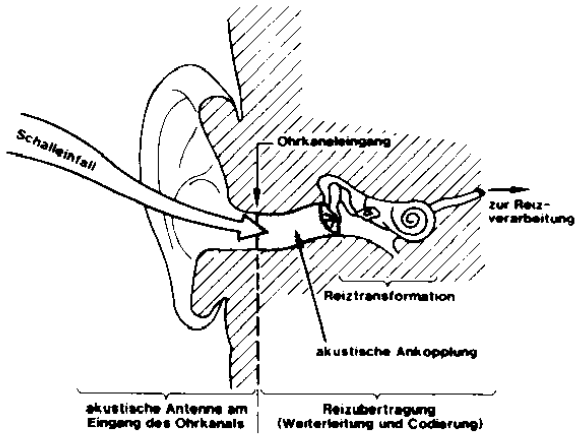

Bild 7 a : Das Ohr im Schallfeld

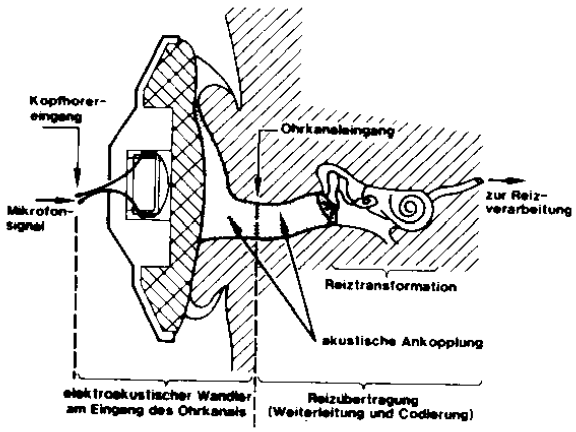

Bild 7 b : Das Ohr bei Kopfhörerwiedergabe

Zunächst seien anhand der Skizzen in Bild 7 einige Begriffe festgelegt. Befindet sich das Ohr im Schallfeld (Bild 7 a), so wirkt das Außenohr (Rumpf, Kopf und Ohrmuschel) als akustische Antenne. Das empfangene Signal gelangt über den Ohrkanaleingang zur Reizübertragung, dabei wirkt der Ohrkanal als Koppler. An dieser Konstellation ändert sich nichts, wenn anstelle der akustischen Antenne der Kopfhörer über eine akustische Ankopplung auf den Ohrkanaleingang wirkt. Die Übertragungsfunktion K des Kopfhörers ist definiert mit dem Signalverhältnis zwischen Ohrkanaleingang und Kopfhörereingang.

Formal sind also auch lineare Verzerrungen definiert, die der Kopfhörer verursacht : sie liegen vor, wenn $K \neq 1$ ist. Lineare Verzerrungen bei Kopfhörerwiedergabe können somit theoretisch ebenso gemessen werden wie diejenigen eines dem Kopfhörer vorgeschalteten Verstärkers.

Doch praktisch gibt es aus zwei Gründen Schwierigkeiten :

a) Der Ohrkanaleingang ist anatomisch nicht genau definierbar

b) Die Meßsonde kann nicht rückwirkungsfrei am Ohrkanaleingang placiert werden.

Die Schwierigkeiten lassen sich aber umgehen (vgl. Bild 8 a, 8 b) :

Bild 8 a

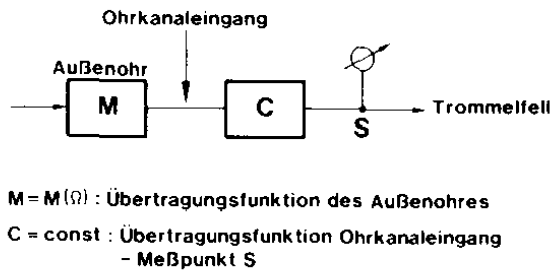

Bild 8 b

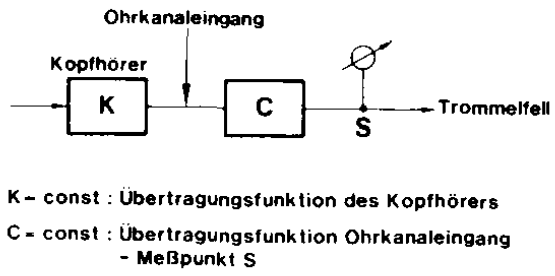

Bild 8 : Ersatzschaltbilder für die Messung von Übertragungsfunktionen

Der Ohrkanaleingang wird nicht anatomisch, sondern physikalisch definiert (Bild 8 a). Für jede Schalleinfallsrichtung Ω setzt sich die im Ohrkanal bis zum Meßpunkt S gemessene Übertragungsfunktion aus dem richtungsspezifischen Anteil $M(\Omega)$ und dem konstanten Anteil C zusammen. Bei unendlich vielen Schalleinfallsrichtungen (im Diffusfeld) geht daher der richtungsspezifische Anteil $M(\Omega)$ gegen 1.

Im Fall der Kopfhörerbeschallung (Bild 8 b) ist C ebenso groß wie im Schallfeld (Bild 8 a), wenn an derselben Stelle S des Ohrkanals gemessen wird. Deshalb ist $K = M$, wenn die gemessenen Übertragungsfunktionen $M \cdot C$ und $K \cdot C$ übereinstimmen.

Stimmen M • C und K • C im Diffusfeld überein, so geht wegen M ⟶ 1 auch K ⟶ 1. Das bedeutet : Ist die Kopfhörerübertragungsfunktion, gemessen an beliebiger Stelle im Ohrkanal, gleich der Diffusfeldübertragungsfunktion des Ohres, gemessen an der gleichen Stelle im Ohrkanal, so ist das Kopfhörerübertragungsmaß frequenzunabhängig.
Damit sind lineare Verzerrungen bei Kopfhörerwiedergabe physikalisch definiert als Abweichung des Kopfhörerübertragungsmaßes vom Außenohrübertragungsmaß im diffusen Schallfeld. Lineare Verzerrungen bei Kopfhörerwiedergabe sind deshalb physikalisch meßbar; beispielsweise nach der IRT-Vorlage DIN 45 619, Teil 3 (Sondenmessung) /8/. In /3/ und /9/ ist ausführlich begründet worden, daß Lautstärke-Vergleichsmessungen ungeeignet sind.

Praktische Bedeutung der Diffusfeldentzerrung

Diverse praktische Gütebeurteilungstests haben bestätigt, daß das ebene Diffusfeldübertragungsmaß eines Kopfhörers optimale Klangneutralität gewährleistet. Inzwischen werden von verschiedenen Firmen Kopfhörer mit genauer IRT-Entzerrung hergestellt. Bild 9 zeigt drei Beispiele dieser neuen Kopfhörer. Die Abweichungen liegen in der Größenordnung wie die Diffusfeldübertragungsmaße der Studio-Mikrofone (vgl. auch Bild 5). Studio-Mikrofone (eingeschlossen der KU 81) und Studio-Kopfhörer bilden eine nahezu verzerrungsfreie Übertragungsstrecke.

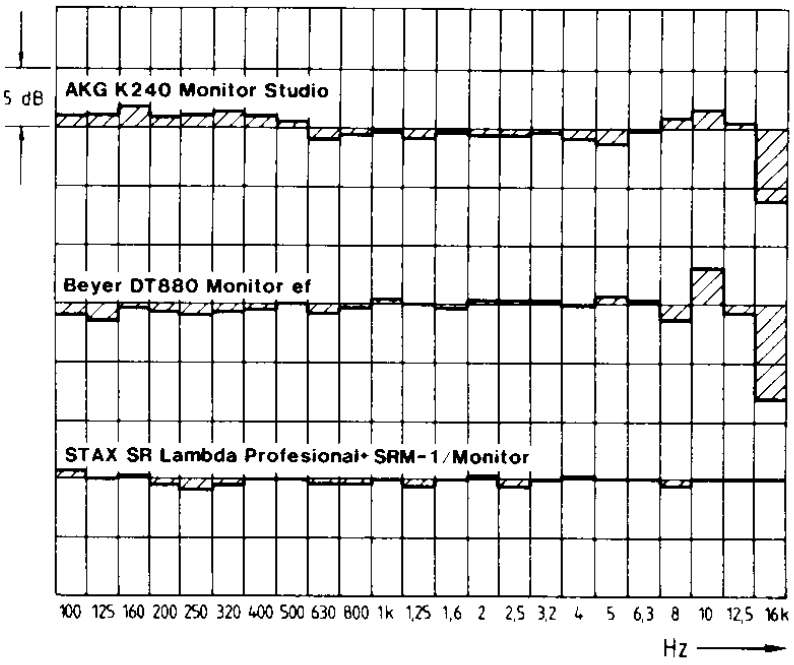

Bild 9 :

Diffusfeldübertragungsmaße von drei Kopfhörern mit IRT-Entzerrung

Damit sind die Voraussetzungen dafür geschaffen worden, daß sowohl in den Tonstudios als auch beim Hörer die Kopfhörerwiedergabe einheitlich und klangneutral erfolgen kann, und zwar sowohl bei der Wiedergabe von üblichen (raumbezogenen) Aufnahmen als auch bei Kunstkopfaufnahmen.

Für den Tonmeister hat die Kopfhörerwiedergabe nicht nur bei Kunstkopf-Produktionen eine Bedeutung : Der Hörer benutzt allgemein gerade für das intensive qualitätsbewußte Hören in vielen Fällen Kopfhörer, um eine hohe Wiedergabequalität bei vertretbarem Aufwand zu erzielen. Er kann damit die Qualität von Tonübertragungen sehr genau beurteilen. Es hat sich sogar gezeigt, daß verschiedene Qualitätsbeeinträchtigungen bei Kopfhörerwiedergabe deutlicher wahrgenommen werden als bei Lautsprecherwiedergabe. Beispielsweise hat sich an Hörversuchen gezeigt, daß der für "Rauschfreiheit" erforderliche Geräuschspannungsabstand bei Kopfhörerwiedergabe bis zu 10 dB größer ist als bei entsprechender "gleich lauter" Lautsprecherwiedergabe. Ähnliche Erfahrungen sind für Qualitätsbeeinträchtigungen durch Störgeräusche im Studio, durch Bandschnitte, durch nichtlineare Verzerrungen, durch Knacke (verursacht durch Bitfehler oder Übersteuerungen bei der digitalen Übertragung), durch Quantisierungsfehler (hörbar bei Untersteuerung) usw gemacht worden. Der Hörer verfügt mit dem Kopfhörer über eine Abhöreinrichtung, die hinsichtlich wichtiger Qualitätsparameter empfindlicher sein kann als die Regielautsprecher.
Für die Beurteilung bestimmter Qualitätsparameter (Klangfarbe, Dynamik, Störgeräusche) sind auch im Tonstudio Kopfhörer im Prinzip besser geeignet als Lautsprecher. Das IRT hat deshalb eine entsprechende Änderung der CCIR-Recommendation 562 erwirkt. Dies war sinnvoll, weil nunmehr eine geeignete Standardisierung von Studio-Kopfhörern möglich ist.
Besonders für die Beurteilung der Klangfarbe erscheint die Standardisierung eines Kopfhörers zweckmäßig. Da die Eigenschaften des Regieraumes keine Rolle spielen, läßt sich eine Einheitlichkeit mit geringerem Aufwand und sehr genau durch Einhaltung des ebenen Diffusfeldübertragungsmaßes erreichen; lineare Verzerrungen sind damit ausgeschlossen.

4. Zusammenfassung

Eng verknüpft mit der Weiterentwicklung der kopfbezogenen Stereofonie sind vor etwa drei Jahren die theoretischen Vorstellungen über die Funktion des Gehörs beim räumlichen Hören erweitert worden. Mit Hilfe einer einfachen Modellvorstellung konnte die optimale Entzerrung der Schnittstelle zwischen Aufnahme- und Wiedergabeseite allgemein definiert werden : Sobald kopfbezogene Signale über Lautsprecher oder raumbezogenen Signale über Kopfhörer abgehört werden, muß das Integral über alle Außenohrübertragungsfunktionen zugrunde gelegt werden, um Klangfarbenfehler zu vermeiden. Deshalb wurde als "Universalschnittstelle" zwischen Aufnahme- und Wiedergabeseite eine Entzerrung vorgeschlagen, die sich grundsätzlich auf das Diffusfeld bezieht.

Diese sogenannte Diffusfeldentzerrung, die für Studiomikrofone seit langem die Standard-Entzerrung darstellt, ist ebenfalls am Studio-Kunstkopf KU 81 mit ausreichender Genauigkeit realisiert, so daß die klanglichen Ergebnisse vergleichbar sind mit Ergebnissen, die mit Standard-Studiomikrofonen erreicht werden.
Darüber hinaus ergibt sich für Kopfhörerwiedergabe, daß lineare Verzerrungen (unabhängig vom Aufnahmeverfahren) physikalisch definierbar und meßbar sind. Diverse praktische Gütebeurteilungstests haben bestätigt, daß Kopfhörer nur dann keine linearen Verzerrungen verursachen, wenn sie ein ebenes Diffusfeldübertragungsmaß aufweisen, gemessen nach IRT-Vorlage DIN 45 619, Teil 3 (Febr. 83). Inzwischen werden von verschiedenen Firmen Kopfhörer mit genauer IRT-Diffusfeldentzerrung hergestellt. Damit kann sowohl in den Tonstudios als auch beim Hörer die Kopfhörerwiedergabe einheitlich und ohne lineare Verzerrungen erfolgen, und zwar sowohl bei der Wiedergabe von üblichen stereofonen Aufnahmen als auch bei der Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen.
Im Gegensatz zu den gegenwärtigen Normen gewährleistet die IRT-Diffusfeldentzerrung vollkommene Klangneutralität und ermöglicht deshalb enge Toleranzen. Sie wird für die Standardisierung von Studio-Kopfhörern empfohlen.

Literatur

/1/ THEILE, G. : Zur Theorie der optimalen Wiedergabe von stereofonen Signalen über Lautsprecher und Kopfhörer. Rundfunktechn. Mitt. 25, 1981, 155 - 170.

/2/ THEILE, G. : Über die Lokalisation im überlagerten Schallfeld. Diss. TU-Berlin, 1980.

/3/ THEILE, G. : Sind "Klangfarbe" und "Lautstärke" vollständig determiniert durch das Schalldruckpegel-Spektrum am Trommelfell ? Fortschritte der Akustik - DAGA '84. Bad Honnef : DPG-GmbH 1984, 747 - 752.

/4/ GENUIT, K. : Optimierung eines Kunstkopfaufnahmesystems. 12. Tonmeistertagung München 1981. Tagungsband 218 - 243.

/5/ THEILE, G., SPIKOFSKI, G. : Vergleich zweier Kunstkopfsysteme unter Berücksichtigung verschiedener Anwendungsbereiche. Fortschritte der Akustik - DAGA '84. Bad Honnef : DPG-GmbH 1984, 223 - 226.

/6/ MEYER, J. : Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Verlag Das Musikinstrument, Frankfurt/M. 1980.

/7/ LAWS, P. : Zum Problem des Entfernungshörens und der Im-Kopf-Lokalisiertheit von Hörereignissen. Dissertation Techn. Hochschule Aachen, 1979.

/8/ Normvorlage DIN 45 619, Teil 3 : Kopfhörer, Bestimmung des Diffusfeldübertragungsmaßes durch Sonden-Vergleichsmessung. IRT, Febr. 1983.

/9/ THEILE, G. : Untersuchungen zur Standardisierung eines Studiokopfhörers. Rundfunktechn. Mitt. 27, 1983, 17 - 26.