

Entwicklung eines neuen Studio-Kunstkopfes

# Natürliches Hören mit künstlichem Kopf

Neueste Forschungsergebnisse zeigen, daß diffusfeldentzerrte Kunstkopfaufnahmen bessere Ergebnisse liefern als freifeldentzerrte. Neumann hat nun einen entsprechenden Kunstkopf gebaut.

Die langjährige Praxis mit dem zur IFA '73 erstmals vorgestellten Kunstkopf KU 80 von Neumann hat Mängel aufgezeigt, die Gegenstand umfangreicher Untersuchungen sowohl beim Hersteller als auch bei Anwendern und in verschiedenen Instituten waren [1]. Schließlich kam es zu einer Weiterentwicklung des Kunstkopfes im Auftrag des Instituts für Rundfunktechnik, München. Mit Hilfe elektrischer Filter wurde auch hier zunächst – wie schon bei früheren Arbeiten – versucht, den 0°-Frequenzgang des Kunstkopfes als hervorstechendsten Mangel zu „berichtigen“.

Während man mit dem „alten“ Kunstkopf KU 80 den Freifeldfre-

quenzgang des menschlichen Ohres in einer bestimmten Ebene des Gehörganges nachzubilden versucht hatte, gab es später Vorschläge, den Kunstkopf für einen ebenen Freifeldfrequenzgang, zum Beispiel für die Schalleinfallrichtung „von vorn“, zu entzerren. Das sollte das Kunstkopfsignal im Klang kompatibel für Lautsprecherübertragung machen, da ein „normales“ Studiomikrofon ebenfalls einen ebenen 0°-Frequenzgang besitzt.

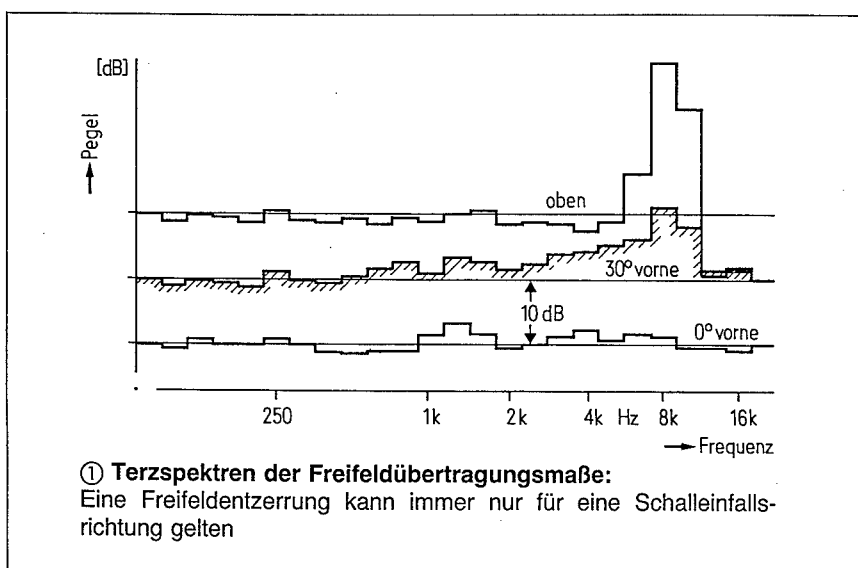
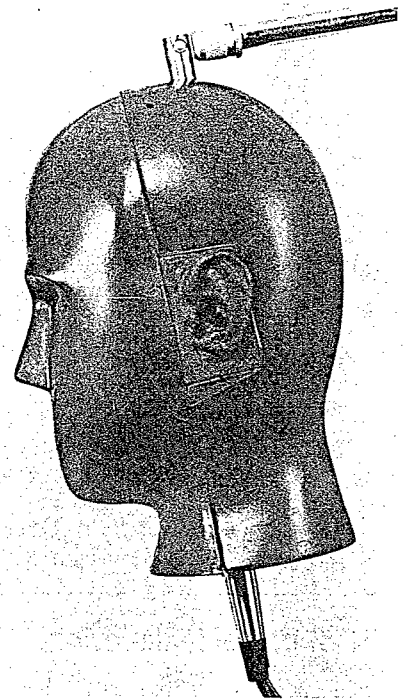
Wegen der komplizierten Gestalt der Außenohren ist die Richtcharakteristik sehr frequenzabhängig. Eine Freifeldentzerrung kann immer nur für eine Schalleinfallrichtung gelten (Bild 1), beeinflusst aber das Übertragungsmaß

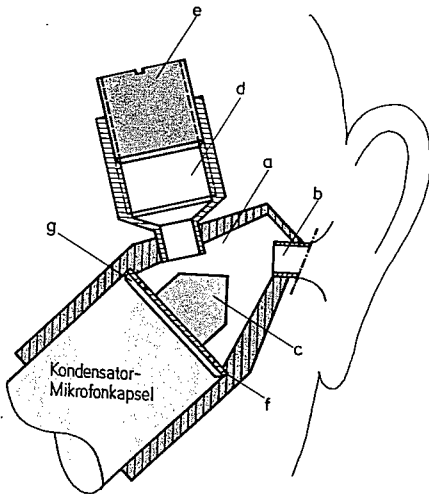
② Diffusfeldentzerrter Kunstkopf: Aufnahmen mit diesem Kunstkopf eignen sich auch für Lautsprecherwiedergabe

für alle Schalleinfallrichtungen und verfälscht für sie das Kunstkopfsignal [2].

Geht man davon aus, daß sich der Kunstkopf in den meisten Fällen in größerer Entfernung zur Schallquelle und in akustisch sehr unterschiedlichen Umgebungen befindet, muß man richtiger die Verhältnisse im diffusen Schallfeld betrachten. (Das diffuse Schallfeld ist gekennzeichnet durch gleichmäßig einfallende Schallanteile aus allen Richtungen, im Gegensatz zu den für akustische Messungen sonst üblichen Bedingungen im freien Schallfeld, in dem es nur eine Schalleinfallrichtung gibt.) Während man ein freies Schallfeld mit Hilfe eines reflexionsarmen („schalltoten“) Raumes nachbildet, benutzt man für Messungen im diffusen Schallfeld einen Hallraum.

Wird der Kunstkopf in der Weise entzerrt, daß sein Diffusfeldfrequenzgang eben ist – wie es auch bei den in der Studioteknik üblichen (Stereo-) Mikrofonen der Fall ist –, gibt es keine bevorzugte Richtung mehr. Damit wird vermieden, markante, frequenzabhängige Eigenschaften des Außenohres für eine ausgewählte Richtung übermäßig hervorzuheben.





③ IRT-Prototyp: Zur Diffusfeldentzerrung war ein passives Filter erforderlich

Diffusfeldentzerrung  
löst  
Freifeldentzerrung ab

Die Diffusfeldentzerrung, die das entscheidende neue Merkmal des Kunstkopfes KU 81 (Bild 2) ist, ermög-

licht die „Klangtreue“ sowohl für Kopfhörer- als auch für Lautsprecherwiedergabe.

Frühere Untersuchungen hatten gezeigt, daß beim Kunstkopf auf die Nachbildung des gesamten Gehörganges und der Trommelfell-Impedanz verzichtet werden kann, weil das äußere Schallfeld nur bis zu einer Länge von ca. 4 mm richtungsabhängig in den Ohrkanal hineinwirkt [3]. Weiter innen erfolgt nur eine richtungsunabhängige (lineare) Frequenzgangänderung, die in praktisch beliebiger Weise korrigiert werden kann.

Im Prototyp des IRT-Kunstkopfes wurde die gewünschte Diffusfeldentzerrung des Kunstkopfes hauptsächlich mit einem elektrischen, passiven Filter erreicht, das in den Aufnahmeweg eingebracht war. Im Kunstkopf selbst befand sich je ein Koppler als Übergang vom Ohrkanaldurchmesser (5 mm) zum Mikrofonkapseldurchmesser (21 mm) [4].

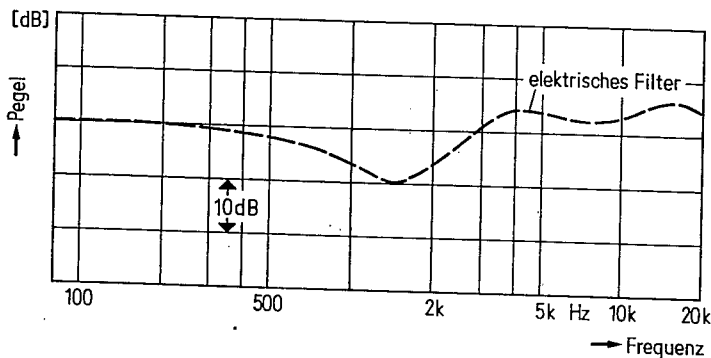
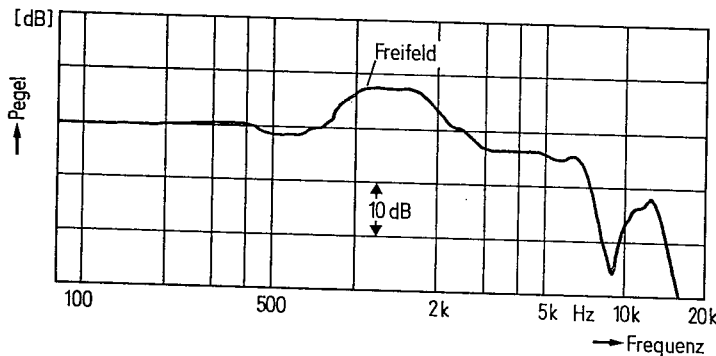
Dieses in Bild 3 erkennbare kegelförmige Übergangsstück (a) besaß ein kurzes, eingelötetes Rohrstück (b) als Ohrkanal, einen Innenkegel (c) zur Verringerung des eingeschlossenen Luftvolumens sowie zwei angekoppelte Luft-

räume (Helmholtz-Resonatoren). Der seitlich angesetzte Resonator (d) war mit einer Schraube (e) abstimbar zur Bedämpfung der Kopplerresonanz. Die Federwirkung der Luft in der Lochscheibe (f), die den Innenkegel trug, war im Zusammenhang mit der vor der Mikrofonmembran verbleibenden Luftmasse (g) abgestimmt auf die sonst zu früh abfallende Flanke des Übertragungsmaßes.

Diese Anordnung ergab den in Bild 4 (oben) gezeigten (Freifeld-)Frequenzgang bei frontalem Schalleinfall. Ein Vergleich mit dem Frequenzgang des elektrischen Filters (unterer Teil von Bild 4) zeigt, daß richtungsspezifische Merkmale, wie der starke Einbruch bei 8 kHz für frontalen Schalleinfall, nicht entzerrt wurden und somit auch nicht verlorengingen.

Alter Kopf  
auf neu frisiert

Dem Konzept lag der Wunsch zugrunde, die im Kunstkopf KU 80 eingebauten Mikrofonteil für das Nachfolgemodell KU 81 weiter verwenden zu



④ Kunstkopf-Frequenzgänge: Vergleich zwischen Originalfrequenzverlauf (oben, Freifeldentzerrung) und elektronisch „auf Diffusfeld“ getrimmtem Frequenzgang (unten)

können bzw. einen vorhandenen Kunstkopf problemlos auf den neuen Erkenntnisstand umzubauen. Dem standen aber aus dem Kreis der Anwender Forderungen entgegen, die der neue Kunstkopf erfüllen sollte, nämlich:

- das richtig entzerrte Signal ohne Zusatzgeräte zu liefern,
- weiter aussteuerbar zu sein als der Kunstkopf KU 80,
- bessere Montage- bzw. Aufhängungsmöglichkeiten zu bieten.

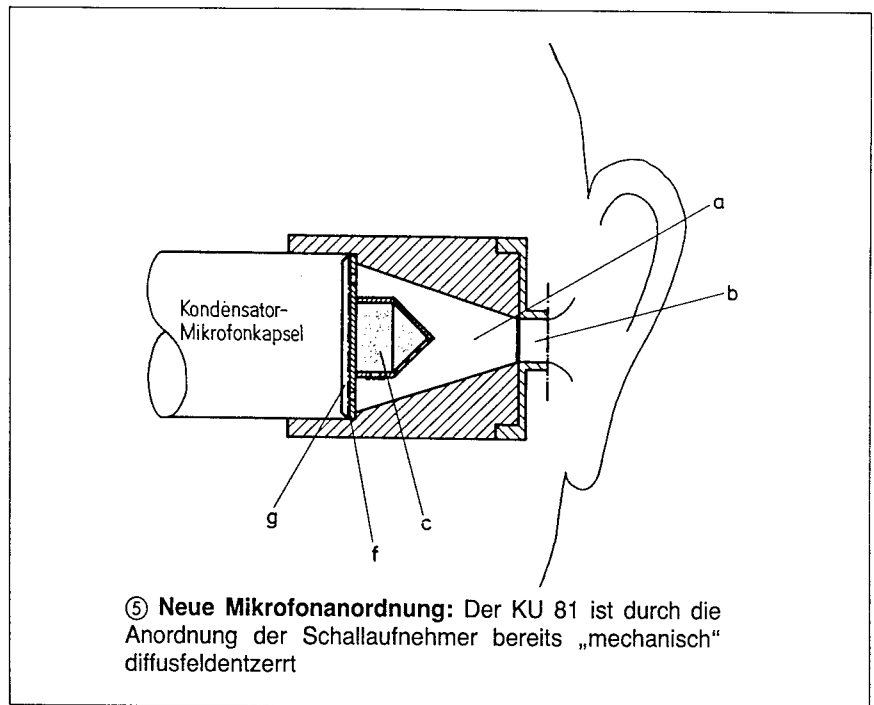
Während der letzte Punkt nur die äußere Konstruktion betraf und durch in den Kopf eingelassene Stativanschlußbuchsen und Ösen erfüllt werden konnte, führten die beiden anderen dazu, die gewünschte Diffusfeldentzerrung weitgehend akustisch (im Koppler) zu realisieren und einen neuen Verstärkertyp einzubauen, der zugleich eine Frequenzgangkorrektur (Anhebung der oberen drei Oktaven) zuließ.

Für die akustische Entzerrung ist der Koppler so umgebaut worden, wie es Bild 5 zeigt. Zunächst wurden die Mikrofonkapsel, der Koppler und der Ohrkanal axial angeordnet. Das erleichtert nicht nur das Ansetzen des Ohrkanalröhrchens, sondern beseitigt vor allem den toten Raum im oberen Kegelstumpf, der in der Prototypversion im wesentlichen die Frequenzanteile oberhalb von 10 kHz bedämpft hat (Bild 3).

### Das Ohr wird nachgebildet

Im zweiten Schritt wurde der von der Lochscheibe getragene Innenkonus mit einem Hohlraum und einer Bohrung derart versehen, daß sich ein Helmholtz-Resonator für  $f = 1,5 \text{ kHz}$  ergab. Dieser ersetzt den seitlich angebrachten Resonator d aus Bild 3 und beseitigt als „Saugkreis“ einen Teil der Frequenzgangüberhöhung infolge der Luftmasse im Koppler (a), die durch den Ohrkanal (b) hin- und herschwingt.

Da die schwingenden Luftteilchen in der Öffnung eines Resonatorvolumens als kleinstem Querschnitt die größte



Schnelle besitzen, können sie dort durch Reibung am wirkungsvollsten gebremst werden. Das geschieht hier durch engmaschige Gaze über den Öffnungen der Hohlraumresonatoren a und c, die durch sie bedämpft werden.

Der zum Resonator a, b in Serie geschaltete akustische Schwingkreis g, f bleibt weiterhin bestehen, wird aber ebenfalls bedämpft, da der Frequenzbereich um 7,5 kHz sonst zu stark durch ihn angehoben würde. Die beschriebenen Maßnahmen zusammen ersetzen das recht aufwendige Filter des alten Modells und geben dem neuen Kunstkopf KU 81 den in Bild 6 dargestellten Diffusfeldfrequenzgang.

Die Richtungsinformation erhält der Kunstkopf durch die komplizierte Gestalt der Außenohren (frequenzabhängige Richtcharakteristik) und durch Laufzeiten und Beugungen des Schalls am Kopf.

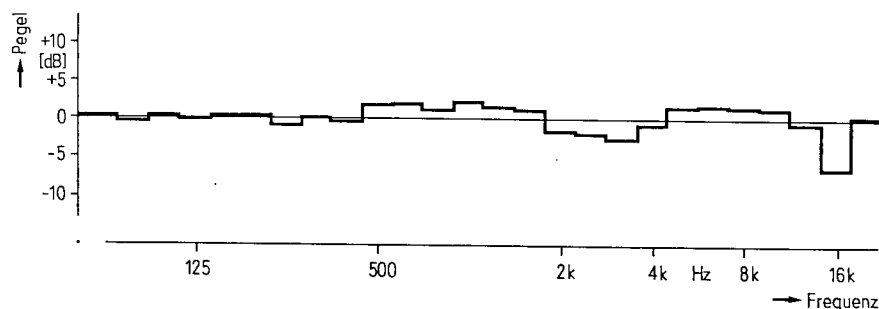
Nach Untersuchungen an der Ruhruniversität Bochum wurden neue Außenohrformen hergestellt. Dabei handelt es sich um den Abguß der Ohren einer bei umfangreichen Hörversuchen ermittelten „typischen“ Versuchsperson. Die Form ist elastisch, und mit Hilfe eines neuen Gießmaterials können die Ohren mit allen Fältelungen und Hinterschneidungen den echten genau nachgebildet werden.

Zahlreiche Aufnahmen mit der neuen Kunstkopfausführung haben inzwischen bestätigt, daß sich durch die beschriebenen Maßnahmen nicht nur eindrucksvolle Hörereignisse beim Abhören der Kunstkopfsignale mit Kopfhörern ergeben, sondern daß auch bei der Wiedergabe über Lautsprecher ein natürliches Klangbild entsteht, das eine gute Richtungsauflösung innerhalb der Basisbreite mit präziser Abbildungsschärfe bietet sowie das Gefühl für Raumtiefe und Räumlichkeit vermittelt.

### Kunstkopf jetzt auch für Lautsprecherwiedergabe

Die Möglichkeit einer qualitativ hochwertigen Lautsprecherwiedergabe ist, wie bereits angedeutet, einer der wichtigsten Unterschiede zwischen dem Kunstkopf KU 81 und seinem Vorgänger KU 80. Druck- („Kugel-“) Mikrofone, wie sie auch im Kunstkopf verwendet werden, können grundsätzlich nur im freien oder im diffusen Schallfeld einen ebenen Frequenzgang aufweisen, weil bei Schalleinfall senkrecht auf die Membran ( $0^\circ$ ) für hohe Frequenzen (Wellenlängen in der Größenordnung des Membrandurchmessers) ein Druckstau vor der Membran entsteht. Als Folge steigt z. B. das  $0^\circ$ -Übertragungsmaß für diesen Frequenz-

⑥ **Fast ideal:** Das Terzspektrum des Diffusfeldübertragungsmaßes des KU 81 kommt dem Ideal (Nulllinie) sehr nahe



bereich an, wenn der Wandler für einen ebenen Frequenzgang im diffusen Schallfeld entwickelt worden ist, da dieser Druckstau sich bei Schalleinfall aus allen anderen Richtungen nicht ausbilden kann. Umgekehrt fällt das Diffusfeld-Übertragungsmaß im oberen Frequenzbereich ab, wenn es sich um einen Druckempfänger mit ebenem Freifeldfrequenzgang handelt.

Der am Ort des Trommelfells freifeldentzerrte Kunstkopf KU 80 mußte deshalb bei Lautsprecherwiedergabe dumpf klingen. Eine am Trommelfell vorhandene und im KU 80 nachgebildete Anhebung im Bereich von 1,5 kHz ließ das Lautsprecherklangbild zudem „topfig“ erscheinen.

Im Gegensatz zu Druckempfängern haben gute Druckgradientenempfänger, z. B. mit Nierencharakteristik, ein sowohl im freien wie im diffusen Schallfeld ebenes Übertragungsmaß, eine Eigenschaft, die trotz der viel stärkeren Verbreitung dieses Mikrofontyps nur wenigen wirklich bewußt ist. Doch war es offensichtlich diese Diffusfeldeigenschaft, die man dem Druckempfänger „Kunstkopf“ bewußt verleihen mußte, um mit ihm bei Lautsprecherwiedergabe ein Klangbild übertragen zu können, wie man es mit der intensitätsstereofonen Aufnahmetechnik gewohnt ist.

Die gültigen Normen (DIN 45 500/45 619) empfehlen für Kopfhörer einen ebenen Freifeldfrequenzgang, wobei die Sollkurve innerhalb eines recht breiten Toleranzfeldes liegen darf. Neuere Messungen haben jedoch gezeigt, daß viele hochwertige Kopfhörermodelle durch Ausnutzung des Toleranzfeldes eher einen im Diffusfeld ebenen Frequenzgang, als den nach

Norm vorgesehenen besitzen. Diese Entzerrung wurde bewußt, aufgrund der Hörerfahrung eines dadurch natürlicheren oder auch angenehmeren Klangbildes, gewählt [5].

Ein Kopfhörer mit einem ebenen Diffusfeldfrequenzgang ist daher nicht nur das dem diffusfeldentzerrten Kunstkopf adäquate Übertragungsglied, sondern eignet sich auch für die Wiedergabe herkömmlicher intensitätsstereofoner Programme besser als ein freifeldentzerrter Kopfhörer.

Die Betrachtung des Diffusfeldfrequenzganges macht den neuen Kunstkopf also nicht zu einem „Exoten“ der Akustik, nur weil der übliche Bezug das freie Schallfeld ist, sondern fügt ihn nahtlos in die neuesten Erkenntnisse von der Kompatibilität der verschiedenen Aufnahmeverfahren und Wiedergabemöglichkeiten ein.

Stephan Peus

#### Literatur

- [1] Hudde, M.; Schröter, J.: Verbesserungen am Neumann-Kunstkopfsystem. Rundfunktechnische Mitteilungen 25 (1981), S. 1...6.
- [2] Theile, G.: Zur Kompatibilität von Kunstkopfsignalen mit intensitätsstereofonen Signalen bei Lautsprecherwiedergabe: Die Klangfarbe. Rundfunktechnische Mitteilungen 25 (1981).
- [3] Hudde, M.; Schröter, J.: The equalization of artificial heads without exact replication of the eardrum impedance. Acustica 44 (1980).
- [4] Wollherr, H.: Mikrofonankopplung an das Außenohr eines neuen Kunstkopfes. Rundfunktechnische Mitteilungen 25 (1981).
- [5] Rhenius, V.: Kopfhörer: Rein dynamisch. FUNKSCHAU 1982, Heft 17, S. 52...53.

#### Stichworte zum Inhalt

Kunstkopf KU 81, Freifeldfrequenzgang, Freifeldentzerrung, Diffusfeldentzerrung, Hallraum, schalltoter Raum, Helmholtz-Resonator, Lautsprecherwiedergabe von Kunstkopfaufnahmen.

Überreicht durch:

**Georg Neumann GmbH**  
**Charlottenstraße 3, 1000 Berlin 61**