

# Gehör-Mikrofon-Kopfhörer Teil 6

*In dem hier vorliegenden sechsten Teil der Artikelserie „Gehör-Mikrofon-Kopfhörer“ werden die gebräuchlichsten Kopfhörer ausführlich beschrieben.*

## 6. Kopfhörer

Kopfhörer sind Schallsender. Sie wandeln die von ihnen aufgenommene elektrische Energie in Schallenergie um (s. a. Teil 4 dieser Reihe). Wie es der Name schon sagt, werden Kopfhörer am Kopf getragen. Sie bestehen im Prinzip aus zwei gleichen Einzelhörerkapseln mit ohranliegenden bzw. ohrumschließenden Muscheln (oder auch: Polstern) und einem beide miteinander verbindenden Kopf- oder Tragebügel, der für einen guten und möglichst auch angenehmen Sitz sowie einen ausreichenden Andruck der beiden Hörer an unsere Ohrmuscheln sorgt. Der Tragekomfort eines jeden Kopfhörers wird in erheblichem Maße sowohl von den mechanischen Eigenschaften des Kopfbügels als auch von der allgemeinen Beschaffenheit der Hörerpolster mitbestimmt.

Kopfhörer gibt es seit über 100 Jahren. Die ersten Kopfhörer arbeiteten nach dem elektromagnetischen Wandlerprinzip (s. a. Teil 4). Sicht man vom relativ guten Wirkungsgrad einmal ab, so war die mit jenen Hörern erreichbare Übertragungsqualität – gemessen an unseren heutigen Vorstellungen von einem Kopfhörer – unzureichend. Im Laufe der Zeit wurden weitere Wandlerprinzipie bekannt, durch deren Anwendung die Übertragungseigenschaften von Kopfhörern entscheidend verbessert werden konnte. Unsere modernen Kopfhörer arbeiten heute, bis auf einige wenige Ausnahmen, durchweg nach dem elektrodynamischen Wandlerprinzip.

Kopfhörer bieten zweifellos die beste Möglichkeit für eine unmittelbare, zweikanalige Schallübertragung bis hin zu unseren beiden Ohren. Die große Beliebtheit, derer sich heutzutage gute Stereokopfhörer (s. a. Teil 2) erfreuen, kommt insofern nicht von ungefähr; Kopfhörer vermitteln den deutlichsten Stereoeindruck und bieten zudem stets das gleiche Klangbild, unabhängig davon, ob sich ihr Träger während seines musikalischen Genusses im weichen Sessel zurücklehnt oder umhergeht. Den vermeintlichen „Nachteil“, daß die akustische Abbildung eines Schallereignisses im „Hinterkopf“ und nicht im umgebenden Raum erfolgt, nimmt man dabei meist gern in Kauf.

Elektrisch gesehen kommt man infolge des sehr geringen Abstandes zwischen Hörer und Ohr beim Kopfhörerbetrieb mit außerordentlich kleinen elektrischen Signalleistungen aus – verglichen mit dem, was Lautsprecher aufnehmen.

Ein weiterer Vorzug von Kopfhörern ist ihre akustische „Umweltfreundlichkeit“. Musikdarbietungen, die bei Lautsprecherbetrieb zur vollen Entfaltung ihrer Klangfülle mehr als ‚nur Zimmerlautstärke‘ benötigen, können Musikliebhaber mit Kopfhörern auch in hellhörigen (Miet-)Wohnungen uneingeschränkt genießen, ohne ihre Nachbarn – meist gegen deren Willen – daran zu beteiligen. Dennoch fand der Kopfhörer in den weiter zurückliegenden Jahren nur sehr bescheidenen Zuspruch unter den Freunden elektroakustisch übertragener und dargebotener Musik, was nicht zuletzt auch daran lag, daß man sich beim Tragen eines solchen

von der Außenwelt mehr oder weniger hermetisch abgekapselt fühlte. Glücklicherweise gibt es inzwischen, d. h. seit mehr als anderthalb Jahrzehnten, auch sogenannte „offene“\*) Kopfhörer, so daß die Ohren nur noch von leichten, offeneren Schaumnetzpölkstern bedeckt sind, hinter denen sich die schallerzeugenden und -abstrahlenden Hörerkapseln befinden. Den Kopfhörer selbst spürt man in diesem Falle kaum noch. Offene Kopfhörer vermitteln überdies ein außergewöhnlich freies und unbeschwertes Hörerlebnis, und man bleibt für seine Umwelt stets ansprechbar.

Über die unterschiedlichen Eigenschaften von geschlossenen und offenen Kopfhörern sowie über die Messung und Beurteilung ihres Übertragungsverhaltens wird nachfolgend noch ausführlich berichtet. Desweiteren wird in diesem Beitrag auch über Hör/Sprechgarnituren, d. h. über



*Bild 6.1: Ausführungsbeispiel für einen geschlossenen Kopfhörer: Typ HD 230 von Sennheiser electronic*

Kombinationen aus Kopfhörern und Mikrofonen gesprochen. Spezielle Kopfhörerausführungen, zu denen u. a. auch „drahtlose Kopfhörer“ mit eingebauten Infrarotlicht-Empfängern gehören, beschließen diesen sechsten und letzten Teil der Aufsatzreihe „Gehör-Mikrofon-Kopfhörer“.

\*) 1968 brachte Sennheiser electronic den ersten „offenen“ Stereokopfhörer (Typ HD 414) auf den Markt und meldete zugleich ein Schutzrecht (DBP 15 37 700) dafür an. Dieses Schutzrecht wurde seitdem von vielen namhaften Kopfhörerherstellern gegen Lizenz in Anspruch genommen. Dank der Transparenz des dargebotenen Klangbildes konnte sich dieses damals noch neue, offene Hörerprinzip sehr schnell durchsetzen.

## 6.1 Der geschlossene Kopfhörer

Unter einem geschlossenen Kopfhörer versteht man i. a. einen Hörer, der auf Grund seines Aufbaus das Ohr von der Außenwelt akustisch weitgehend abschließt. Das hat zur Folge, daß alle Umgebungsgeräusche entweder überhaupt nicht oder nur sehr stark gedämpft durch den Kopfhörer hindurch an das Trommelfell des umschlossenen Ohres gelangen. Das gleiche gilt natürlich auch für den vom Hörer erzeugten Schall; auch er dringt beim geschlossenen Hörer äußerstfalls nur gedämpft nach außen.

Von der akustischen Funktion her kann man sich einen am Ohr getragenen, geschlossenen Kopfhörer als ein Gebilde vorstellen, das aus zwei in sich abgeschlossenen, akustisch jedoch verschiedenartigen Hohlräumen bzw. Kammern besteht. Beide Kammern sind durch eine gemeinsame Trennwand räumlich voneinander getrennt, die ihrerseits im wesentlichen aus der akustisch durchlässigen Kopfhörermembran besteht. Die Membran, die bei elektrodynamischen Kopfhörern von einer Schwingspule (s. a. Bild 4.2) angetrieben wird, arbeitet somit nach beiden Seiten gegen zwei Raumvolumina mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften. Der eine Raum befindet sich auf der vorderen, dem Ohr zugewandten Membranseite. Er ist durch das Ohrpolster nach außen abgedichtet und wird in der Fachsprache auch als „Druckkammer“ bezeichnet. Kopfhörer dieser Art nennt man daher auch Druckkammerhörer. – Den anderen, ebenfalls geschlossenen Raum findet man auf der hinteren, dem Ohr abgewandten Seite der Kopfhörermembran. Die Übertragungsqualität eines geschlossenen Kopfhörers wird sehr wesentlich von der Größe dieses Raumvolumens mitbestimmt. Man kann die rückwärtige Kammer zwar durch eine geeignete Öffnung nach außen praktisch unendlich groß machen, verläßt damit aber gleichzeitig das Prinzip des (völlig) geschlossenen Kopfhörers mit der Konsequenz, daß von außen kommender Schall durch die dünne, akustisch durchlässige Hörermembran hindurch bis ans Ohr gelangen kann.

Infolge ihres physikalisch bedingten Tiefpaßverhaltens ist der Übertragungsbereich von geschlossenen, ohrumschließenden Hörern nach hohen Frequenzen

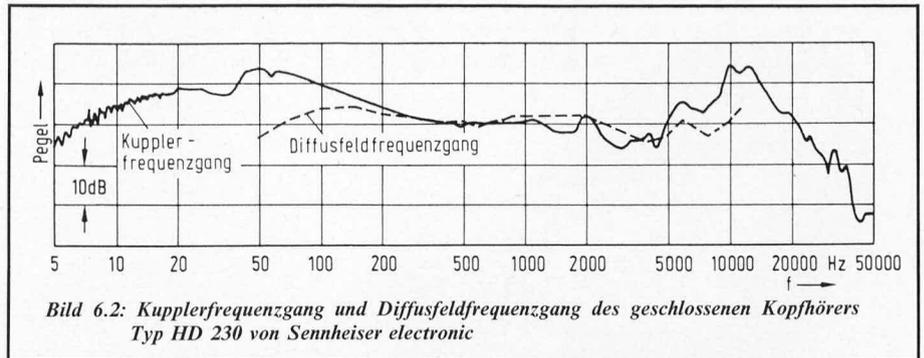


Bild 6.2: Kupplerfrequenzgang und Diffusfeldfrequenzgang des geschlossenen Kopfhörers Typ HD 230 von Sennheiser electronic

hin eingeschränkt. Wenn man mit derartigen Kopfhörern dennoch eine breitbandige Wiedergabe bis zu Frequenzen von deutlich mehr als 10 kHz schafft, so liegt das ausschließlich an einer geschickten Dimensionierung des Systemaufbaus. Durch den zusätzlichen Einbau eines speziellen, ebenfalls elektrodynamischen Hochtonsystems kann man den Hochton-Übertragungsbereich sogar noch weit über 20 kHz hinaus erweitern; man bekommt dabei ein sogenanntes Zwei-Wege-System. Hörer dieser Art nennt man daher auch Zwei-Wege-Hörer. Als praktisches Ausführungsbeispiel dafür zeigt Bild 6.1 den Kopfhörer Typ HD 230 von Sennheiser. Seine Ankopplung an das Ohr geschieht ohrumschließend. Die technischen Daten dieses Hörers weisen einen Übertragungsbereich von 10 Hz–30 kHz aus, d. h. er überträgt einen Bereich, der von extrem tiefen Frequenzen bis weit über den oberen Bereich des menschlichen Hörvermögens hinausgeht. Im Bild 6.2 sind sowohl der Kuppler- als auch der Diffusfeld-Frequenzgang des HD 230 abgebildet; über die meßtechnische Ermittlung und Interpretation von Kopfhörer-Frequenzgängen wird im Abschnitt 6.3 noch berichtet. Der Kuppler-Frequenzgang wurde hier bewußt über den oberen Hörbereich hinaus gemessen, um so den erweiterten Hochtonbereich deutlich zu demonstrieren. Die Nennimpedanz dieses Hörers beträgt 600  $\Omega$ . Er erreicht einen Kennschalldruckpegel\*) von ca. 94 dB. Seine Nennbelastbarkeit\*\*) ist mit 200 mW angegeben. Das Gewicht (ohne Kabel) liegt bei 260 g, und die Bügelandruckkraft beträgt 4 N.

Geschlossene Kopfhörer zeichnen sich durch eine besonders gute Baßwiedergabe (Druckkammerprinzip!) aus. Das setzt allerdings voraus, daß die Hörermuscheln dicht am Kopf abschließen, was wiederum eine erhöhte Andruckkraft verlangt. Manche Musikfreunde empfinden das als unangenehm. Dieses Problem entfällt beim offenen Kopfhörer.

\*) Der Kennschalldruckpegel eines Kopfhörers ist der Schalldruckpegel, der bei einer aufgenommenen elektrischen Leistung von 1 mW (bei 1 kHz) erzielt wird. Die Messung erfolgt mit Hilfe eines sogenannten künstlichen Ohres (Typ 4153 von Brüel & Kjaer).

\*\*) Die Nennbelastbarkeit stellt die Grenze der betriebsmäßigen Dauerbelastung von Kopfhörern dar. Ihre meßtechnische Bestimmung erfolgt nach DIN 45 582 mittels eines speziellen Rauschsignals.

## 6.2. Der offene Kopfhörer

Beim offenen Kopfhörer sind beide Räume, d. h. sowohl vor als auch hinter der Hörermembran akustisch weitgehend offen. Der offene Kopfhörer erlaubt daher ein nahezu ungedämpftes „Hindurchhören“ durch das Hörsystem. Die ohrseitige Öffnung nach außen kann entweder durch ein zwischen dem Kopfhörer und dem Ohr angebrachtes Schaumnetzissen oder aber – bei dichten Ohrpolstern – durch andere, bewußt vorgesehene Öffnungen bewerkstelligt werden. Das offenerporige Schaumnetzissen trägt im übrigen gleichzeitig dazu bei, daß etwaige störende Resonanzen, die sich zwischen der Membranvorderseite und dem Ohringang ausbilden könnten, von vornherein vermieden werden. Der rückwärtige Hörerraum ist, wie eben schon erwähnt, ebenfalls geöffnet, so daß man durch die Hörermembran hindurch „nach außen hören“ kann. Offene Kopfhörer erreichen dadurch eine Transparenz und Durchsichtigkeit des Klangbildes, was von geschlossenen Hörern kaum nachzuvollziehen ist. Ihre Hochtonwiedergabe ist exzellent.

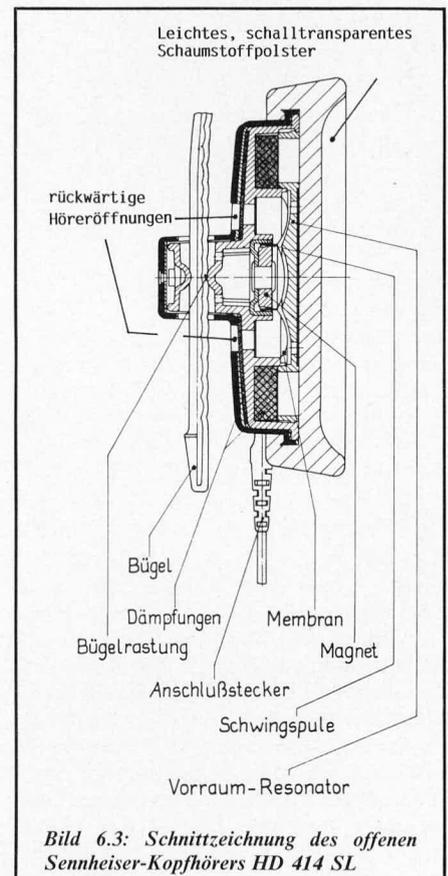


Bild 6.3: Schnittzeichnung des offenen Sennheiser-Kopfhörers HD 414 SL

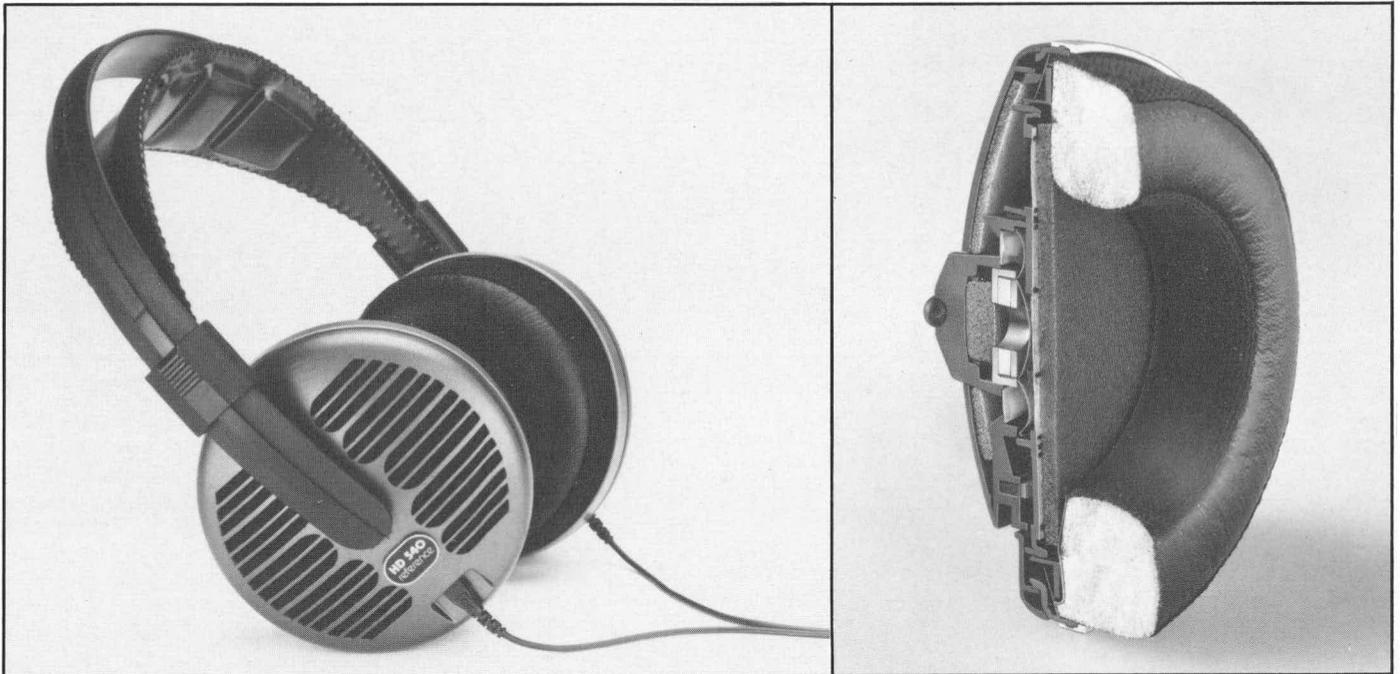


Bild 6.4: Ausführungsbeispiel für einen offenen Kopfhörer: Typ HD 540 reference (Werkfoto: Sennheiser electronic); links: Gesamtansicht (a); rechts: Schnitt-Darstellung (b)

Durch eine mechanische Tiefabstimmung des schwingenden Membran-Tauchspul-Systems läßt sich im übrigen eine nahezu gleich gute Wiedergabe der tiefen Frequenzen erzielen, wie man sie von geschlossenen Kopfhörern her kennt. Es entfällt hier jedoch die Notwendigkeit, dicht abschließende Ohrpolster mit einer ausreichend hohen Andruckkraft am Kopf zu tragen, was den Tragekomfort verständlicherweise erhöht. Bei offenen Kopfhörern befinden sich zwischen den Ohrmuscheln und den Hörern lediglich leichte, ohraufliegende Schaumstoffpolster. Leise Musikpassagen können bei einer Darbietung über offene Kopfhörer daher schon mal im „Teppich“ eines lauten Umweltgeräusches untergehen.

Den grundsätzlichen Aufbau eines offenen Kopfhörers zeigt das Bild 6.3, dargestellt anhand einer Schnittzeichnung des Sennheiser-Hörers HD 414 SL (das SL bedeutet: Slimline). Man erkennt darin sehr deutlich das auffallend kleine, antreibende Magnetsystem mit der darin eintauchenden Schwingspule.

Die kleine Masse der Schwingspule sowie die diesen Hörer eigene Breitbandigkeit gewährleisten eine gute Impulsfestigkeit. Ohrseitig ist der Hörer über ein schalltransparentes, leichtes Schaumstoffpolster nach außen geöffnet, während die Membranrückseite über geeignet bemessene Öffnungen mit der Außenwelt in Verbindung steht.

Bild 6.4 zeigt als Ausführungsbeispiel eines besonders hochwertigen offenen Kopfhörers den Typ HD 540 reference. In der Darstellung a) ist der Kopfhörer in seiner Gesamtheit zu sehen, während die Abbildung b) einen sehr anschaulichen und gleichermaßen informativen Schnitt durch denselben zeigt. Der Übertragungsbereich dieses Kopfhörers liegt zwischen 16 Hz und 25 kHz. Seine Nennimpedanz beträgt 600  $\Omega$  pro System. Der Hörer erreicht einen Kennschalldruck-

pegel von 94 dB und eine Nennbelastbarkeit von 200 mW. Mit einer Andruckkraft von 3 N und einem Gewicht (ohne Kabel) von 250 g liegt er im oberen Bereich der für offene Hörer typischen Werte. Der zuvor erwähnte offene Hörer HD 414 SL hat im Vergleich dazu ein Gewicht von 100 g und eine Andruckkraft von 2,5 N. Ein rastend verstellbarer Kopfbügel und ein weich gepolstertes Kopfband sorgen beim HD 540 reference für Rutschfestigkeit und äußerste Bequemlichkeit – auch bei längerem Hören.

Der HD 540 reference stellt einen hochwertigen offenen Kopfhörer der Spitzenklasse dar, dessen circumaurale Ohrpolster einen sehr wesentlichen Beitrag zu seinen als hervorragend beurteilten Klangeigenschaften leisten.

Im Bild 6.5 ist der Frequenzgang des Lautheits-Diffusfeld-Übertragungsmaßes (s. a. Abschnitt 6.3) vom HD 540 reference dargestellt, und zwar für den Bereich von 100 Hz bis 10 kHz. Die dort

gezeigte Übertragungskurve bewegt sich innerhalb eines sehr schmalen Toleranzbandes von nur  $\pm 2,5$  dB.

Neben der geschlossenen und offenen Bauweise gibt es außerdem noch die sogenannten halboffenen Kopfhörer, die, wie man unschwer errät, eine Kompromißlösung darstellen. Mit der halboffenen Bauform will man die Vorzüge der beiden anderen Ausführungsarten miteinander vereinen, was z. T. auch recht gut gelingt. Bei diesen Kopfhörern läßt man den rückwärtigen Hörerraum offen und schließt lediglich den Raum zwischen der Membranvorderseite und dem Ohr dicht ab, so daß erstens eine ausgezeichnete Baßwiedergabe erreicht wird und zweitens das vom offenen Hörer bekannte „Hindurchhören“ durch die Membran erhalten bleibt. Dieser Bauweise begegnet man vorzugsweise bei elektrostatischen Kopfhörern, deren leichte und schalltransparente Membran hierfür besonders geeignet ist.

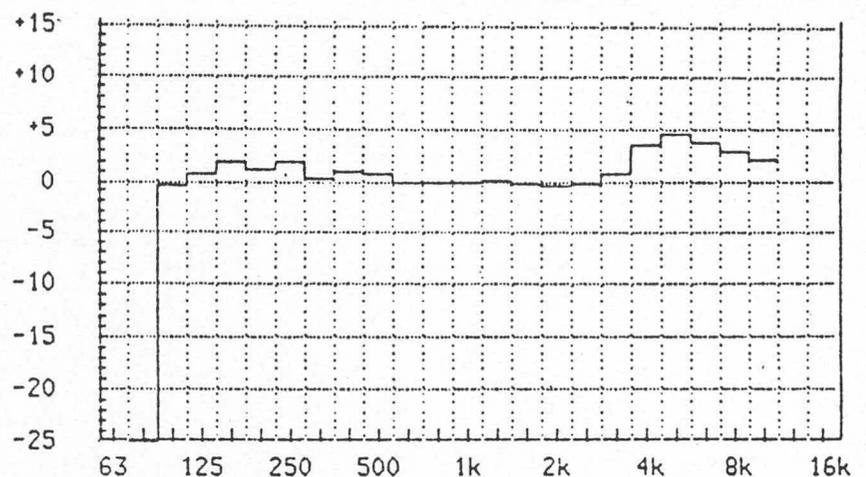


Bild 6.5: Lautheits-Diffusfeld-Übertragungsmaß des offenen Sennheiser-Kopfhörers HD 540 reference (Original-Hardcopy; aus: V. Rhenius, „Entwicklung eines diffusfeldentzerrten Kopfhörers“, Fernseh & Kino-Technik, Nr. 5, Mai 1986, S. 204)

(Fortsetzung und Schluß folgt im „ELV journal“ Nr. 48)