

## 6.3. Messung und Beurteilung des Übertragungsverhaltens von Kopfhörern

Die elektroakustischen Übertragungseigenschaften von Kopfhörern werden in erster Linie durch ihren elektroakustischen Übertragungsfaktor (Symbol bzw. Formelzeichen: **B** oder auch **T**) oder besser noch durch ihr elektroakustisches Übertragungsmaß beschrieben und ausgewiesen, s. Abschnitt 4.2. Der Übertragungsfaktor **B** eines Kopfhörers ist definiert als Quotient aus dem — nach einem noch näher zu beschreibenden Verfahren gemessenen — Schalldruck  $\tilde{p}$  und der ihn erzeugenden elektrischen Größe (Effektivwert!). Im Gegensatz zum Mikrofon, dessen Übertragungsfaktor ausschließlich eine elektrische Spannung  $\tilde{u}$  als Folge einer Beschallung mit einem bestimmten Schalldruck  $\tilde{p}$  angibt (s. Abschnitt 5.1), kann beim Kopfhörer die anregende elektrische Größe eine Spannung  $\tilde{u}$ , ein Strom  $\tilde{i}$  oder auch die Wurzel aus der elektrischen Leistung  $\sqrt{P_e}$  sein (s. dazu DIN 45580\*). Die Kopfhörereigenschaften können somit durch drei verschiedene Übertragungsfaktoren ausgedrückt werden. In der Praxis bevorzugt man i. a. jedoch die elektrische Spannung als Eingangsgröße und bekommt für den Übertragungsfaktor somit die folgende Beziehung:

$$B_{pu} = \frac{\tilde{p}}{\tilde{u}} \quad (\text{in Pa/V})$$

Das dazugehörige elektroakustische Übertragungsmaß ergibt sich damit zu

$$G_{pu} = 20 \cdot \lg \frac{B_{pu}}{B_0}, \quad (\text{in dB})$$

wobei  $B_0$  (= 1 Pa/V) den Bezugs-Übertragungsfaktor darstellt. — Lediglich bei der Bestimmung des sogenannten Kennschalldruckpegels (s. Fußnote zu Abschnitt 6.1) speist man in den Kopfhörer eine definierte elektrische Leistung (1 mW bei 1 kHz) ein. Die Angabe des Übertragungsmaßes kann entweder nur für eine einzige Frequenz oder auch für einen ganzen Frequenzbereich gesehen. Im letzteren Falle erhält man einen Kurvenzug, der den Frequenzgang des i. a. frequenzabhängigen elektroakustischen Übertragungsmaßes darstellt. Für die meßtechnische Ermittlung des Übertragungsmaßes gibt es verschiedene Methoden, die in den einschlägigen DIN-Normen \*) dokumentiert und nachzulesen sind. Die einzelnen Methoden unterscheiden sich voneinander durch die ihnen zugrundeliegenden Meßbedingungen. Je nach dem gewählten Meßverfahren erhält man auch entsprechend unterschiedliche Ergebnisse. In den Abschnitten 4.2, 6.1 und 6.2 dieser Aufsatzreihe wurden bereits Begriffe erwähnt wie: Kuppler-Frequenzgang, Freifeld-Frequenzgang, Diffusfeld-Frequenzgang und Lautheits-Diffusfeld-Frequenzgang; darauf soll nachfolgend näher eingegangen werden.

Ein sehr bekanntes Meßverfahren für Kopfhörer ist die sogenannte Kuppler-Methode. Hierbei wird der zu messende Kopfhörer gegen eine ebene Metallscheibe gedrückt, die in ihrer Mitte eine Öffnung besitzt. An diese Öffnung schließt sich das sogenannte Kuppler-Volumen an, das seiner-

seits mit einem Kondensator-Meßmikrofon abgeschlossen ist. Speist man den Kopfhörer beispielsweise mit einer konstanten Leistung, so kann mit Hilfe des Meßmikrofons der im Kuppler erzeugte Schalldruck bzw. Schalldruckpegel gemessen werden. Ursprünglich bestand die Absicht, mit einer solchen Kuppleranordnung die akustischen Verhältnisse des menschlichen Ohres nachzubilden. Dieser Wunsch hat sich bislang jedoch nicht — oder zumindest nicht uneingeschränkt — verwirklichen lassen, so daß die mit dieser Methode erzielten Meßergebnisse keine eindeutigen Rückschlüsse auf die vom Ohr wahrnehmbaren Eigenschaften eines Kopfhörers zulassen. Die Kupplermessung findet ihren bevorzugten Einsatz mehr im Bereich der Kopfhörerherstellung, und zwar als Mittel zur laufenden Fertigungsüberwachung und Qualitätssicherung. So lassen sich z. B. Exemplarstreuungen am Kuppler sehr schnell und einfach feststellen.

Zur Messung und Beurteilung von Kopfhörern auf der Grundlage ihrer tatsächlichen ohrbezogenen Eigenschaften wurden daher andere Verfahren geschaffen. Gemeinsam ist all diesen Verfahren der Umstand, daß das Kopfhörer-Übertragungsmaß durch einen subjektiven Lautstärkevergleich ermittelt wird, der mit einer statistisch ausreichenden Anzahl von Versuchspersonen durchgeführt wird.

Da gibt es zunächst das sogenannte Freifeld-Übertragungsmaß eines Kopfhörers (DIN 45 500, Teil 10), dessen Bestimmung in DIN 45 619 beschrieben wird. Bei dieser Messung vergleicht eine Versuchsperson, die man zu diesem Zweck in einen reflexionsarm ausgekleideten Meßraum setzt, in zeitlich wechselnder Folge die Lautstärke eines von einem frontal aufgestellten Lautsprecher abgestrahlten Schallsignals konstanten Schalldrucks mit derjenigen Lautstärke, die vom Kopfhörer erzeugt wird. Die elektrische Signalspannung des Kopfhörers wird dabei so lange verändert, bis die Lautstärkeindrücke von beiden Quellen gleich groß erscheinen. Die für diese Messung verwendeten Schallsignale können entweder Sinustöne oder auch Terzbandrauschen sein. Bei jeder Frequenz bzw. in jedem Terzbandbereich ist die Messung mit mindestens acht normalhörenden Versuchspersonen zu wiederholen, wobei die Ergebnisse gemittelt werden.

Neben dem Freifeld-Übertragungsmaß gibt es eine weitere, ebenfalls auf das Gehör bezogene Kopfhörer-Übertragungskenngröße, und zwar das sogenannte Diffusfeld-Übertragungsmaß. Wie es der Name schon andeutet, erfolgt die Bestimmung des Diffusfeld-Übertragungsmaßes in einem diffusen Schallfeld. Bei diesem Verfahren läßt man den Schall aus sämtlichen Raumrichtungen auf die Versuchspersonen einfallen. Man versucht dadurch den bei vielen natürlichen Schallereignissen auftretenden diffusen Anteil bei der Beurteilung eines Kopfhörers mit zu berücksichtigen. Der Meßvorgang selbst, bei dem Versuchspersonen wiederum einen Lautstärkevergleich durchzuführen haben, ist sonst der gleiche wie beim Freifeld-Verfahren. Zur praktischen Durchführung einer solchen Mes-

sung setzt man die Versuchsperson in einen Hallraum.

Bestimmt man von ein und demselben Kopfhörer sowohl das Freifeld- als auch das Diffusfeld-Übertragungsmaß, so zeigt der Vergleich beider miteinander lediglich zwischen 2—5 kHz einen charakteristischen Unterschied. Ist der Diffusfeld-Frequenzgang eines Kopfhörers beispielsweise völlig ausgeglichen und geradlinig (= diffusfeldentzerrter Kopfhörer), so zeigt der korrespondierende Freifeld-Frequenzgang in dem genannten Frequenzbereich eine Senke.

Ein Hinweis scheint an dieser Stelle noch notwendig zu sein: Bei der Durchsicht der Kopfhörer-Fachliteratur stellt man bedauerlicherweise fest, daß der Begriff des „Diffusfeld-Übertragungsmaßes“ nicht von allen Autoren einheitlich für die gleiche Meßmethode verwendet wird. In zahlreichen Veröffentlichungen wird auch noch ein anderes Verfahren beschrieben, bei dem der Versuchsperson, die sich im Hallraum befindet, ein Sondenmikrofon in den äußeren Gehörgang eingeführt wird, um so den Schalldruck in unmittelbarer Nähe vor dem Trommelfell zu messen. Das auf diesem Wege erzielte Meßergebnis wird fälschlicherweise auch als Diffusfeld-Übertragungsmaß bezeichnet. Richtiger wäre es, hier vom Sonden-Diffusfeld-Übertragungsmaß zu sprechen. Da bei der Diffusfeldmessung durch Lautstärkevergleich letztlich eine Lautheitsbeurteilung vorgenommen wird, bezeichnet man das dabei gewonnene Übertragungsmaß auch als Lautheits-Diffusfeld-Übertragungsmaß\*\*, s. a. Bild 6.5 Damit wird begrifflich eine saubere Abgrenzung gegenüber dem Sonden-Diffusfeld-Übertragungsmaß vollzogen.

- \*) DIN 45 500 Teil 10, Heimstudio-Technik (Hi-Fi) — Mindestanforderung an Kopfhörer  
 DIN 45 500 Teil 11, Heimstudio-Technik (Hi-Fi) — Mindestanforderungen an planardynamische, piezo-polymere und elektrostatische Kopfhörer  
 DIN 45 580 Kopfhörer — Begriffe, Formelzeichen, Einheiten  
 DIN 45 581 Kopfhörer — Meßbedingungen und Meßverfahren für Typprüfungen  
 DIN 45 582 Kopfhörer — Prüfung der Nennbelastbarkeit  
 DIN 45 583 Kopfhörer — Austauschbarkeit, Kontaktbelegung der Steckverbinder, Kennzeichnung  
 DIN 46 619 Teil 1 und Teil 2, Kopfhörer-Bestimmung des Freifeld-Übertragungsmaßes durch Lautstärkevergleich mit einer fortschreitenden Schallwelle (Teil 1) und mit einem Bezugskopfhörer (Teil 2)

\*\*) Siehe dazu auch: V. Rhenius, „Entwicklung eines diffusfeldentzerrten Kopfhörers“, Fernseh- & Kino-Technik, Nr. 5, Mai 1986, S. 202

## 6.4 Hör-/Sprechgarnitur

Hör-/Sprechgarnituren entstehen aus der Kombination eines Kopfhörers mit einem Mikrofon. Die Anwendungsgebiete für derartige Garnituren sind sehr vielfältig. Man findet sie in den Cockpits von Flugzeugen, bei Dolmetscher- und Kommando-Anlagen, bei Sprechfunkeinrichtungen, in Telefonzentralen und Gegensprechanlagen, bei Rundfunkreportern und in Sprachschulen gleichermaßen, kurzum in nahezu allen Berufszweigen, die auf eine ständige Kommunikation angewiesen sind.



**Bild 6.6**  
Ausführungsbeispiel für eine Hör-/Sprechgarnitur: Typ HME 410 von Sennheiser electronic



**Bild 6.7**  
Hör-/Sprechgarnitur mit offenen Hörsystemen und beidseitig angeordneten Kompensationsmikrofonen für eine aktive Lärmkompensation (Werkfoto: Sennheiser electronic)

Es versteht sich somit von selbst, daß derartige Garnituren sich durch ein möglichst niedriges Gewicht, eine geringe Andruckkraft am Kopf und eine insgesamt angenehme Trageweise auszeichnen müssen, so daß sie auch nach längerem Tragen nicht als lästig empfunden werden. Genauso selbstverständlich sind auch die hohen Ansprüche, die man an ihre Übertragungsqualität stellt.

Die bei Hör-/Sprechgarnituren verwendeten Mikrofone arbeiten vorzugsweise nach dem elektrodynamischen oder nach dem elektrostatischen Wandlerprinzip (= Elektretmikrofone). Die Mikrofonbefestigung ist meist drehbar vorgesehen (bis zu 360°), was sowohl ein links- als auch rechtsseitiges Tragen der Garnitur ermöglicht. Durch leichtes Biegen am Mikrofonarm läßt sich das Mikrofon bei den meisten Ausführungen so ausrichten, daß es sich dicht neben dem Mundwinkel befindet. Dadurch entzieht man das Mikrofon dem direkten Luftstrom (= Luftstöße) des Sprechers und schützt es vor der Aufnahme unliebsamer Popp- und Atemgeräusche. Gibt man dem Mikrofon außerdem noch eine seitlich zum Mund hin „schielende“ Richtcharakteristik, so lassen sich die Vorteile der Nah-Besprechung auch bei Richtmikrofonen voll nutzen, ohne Poppstörungen befürchten zu müssen. Eine derartige Richtcharakteristik gewährleistet auch noch in lärmereicher Umgebung eine Sprachübertragung von hoher Verständlichkeit.

Hörerseitig verwendet man heute auch bei Hör-/Sprechgarnituren sehr gern offene Hörsysteme, die den geschlossenen Systemen gegenüber den Vorteil bieten, den Benutzer nicht völlig von seiner akustischen Umwelt abzuschließen, und ihm zudem noch die Möglichkeit lassen, die Lautstärke seiner eigenen Stimme zu kontrollieren und erforderlichenfalls dem Umgebungspegel anzupassen.

Bild 6.6 zeigt als praktisches Ausführungsbeispiel für eine Hör-/Sprechgarnitur den Typ HME 410 von Sennheiser. Es handelt sich hierbei um eine Garnitur mit offenen, elektrodynamischen Hörsystemen, von denen sich ein System vor vorn bzw. hinten wegschwenken läßt. Die beiden Hörer befinden

sich rastend verstellbar auf einem geteilten Kopfbügel (= Spreizbügel) und können durch einfaches Verschieben entlang der Rastung jeder Kopfform angepaßt werden. Der Übertragungsfrequenzbereich der Hörer ist mit 20—18 000 Hz angegeben. Die elektrische Impedanz beträgt 600  $\Omega$  je Hörer-System, entsprechend 300  $\Omega$  in Parallel- und 1200  $\Omega$  in Serienschaltung. Der Kopfhörer erreicht einen Kennschalldruckpegel von ca. 100 dB. Mit einer Andruckkraft des Spreizbügels von ca. 2,5 N und einem Gesamtgewicht der Garnitur von ca. 130 g (einschl. Kabel) erfüllt die Garnitur HME 410 wichtige Voraussetzungen zur Gewährleistung eines sehr großen Tragekomforts.

Der Mikrofonarm enthält ein kleines Elektretmikrofon, dessen Übertragungsfrequenzbereich ebenfalls mit 20—18 000 Hz angegeben ist. Zur Speisung des in der Mikrofonkapsel eingebauten Impedanzwandlers (FET) wird eine Speisespannung von etwa + 3 bis + 15 V (extern) benötigt. Der Feld-Leerlauf-Übertragungsfaktor beträgt 10 mV/Pa. Die elektrische Abschlußimpedanz sollte  $\geq 4,7$  k $\Omega$  sein.

Weiter oben wurde davon berichtet, daß man auch bei Hör-/Sprechgarnituren sehr gern offene Hörsysteme benutzt. Nun gibt es aber Arbeitsbereiche, die durch einen sehr hohen Umgebungslärmpegel gekennzeichnet sind. Infolge des offenen Hörerprinzips kann dieser Lärm mit einem mehr oder weniger reduzierten Pegel auch bis vor die Ohren des Kopfhörerträgers vordringen. Wenn dann auch noch die Schallübertragung durch den Kopfhörer hinzukommt, kann in extremen Sonderfällen der resultierende Schallpegel eine Höhe erreichen, die den betreffenden Arbeitsplatz letztlich als „lärmgefährdet“ ausweist. Einer solchen Situation sehen sich beispielsweise Cockpit-Besatzungen von Verkehrsflugzeugen ausgesetzt. Einerseits herrscht im Cockpit ein permanenter, flugzeugspezifischer Geräuschpegel, dessen Höhe und spektrale Verteilung sich je nach Flugphase ändern, andererseits kommt noch der Flugzeug-Sprechfunkverkehr hinzu, dessen Verständlichkeit zu keiner Zeit gefährdet sein darf. Um den meist auch noch von atmosphärischen Störungen überlagerten Sprechfunk deutlich zu ver-

stehen, bleibt den Piloten meist nichts anderes übrig, als die Lautstärke der Kopfhörerübertragung drastisch zu erhöhen. Um wenigstens den Außenlärm von den Ohren fernzuhalten, könnte man im Cockpit die Benutzung von extrem dicht geschlossenen Kopfhörern vorschreiben, deren Schalldämmung fast schon Gehörschutzkappen gleichkommt. Dadurch würden die Piloten allerdings auch solche Geräusche nicht mehr wahrnehmen, die für die Flugsicherheit sehr bedeutsam sein können. Zum anderen möchte man im Cockpit auf die Vorzüge und Annehmlichkeiten offener Hörsysteme nicht mehr verzichten, insbesondere bei langen Überseeflügen. Um aus dieser Situation einen Ausweg zu finden, ist im Hause Sennheiser electronic in jüngster Zeit eine aktive elektronisch-akustische Lärmkompensation entwickelt worden, die auf der Grundlage des sogenannten „Antischalls“ arbeitet und auf die Belange des Flugbetriebs ausgerichtet ist. Die gesamte Kompensationsanlage besteht aus einem offenen Kopfhörer mit beidseitig angebrachten Kompensationsmikrofonen (s. Bild 6.7) und einer individuell einstellbaren elektronischen Kompensationschaltung. Die Idee, nicht gewünschten Schall durch Interferenz mit amplitudengleichem, jedoch gegenphasigem (Anti-)Schall möglichst weitgehend auszulöschen, ist nicht neu. Dennoch, so einfach und bestechend diese Methode auch vom Prinzip her erscheinen mag, die Problematik steckt im Detail. Am wirkungsvollsten arbeitet das Antischall-Verfahren verständlicherweise bei der Bekämpfung monofrequenter Schallereignisse, z. B. bei großen, brummen den Netztransformatoren. Am schwierigsten hingegen gestaltet sich die Nutzbarmachung des Antischalls bei der Kompensation sehr breitbandiger Schallereignisse, und das vor allem dann, wenn diese stochastischer oder gar transients Natur sind und das gesamte Schallgeschehen sich zudem noch in einem akustisch nicht in sich abgeschlossenen System (= Raum) abspielt. Im hier vorliegenden speziellen Fall, für den eine elektronisch arbeitende (Anti-)Lärmkompensation entwickelt wurde, waren die Voraussetzungen für eine Anwendung dieses Verfahrens verhältnismäßig günstig. Die Abstrahlung des unge-



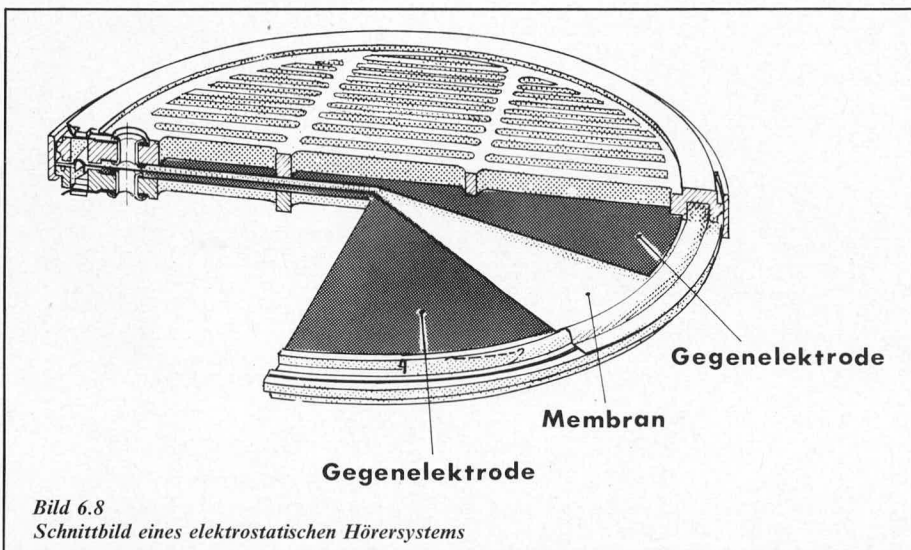


Bild 6.8  
Schnittbild eines elektrostatischen Hörsystems

schwächt zu übertragenden Nutzschalls (= Sprechfunkverkehr) erfolgte von einem beidohrig getragenen offenen Kopfhörer, während der aus der unmittelbaren Umgebung kommende und zu kompensierende Störschall (z. B.: Triebwerkgeräusche etc.) hauptsächlich im tiefen bis mittelfrequenten Bereich angesiedelt war. In diesem Frequenzbereich kann davon ausgegangen werden, daß der Schalldruckpegel innerhalb und außerhalb eines offenen Kopfhörers nahezu gleich groß ist, so daß man das für die Aufnahme des anschließend in Antischall umzuwandelnden Störschalls benötigte Mikrofon (= Kompensationsmikrofon) auch an einer geeigneten Stelle an der Außenseite (Bild 6.7) des Kopfhörers anbringen kann. Damit schließt man von vornherein aus, daß auch das zu übertragende Nutzschriftal mitkompensiert wird. Der Abstand zwischen Nutz- und Störsignal wird dadurch beachtlich vergrößert. Das zur Lösung dieser Aufgabe gewählte Grundkonzept sieht im Prinzip folgendermaßen aus: An jeder der beiden offenen Hörerkapseln eines elektrodynamischen Kopfhörers ist außen an geeignetem Ort je ein kleines (Elektret-)Kompensationsmikrofon angebracht (s. Bild 6.7), das über jeweils eine eigene Amplituden- und Phasenabgleichschaltung mit nachfolgendem Endverstärker elektrisch mit dem seitenentsprechenden Hörsystem verbunden ist. Die hierfür verwendeten Mikrofone sind im übrigen die gleichen (Typ KE 4), wie man sie auch in den Sennheiser-Ansteckmikrofonen MKE 2 (s. Bild 4.5) vorfindet. An den beiden Endverstärkereingängen wird lediglich noch das Sprechfunk-Nutzsignal eingeschleift, das von den Kopfhörerkapseln unkompensiert übertragen wird. Bei sorgfältigem Amplituden- und Phasenabgleich bietet ein so ausgestatteter offener Kopfhörer eine verblüffend gute Unterdrückung des Umgebungslärms, während das über die gleichen Hörerkapseln übertragene Nutzschriftal mit unverminderter Lautstärke hörbar ist. Im tieffrequenten Bereich erreicht man mit diesem Lärmkompensationssystem eine Kompensationswirkung bis zu 18 dB (!).

\*) Siehe dazu auch: P. F. Warning, „Hörsprechgarnitur mit offenem Hörer“, radio mentor, Heft 5, 1971, S. 308—311

## 6.5 Spezielle Kopfhörer-Ausführungen

Kopfhörer lassen sich in einer Fülle von verschiedenen Abwandlungen und Ausführungsvariationen herstellen und einsetzen. Es würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen, wollte man sie alle einzeln und ausführlich abhandeln. Zum Schluß dieses sechsten und letzten Teils dieser Aufsatzreihe soll daher nur noch über zwei sehr interessante Varianten berichtet werden, und zwar über den elektrostatischen Kopfhörer und über eine drahtlose Kopfhörerausführung.

### 6.5.1 Der elektrostatische Kopfhörer

Elektrostatische Kopfhörer arbeiten nach dem elektrostatischen Wandlerprinzip (s. a. Abschnitt 4.1.4). Als solche benötigen sie genauso wie elektrostatische Lautsprecher

eine Polarisationsgleichspannung von einigen hundert Volt. Moderne Ausführungen arbeiten heute mit einer Elektretmembran und machen somit die Bereitstellung einer gesonderten Polarisations-Hochspannung überflüssig.

Den grundsätzlichen Aufbau eines „Elektrostaten“ zeigt das Bild 6.8. Genau in der Mitte zwischen zwei perforierten (meist gitterförmigen) Gegenelektroden ist eine dünne, elektrisch leitende Membran gespannt. Legt man an die Membran und an die beiden Gegenelektroden eine Tonfrequenz-Wechselspannung ausreichender Größe, so entstehen im Zusammenwirken mit dem elektrostatischen Feld ziehende und abstoßende Kräfte, durch die die dünne Membran im Rhythmus der Tonfrequenz in eine schwingende Bewegung versetzt wird. Die extrem dünne und leichte Membran gehorcht den auf sie einwirkenden Wechselkräften mit einer so großen Genauigkeit, daß der erzeugte Schall praktisch frei von (Impuls-)Verzerrungen ist. Die mit derartigen Kopfhörern erzielbare Hochtonauflösung ist exzellent. Elektrostatische Kopfhörer besitzen innerhalb ihres gesamten Übertragungsfrequenzbereiches eine sehr ausgeglichene Wiedergabekurve.

Als ein gewisser Nachteil mag vielleicht die Tatsache gewertet werden, daß elektrostatische Kopfhörer grundsätzlich ein zusätzliches Regie- oder Steuergerät benötigen, in dem die elektrische Signalspannung auf die für die Aussteuerung des Hörers erforderliche Höhe gebracht wird. Falls das Hörsystem noch in „klassischer Weise“, d. h. ohne Elektretmembran, aufgebaut ist, enthält dieses Gerät auch noch ein Netzteil zur Erzeugung der notwendigen Polarisations-Vorspannung. Das alles wirkt sich verständlicherweise auf den Gesamtpreis für einen solchen Kopfhörer aus. Elektro-



Bild 6.9  
Offener elektrostatischer Hi-Fi-Stereo-Kopfhörer „Unipolar 2000“ mit dazugehöriger Regieeinheit HER 2000 (Werkfoto: Sennheiser electronic)



**Bild 6.10**  
**Drahtloser Infrarot-Stereo-Kopfhörer Typ HDI 234 HiDyn (Werkfoto: Sennheiser electronic)**

statten bieten unbestritten eine sehr hohe Übertragungsqualität; man muß dafür aber auch etwas „tiefer in die Tasche“ greifen.

Bild 6.9 zeigt als Ausführungsbeispiel eines offenen elektrostatischen Kopfhörers den Typ „Unipolar 2000“ von Sennheiser mit der dazugehörigen Regieeinheit HER 2000. Der Hörer arbeitet mit einem Elektretsystem. Sein Übertragungsbereich erstreckt sich von etwa 16 Hz bis zu 22 kHz. Bei 1 kHz und 110 dB ist der Klirrfaktor  $\leq 0,1\%$ . Die maximal zulässige Steuerungspannung beträgt 35 V<sub>eff</sub> (bei stationärem Betrieb). Bei einer Signalspannung von 5 V erzeugt der Unipolar 2000 einen Schalldruckpegel von ca. 103 dB.

### 6.5.2 Drahtloser Infrarot-Kopfhörer

Bei der Benutzung herkömmlicher, leistungsgebundener Kopfhörer im häuslichen Bereich, z. B. beim Musikgenuß aus der eigenen Stereo-Anlage oder auch einfach bei der Übertragung des Fernsehtons, hat sicher schon jeder einmal den Wunsch verspürt, sich ohne Behinderung durch das Kopfhörerkabel frei im Raum bewegen zu können. Dieser Wunsch ist erfüllbar, und zwar zu einem erschwinglichen Preis. Das Lösungswort heißt: Infrarot-Technik. Diese Technik hat ihre Bewährungsprobe bereits seit längerem in der Theater-, Konferenz- und ELA-Technik bestanden. Es war daher naheliegend, die Möglichkeiten, die die Infrarot-Technik für eine drahtlose Übertragungstechnik bietet, auch für Kopfhörer nutzbar zu machen. Neben einer sehr reichhaltigen Palette an anderen Infrarot-Übertragungsanlagen bietet das Haus Sennheiser jetzt auch einen drahtlosen Infrarot-Stereo-Kopfhörer (Typ HDI 234 HiDyn, s. Bild 6.10) an, der eine sehr luxu-

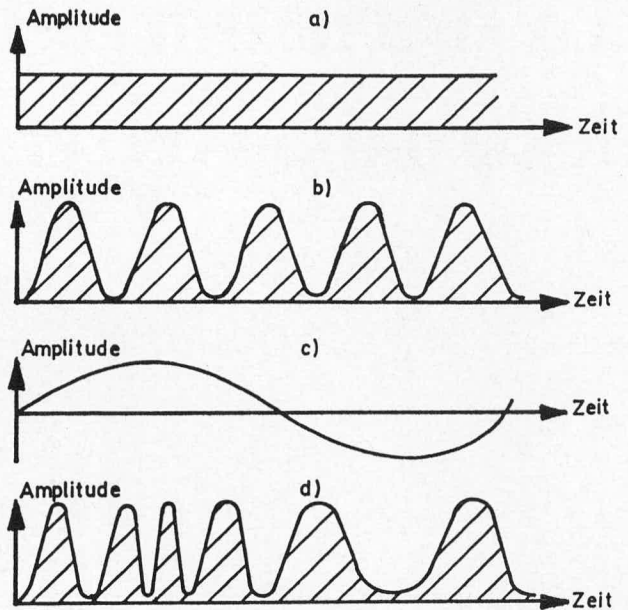
riöse Art des Musik-Genusses bietet. Von den technischen Daten dieses Kopfhörers soll zum Schluß noch die Rede sein. Zuvor aber noch einige Erläuterungen zur Infrarot-Übertragungstechnik selbst:

Infrarotlicht läßt sich heute sehr elegant auch mit Hilfe von (modulierbaren!) Halbleiterbauelementen erzeugen; es unterliegt den gleichen Ausbreitungsgesetzen der Optik wie sichtbares Licht. Gegenüber letzterem hat das IR-Licht den Vorzug, nicht sichtbar und somit bei übertragungstechnischem Einsatz nicht störend zu sein. Um infrarotes Licht für eine drahtlose Übertragung zu nutzen, muß es lediglich in geeigneter Weise moduliert werden. Das geschieht heutzutage in der Weise, daß man das IR-Licht zunächst in seiner Intensität amplitudenmoduliert, und zwar mit einer ganz bestimmten (Hilfs-)Trägerfrequenz (= Hell-Dunkel-Modulation, s. Bild 6.11 b). Für einkanalige Übertragungen benutzt man dafür derzeit einheitlich 95 kHz. Bei einer zweikanaligen Übertragung verwendet man für den zweiten Träger 250 kHz. Die so erzeugte Trägerfrequenz wird ihrerseits mit dem zu übertragenden NF-Signal frequenz-moduliert, s. Bild 6.11 d. Mit anderen Worten: Die IR-Übertragungstechnik bedient sich einer doppelten AM/FM-Modulation. Da alle lichtundurchlässigen Raumbegrenzungen (z. B.: Wände, raumabteilende Vorhänge etc.) auch für Infrarotlicht undurchdringbar sind, bleiben die auf diese Weise ausgesendeten, modulierten IR-Signale nur innerhalb des betreffenden Raumes. Empfangsseitig kann das IR-Signal ebenfalls mit dafür geeigneten Halbleiterbauelementen (spezielle Silizium-PIN-Dioden) empfangen und anschließend demoduliert werden. Die in derartigen Empfangsdioden üblicherweise vorhandene fotoempfindliche Fläche ist i. a. sehr klein (ca. 7 mm<sup>2</sup>), so daß man sie in der Praxis

meist in Verbindung mit einer optischen Sammellinse betreibt. Diese an Frosch-äugen erinnernden Linsen sind inzwischen schon ein Erkennungszeichen für Infrarot-Empfangsgeräte, s. a. Bild 6.10 (vorderer Rand des Kopfhörers).

Der im Bild 6.10 dargestellte IR-Stereo-Kopfhörer arbeitet zweikanalig mit den Trägerfrequenzen 95 kHz und 250 kHz. Für die FM wird ein Nennhub von  $\pm 35$  kHz und ein Spitzenhub von  $\pm 50$  kHz angegeben. Der niederfrequente Übertragungsbereich liegt zwischen 20 Hz und 20 kHz. Die Hörer enthalten elektrodynamische Systeme. Bei einer Frequenz von 1 kHz und  $\pm 50$  kHz Hub ist der Klirrfaktor  $\leq 1\%$ . Der Kopfhörer arbeitet mit einer 9-Volt-Batterie (IEC 6F22). Der maximal erreichbare Schalldruckpegel liegt bei ca. 110 dB. Das Gewicht des Hörers beträgt ca. 380 g. Als dazugehöriger Sender ist der Stereo-Infrarot-Sender SI 234 zu empfehlen, der mühelos an jede HiFi-Anlage oder auch an jeden Stereo-Fernsehempfänger angeschlossen werden kann.

Ein letztes Wort noch zu dem ebenfalls in diesem Kopfhörer eingebauten Breitband-Kompandersystem „HiDyn“. Darunter versteht man eine sehr wirkungsvolle Stör- unterdrückung, die auch unter sehr ungünstigen Empfangsbedingungen arbeitet. Hierzu wird das Tonfrequenz-Signal im Infrarot-Sender (z. B.: SI 234) zuvor komprimiert und im Infrarot-Empfangsteil spiegelbildlich expandiert. Man gewinnt dabei die Originaldynamik wieder bei gleichzeitiger Reduzierung der (pegelmäßig schwächeren) Störsignale. Um dem Empfänger die Möglichkeit zu geben, auch mit anderen Infrarot-Sendern (ohne HiDyn-Kompressor) zusammenzuarbeiten, ist der Expander im Infrarot-Kopfhörer HDI 234 abschaltbar.



**Bild 6.11**  
**Modulationstechnik bei Infrarotlicht-Übertragungsanlagen**  
 a) nichtmoduliertes Infrarotlicht  
 b) amplitudenmoduliertes Infrarotlicht mit einer Hilfs-Trägerfrequenz (= Hell-Dunkel-Modulation)  
 c) zu übertragendes Tonfrequenzsignal  
 d) Infrarotlicht-Träger frequenzmoduliert durch das Tonfrequenzsignal