

2.5 Hörakustik (K. Brinkmann)

2.5.1 Hörschwellenbestimmung

2.5.1.1 Hörschwellenbestimmung in der Psychoakustik

Der Hörschwellenpegel einer Person für ein gegebenes Meßsignal ist der kleinste Schalldruckpegel, der unter gegebenen Versuchsbedingungen von der Person bei wiederholten Darbietungen des Signals in einem vorgegebenen Anteil der Fälle noch eben wahrgenommen wird.

Signaldarbietung über Lautsprecher Das Meßsignal (i. allg. Sinustöne, frequenzmodulierte Töne oder Terzbandrauschen im Frequenzbereich von 20 Hz bis 16 kHz) wird beiden Ohren der Person gleichzeitig dargeboten (binaurale Hörschwelle). Angegeben wird üblicherweise der Schalldruckpegel des Meßsignals im ungestörten Schallfeld an der Stelle, an der sich während des Hörversuchs der Mittelpunkt des Kopfes der Person befindet. In Sonderfällen kann auch der Schalldruck am Eingang des Gehörgangs der Person oder im Gehörgang selbst gemessen oder durch Anwendung geeigneter Korrekturen (s. 2.2.2.1) aus dem Schalldruckpegel im ungestörten Schallfeld berechnet werden. Hörschwellenmessungen werden in einer fortschreitenden Schallwelle unter definierter Schalleinfallrichtung oder in einem diffusen Schallfeld ausgeführt (DIN ISO 8253 T 2). Der für Messungen mit normalhörenden Personen zulässige Störschalldruckpegel im Meßraum ist in Tab. T 2.05 in Band 3 angegeben. Bei Überschreitung dieser Werte und bei beabsichtigter Zuführung von Störschall wird anstelle der Ruhehörschwelle die Mithörschwelle gemessen (Zwicker u. Feldtkeller (1967), Zwicker (1982)).

Die Meßapparatur besteht im Prinzip aus einem Signalgenerator, einem knackfreien Schalter, einer in Schrittweiten von vorzugsweise 2 dB einstellbaren Dämpfungsleitung, einem Verstärker, einem Lautsprecher, einer Antworttaste für die Person und einem Schallpegelmessmer mit bekanntem Freifeld- bzw. Diffusfeldübertragungsmaß (s. 2.6.1). Der Klirrfaktor des Meßsignals soll kleiner als 2% sein. Die Kalibrierung erfolgt für jedes Prüfsignal durch Messung des Schalldruckpegels bei einer vorgegebenen Generatorspannung und vorgegebener Dämpfungsleitungseinstellung. Während der Hörschwellenbestimmung wird die Generatorspannung konstant gehalten. Unter der Voraussetzung hinreichender Linearität kann der Hörschwellenpegel dann direkt aus der zugehörigen Dämpfungsleitungseinstellung ermittelt werden.

Verfahren der Hörschwellenbestimmung (Zwicker u. Feldtkeller (1967), Zwicker (1982), Kollmeier (1987), DIN ISO 8253 T 1) Bei der Eingabelungsmethode wird der Pegel des Prüfsignals ausgehend von einem Pegel von 10 dB unter dem zuvor grob bestimmten Hörschwellenpegel in Stufen von vorzugsweise 2 dB erhöht, bis die Person das Signal gerade hört. Die Dauer der Prüfsignale und die Pausendauern zwischen den Prüfsignalen sollen variiert werden und etwa 1 s bis 2 s betragen. Danach wird der Pegel um weitere 2 dB erhöht und der Pegel anschließend in Stufen von 2 dB verringert, bis die Person das Prüfsignal nicht mehr hört. Der Pegel wird daraufhin um weitere 2 dB verringert und eine neue Serie mit ansteigenden Pegeln begonnen. Entsprechend der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sollen jeweils 2 oder mehr ab- und aufsteigende Pegelreihen angeboten werden. Der Mittelwert der jeweils kleinsten bei ab- oder ansteigenden Pegeln noch wahrgenommenen Pegelwerte ist der Hörschwellenpegel für dieses Prüfsignal. Bei der Anstiegsmethode wird der Pegel des Prüfsignals zunächst um 10 dB gegenüber dem zuvor grob bestimmten Hörschwellenpegel erniedrigt und

dann in 2-dB-Stufen erhöht, bis die Person das Signal hört. Das Signal wird anschließend erneut um 5 dB bis 10 dB erniedrigt und dann wieder wie zuvor stufenweise erhöht. Signal- und Pausendauern sind wie bei der Eingabelungsmethode. Entsprechend der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wird das Verfahren fortgesetzt, bis die Person das Signal zweimal oder häufiger beim gleichen Pegel gehört hat. Als Hörschwellenpegel gilt der niedrigste Pegel, bei dem das Signal in mindestens der Hälfte aller Pegelserien gehört wurde. Bei der Methode des pendelnden Einregelns mit Hilfe eines automatisch registrierenden Audiometers (s. 2.5.1.2) wird der Pegel des Prüfsignals von der Person selbst so gesteuert, daß er abwechselnd zu- oder abnimmt, bis das Signal jeweils gerade gehört oder nicht mehr gehört wird. Der Pegel kann jedoch nicht auf einen stationären Wert eingestellt werden. Der Hörschwellenpegel ist der Mittelwert der Minima und Maxima der Aufzeichnung bei jedem Prüfsignal.

Eingabelungs- und Anstiegsmethode liefern praktisch die gleichen Ergebnisse (Arlinger (1979)), die Methode des pendelnden Einregelns führt zu geringfügig niedrigeren Hörschwellenpegeln (Robinson u. Whittle (1973)).

Die Person soll im einzelnen in ihre Aufgabe eingewiesen sein. Sie darf zuvor keinem Lärm ausgesetzt gewesen sein. Nach Möglichkeit soll das Verfahren vor Beginn der eigentlichen Messung geübt werden. Die Hörprüfung soll wegen möglicher Ermüdung nicht zu lange andauern; nach spätestens 20 min ist eine Erholungspause einzulegen.

Die mittleren Hörschwellenpegel für normalhörende Personen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren für beidohriges Hören im freien Schallfeld bei frontalem Schalleinfall und im diffusen Schallfeld gemäß ISO/DIS 389-7 sind in Tab. T 2.06 in Band 3 angegeben. Mit zunehmendem Alter nehmen die Hörschwellenpegel häufig als Folge zahlreicher, im Einzelfall nicht bekannter schädigender Einflüsse auf das Gehör zu. Entsprechende statistische Daten sind in DIN EN 27029 enthalten (s. a. Tab. T 2.07 in Band 3).

Signaldarbietung über Kopfhörer oder Knochenleitungshörer Das Meßsignal (i. allg. Sinustöne im Übertragungsbereich des verwendeten Schallwandlers) wird meistens nur einem Ohr dargeboten (monaurale Hörschwelle). Bei der Messung der Knochenleitungshörschwelle (bei starker Unsymmetrie des Hörvermögens auch bei der Messung der Luftleitungshörschwelle) ist es erforderlich, das Meßsignal am nicht zu untersuchenden Ohr durch ein Rauschsignal zu verdecken (s. 2.5.1.2). Der Knochenleitungshörer kann an der Stirn oder am Mastoid der Person angekoppelt werden. Für die genaue Justierung des Kopfhörers kann ein Hilfston einer höheren Frequenz (z. B. 6 kHz) angewendet werden. Die Justierung des Knochenleitungshörers geschieht so, daß der Hörer mit einem möglichst großen Teil seiner Kontaktfläche anliegt. Bei der Bestimmung der Knochenleitungshörschwelle ist darauf zu achten, daß nicht die häufig vorhandene Luftschallabstrahlung der Knochenleitungshörer des Ergebnis verfälscht. Dies kann bei Frequenzen ab 2000 Hz durch die Verwendung von Gehörschutzstöpseln hoher Schalldämmung (s. 2.5.3) verhindert werden. Da sich bei niedrigeren Frequenzen die Knochenleitungshörschwelle bei einer Abdichtung des Gehörgangs infolge des „Ohrverschlusseffektes“ (Brinkmann u. Richter (1980)) ändert, sollten hier Schwellenmessungen mit Luftschall abstrahlenden Knochenleitungshörern ganz vermieden werden. Bei tiefen Frequenzen können außerdem taktile Empfindungen ein Hören des Meßsignals vortäuschen.

Der von einem Kopfhörer am Ohr erzeugte Schalldruckpegel und der von einem Knochenleitungshörer am Kopf erzeugte Kraftpegel sind einer Messung nur schwer zugänglich. Deshalb wird zweckmäßiger der äquivalente Schwellenschalldruck-

pegel (Schwellenkraftpegel) ermittelt; d. h. für einen gegebenen Schallwandler derjenige Schalldruckpegel (Pegel der periodischen Kraft), den der Wandler in einem Kuppler (s. 2.2.2.3 und 2.2.3) erzeugt, wenn der Wandler durch die der Hörschwelle entsprechende Spannung erregt wird.

Die zu verwendende Meßapparatur und die Verfahren der Hörschwellenbestimmung entsprechen weitgehend den zuvor beschriebenen (zulässiger Störschallpegel in der Hörkabine s. Tab. T 2.05 in Band 3).

Äquivalente Bezugsschwellenpegel, d. h. Mittelwerte der äquivalenten Schwellenpegel einer angemessen großen Zahl von Ohren normalhörender Personen zwischen 18 und 30 Jahren, sind für bestimmte Frequenzen im Bereich von 125 Hz bis 8000 Hz und für bestimmte Schallwandler in internationalen Normen festgelegt (Brinkmann u. Richter (1983), Brinkmann u. Richter (1990), DIN ISO 389, DIN ISO 389 A 1, DIN EN 27566); für weitere Schallwandler gibt es nationale Festlegungen.

2.5.1.2 Hörschwellenbestimmung in der Audiometrie

Hörschwellenbestimmungen in der Audiometrie dienen vorwiegend der Erkennung und Diagnose von Hörstörungen (Böhme u. Welzl-Müller (1984), Lehnhardt (1986)). Dementsprechend wird der Hörschwellenpegel einer Person (oft auch Hörverlust genannt) in der Audiometrie auf den mittleren Hörschwellenpegel normalhörender Personen bezogen. Der Hörschwellenpegel in der Audiometrie ist daher gleich dem vom Kopfhörer (oder Knochenleitungshörer) in einem Kuppler erzeugten Schwellenschalldruckpegel (Schwellenkraftpegel) minus dem äquivalenten Bezugsschwellenpegel (s. 2.5.1.1) für diesen Wandlertyp und diese Frequenz. Die Hörschwellenbestimmungen erfolgen im allgemeinen nach einem der genannten Verfahren (gewöhnlich in 5-dB-Schritten) mit Hilfe eines Reintonaudiometers (DIN EN 60645-1) und eines Schallwandlers, für den die äquivalenten Bezugsschwellenpegel bekannt sind. Die Messungen sind in einer ruhigen Kabine auszuführen. Anforderungen an den zulässigen Störschalldruckpegel s. Tab. T 2.05 in Band 3. Gegenüber den üblichen ohraufliegenden Audiometrikopfhörern besitzen Einsteckhörer eine wesentlich bessere Schalldämmung und sind deshalb in nicht hinreichend störschallarmer Umgebung von Vorteil.

Die besonderen Schwierigkeiten bei audiometrischen Hörschwellenbestimmungen liegen in der ausschließlichen Erregung des zu untersuchenden Ohres. Durch „Überhören“ wird das Schallsignal bei Darbietung über einen Knochenleitungshörer an der Stirn oder am Mastoid in jedem Fall in beiden Ohren wahrgenommen und bei Darbietung über einen Kopfhörer immer dann, wenn der Hörschwellenpegel des nicht direkt angeregten Ohres um etwa 40 dB oder mehr unter dem des zu untersuchenden Ohres liegt. Das Mithören des nicht untersuchten Ohres kann durch Darbietung eines breit- oder schmalbandigen Rauschens verhindert werden, dessen Pegel zur Verdeckung des Prüftons gerade ausreicht. Bei Verwendung von schmalbandigem Rauschen soll dessen Mittenfrequenz mit der Frequenz des Prüftons übereinstimmen. Bei der Bestimmung des Pegels ist zu beachten, daß sich einerseits die Knochenleitungsschwelle des nicht untersuchten Ohres beim Anlegen eines Kopfhörers durch den Ohrverschluß-Effekt verringert (Brinkmann u. Richter (1980)) und daß sich andererseits bei einem zu hohen Pegel des Verdeckungsgeräusches auch eine Verdeckung des Prüftons auf dem zu untersuchenden Ohr ergeben kann. Regeln für die Frequenzzusammensetzung des Verdeckungsgeräusches und die Pegelwahl sind in Normen und Lehrbüchern angegeben (Katz (1978), Böhme u. Welzl-Müller (1984), Lehnhardt (1986), DIN EN 60645-1, DIN ISO 8253 T 1, DIN EN 28798).

2.5.2 Sprachaudiometrie

Für eine gegebene Person bei gegebenen Versuchsbedingungen ist die Verständlichkeit von Sprache der Anteil der richtig verstandenen Wörter in Prozent der Gesamtzahl der dargebotenen Wörter (Hahlbrock (1970), Martin (1987), ISO/DIS 8253-3). Sprachverständlichkeitsmessungen in der Audiometrie dienen zur Untersuchung des Hörvermögens von einzelnen Personen unter bestimmten Bedingungen (z. B. mit und ohne Hörgerät, mit und ohne Störgeräusch). Für die Vergleichbarkeit von Meßergebnissen ist wichtig, daß man auf Tonträger (Compact Discs, Schallplatten, Magnetbänder) mit standardisierten Eigenschaften konserviertes, vereinbartes Wortmaterial verwendet (DIN 45621, DIN 45621 T 2 u. T 3, DIN 45626, DIN 45626 T 2, ISO TR 4870, Sotscheck (1982)) und dieses über Geräte mit einheitlichen Eigenschaften (Sprachaudiometer) wiedergibt (IEC 645-2). Darüber hinaus muß der Schalldruckpegel der Sprache definiert sein. Dies kann so geschehen, daß außer der Sprache auf dem Tonträger noch ein Kalibrierungssignal (z. B. sprachsimulierendes Rauschen) in definierter Pegelrelation zur Sprache aufgezeichnet wird, dessen Schallpegel sich bei der Wiedergabe leicht messen läßt (Brinkmann (1974a)). Die Sprachverständlichkeit des Probanden wird im allgemeinen als Funktion des Sprachschallpegels gemessen und mit den für normalhörende Personen unter sonst gleichen Meßbedingungen geltenden Bezugskurven verglichen (Brinkmann (1974a, b), Martin (1987)). Die Messungen sind bei Signaldarbietung über Kopfhörer in einer ruhigen Kabine, bei Lautsprecherdarbietung in einem schallabsorbierend ausgekleideten Raum vorzunehmen. Anforderungen an den zulässigen Störschalldruckpegel s. Tab. T.2.05 in Band 3.

2.5.3 Gehörschützer

Gehörschützer sind Geräte, die am Kopf getragen werden, um das Gehör vor unerwünschten Schalleinwirkungen zu schützen. Man unterscheidet zwischen Gehörschutzstöpseln, Kapselgehörschützern und Gehörschutzhelmen (Alberti (1982), DIN EN 352 T 1 bis T 3, VDI 2560).

2.5.3.1 Bestimmung der Schalldämmung nach der Hörschwellenmethode

Die (frequenzabhängige) Schalldämmung eines Gehörschützers in dB für ein gegebenes Prüfsignal wird durch zweimalige Hörschwellenmessungen an mehreren Personen ermittelt. Sie ist gleich dem Mittelwert der Differenzen zwischen den Hörschwellenpegeln (s. 2.5.1.1) bei getragener Gehörschützer und denen bei offenen Ohren für alle Personen (DIN ISO 4869 T 1). Von wenigen Ausnahmen abgesehen (pegelabhängig wirkende Gehörschützer) sind die nach diesem Verfahren erhaltenen Schalldämmungswerte auch gültig bei hohen Umgebungsschallpegeln. Objektive Meßverfahren mit Hilfe von Kopfnachbildungen (s. 2.5.3.2) oder mit Hilfe von im Ohr von Personen angeordneten Miniaturmikrofonen sind nicht für alle Gehörschützerarten anwendbar und liefern in einigen Frequenzbereichen systematisch abweichende Ergebnisse (Berger u. Kerivan (1983), Brinkmann u. Richter (1987)).

Die Hörschwellenmessungen sollen in einem diffusen Schallfeld mit Terzrauschen als Prüfsignal vorgenommen werden. Ein geeignetes Schallfeld soll vorzugsweise in einer Kabine mit hinreichend schallabsorbierenden Wänden oder in einem reflexionsarmen Raum realisiert werden. Zweckmäßig ist eine tetraederförmige Anordnung von vier Lautsprechern, die von verschiedenen nicht

kohärenten Signalquellen gespeist werden (Whitham u. Martin (1975), Vorländer (1990)). Bei Abwesenheit der Personen soll sich der mit einem Mikrofon ohne Richtwirkung gemessene Schalldruckpegel um nicht mehr als $\pm 2,5$ dB ändern, wenn das Mikrofon von der Stelle, an der sich bei der Messung die Kopfmittelpunkt der Person befindet (Meßbezugspunkt) um 15 cm nach vorn, hinten, oben, unten, rechts oder links bewegt wird. Der Pegelunterschied zwischen den äußersten rechts-links-Positionen soll nicht mehr als 3 dB betragen. In Terzfrequenzbändern ab 500 Hz dürfen sich die im Meßbezugspunkt mit einem Richtmikrofon in zwei beliebigen Richtungen gemessenen Schalldruckpegel um nicht mehr als 5 dB unterscheiden, wenn das Bündelungsmaß (s. 2.3.1.2) des Mikrofons 5 dB beträgt. Der im Meßraum gemessene Störschalldruckpegel darf die in Tab. T 2.05 in Band 3 angegebenen Werte nicht überschreiten.

Wegen anatomischer und physiologischer Unterschiede zwischen einzelnen Personen sind die Hörschwellenmessungen mit mindestens 16 Personen vorzunehmen. Die Personen sollen auf keinem Ohr bei Frequenzen bis 2000 Hz einen Hörschwellenpegel (s. 2.5.1.2) von mehr als 15 dB und bei höheren Frequenzen von mehr als 25 dB aufweisen. Es soll sich um geübte Personen handeln, deren Hörschwellenpegel sich bei aufeinanderfolgenden Messungen unter den tatsächlichen Meßbedingungen um nicht mehr als 6 dB unterscheiden. Jede Person soll den Gehörschützer unter Anleitung des Versuchsleiters sorgfältig ein- bzw. aufsetzen. Mit Hilfe eines breitbandigen Geräusches soll sie den Sitz des Gehörschützers auf optimale Schalldämmung bei hinreichendem Tragekomfort justieren. Zum Verfahren und zur Meßapparatur vgl. 2.5.1.1. Die Meßapparatur soll am Meßbezugspunkt Schalldruckpegel in einem Bereich von -20 dB bis etwa 90 dB erzeugen können.

Auch bei sorgfältiger Versuchsausführung sind die sich ergebenden Standardabweichungen unter Vergleichsbedingungen beträchtlich. Dies ist jedoch weniger im Meßverfahren begründet als in tatsächlichen individuellen Unterschieden der Schalldämmung des Gehörschützers (DIN ISO 4869 T1, Brinkmann u. Richter (1987)). Aus diesem Grunde werden für die Abschätzung des beim Tragen eines Gehörschützers in einer gegebenen Geräuschesituation wirksamen Schalldruckpegels neben den für die Oktavmittelfrequenzen 63 Hz bis 8000 Hz ermittelten mittleren Schalldämmungen auch die zugehörigen Standardabweichungen der individuellen Schalldämmung berücksichtigt (ISO/DIS 4869-2).

2.5.3.2 Bestimmung der Schalldämmung von Kapselgehörschützern an einer Kopfnachbildung

Schalldämmungs-Reihenmessungen an Kapselgehörschützern des gleichen Typs werden zweckmäßig an einer Kopfnachbildung gemäß DIN EN 24869 T 3 ausgeführt. Da jedoch relevante Eigenschaften natürlicher Köpfe (insbesondere die Eigenschaften der Haut- und Fleischschichten und die Schallübertragung durch Knochenleitung) nicht nachgebildet sind, unterscheidet sich die an der Kopfnachbildung gemessene Schalldämmung von der nach 2.5.3.1 ermittelten (Alberti (1982)). Als Grundlage für die vergleichende Beurteilung der Schalldämmeigenschaften von Gehörschützern verschiedener Typen ist das objektive Verfahren daher nicht geeignet. Zur Zeit wird jedoch an einer auch für Gehörschutzstöpsel anwendbaren Kopfnachbildung mit verbesserten Eigenschaften gearbeitet. Diese soll auch für Messungen an Gehörschützern mit pegelabhängiger Schalldämmung und für die Bestimmung der Schalldämmung für Impulsgeräusche eingesetzt werden.

Die Schalldämmung des Gehörschützers an der Kopfnachbildung für ein gegebenes Prüfsignal ist die Differenz der mit Hilfe des eingebauten Mikrofons bei Betonung gemessenen Schalldruckpegel ohne und mit Gehörschützer. Die Messungen sollen in einem diffusen Schallfeld nach 2.5.3.1 oder in einem freien Schallfeld mit Rauschsignalen von Terzbandbreite im Frequenzbereich der

Mittenfrequenzen von 63 Hz bis 8000 Hz ausgeführt werden. Der Schalldruckpegel des Prüfsignals soll so groß sein, daß der vom Mikrofon abgegebene Spannungspegel stets um mindestens 10 dB über dem Eigenstörpegel der Meßapparatur liegt. Die Eignung der Kopfnachbildung kann durch Kapselung des Mikrofons der Kopfnachbildung mit einer Metallkappe geprüft werden. Dabei muß der vom Mikrofon bei Betonung abgegebene Spannungspegel im Frequenzbereich bis 250 Hz mindestens 50 dB unter dem bei offenem Mikrofon erzeugten Spannungspegel liegen, bei Frequenzen oberhalb von 250 Hz bis 4000 Hz mindestens 65 dB und bei Frequenzen über 4000 Hz mindestens 55 dB.

2.5.3.3 Sonstige Eigenschaften

Meßverfahren für andere sicherheitstechnisch relevante Eigenschaften von Gehörschützern sind in Normen angegeben (DIN EN 352 T 1 bis T 3). Besonders zu erwähnen ist die Andrückkraft eines Kapselgehörschützers, das heißt die Kraft, mit der die Kapseln vom Bügel gegen den Kopf einer Person gedrückt werden. Sie kann am genauesten mit elektrischen Kraftaufnehmern ermittelt werden (Brocksch 1984), wobei der Abstand zwischen den sich gegenüberliegenden Flächen der Dichtungselemente der Kapseln 145 mm betragen und der Bügel so eingestellt sein soll, daß der Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Verbindungslinie der beiden Kapselmittelpunkte und dem Mittelpunkt des Bügels 130 mm beträgt (DIN EN 352 T 1).

2.5.4 Hörgeräte

Hörgeräte bestehen im Prinzip aus einem Mikrofon, einem batteriebetriebenen Verstärker mit verschiedenen Stell- und Regelgliedern und einem eingebauten oder über Kabel angeschlossenen Luftleitungs- oder Knochenleitungshörer (Güttner (1979), Helle (1987)). Sie sind außerdem häufig mit einer „Hörspule“ zur induktiven Signalaufnahme ausgestattet. Als Mikrofone finden heute vorwiegend Elektret-Kondensatormikrofone, als Hörer elektromagnetische Systeme Verwendung. Nach der Trageweise der Hörgeräte unterscheidet man zwischen Taschengeräten und am Kopf getragenen Geräten (Hinterdem-Ohr-Geräte, Im-Ohr-Geräte, Hörbrillen). Für die Messung von Hörgeräte-Eigenschaften sind in Normen unterschiedliche Bedingungen festgelegt worden: Um hinreichend kleine Meßunsicherheiten zu erzielen (Brinkmann u. Brocksch (1984)) wird das Hörgerät bei Typprüfungen und zum Zwecke der Qualitätskontrolle allein im freien Schallfeld oder in einer kleinen Prüfkammer angeordnet; die für die individuelle Anpassung und Auswahl von Hörgeräten relevanten Daten werden dagegen mit Hilfe einer geeigneten Meßpuppe oder an Probanden („in situ“) ermittelt (v. Wedel u. Kießling (1986), Larsby u. Arlinger (1988)).

2.5.4.1 Verstärkung, Übertragungsmaß

Die akustische Verstärkung eines (Luftleitungs-)Hörgerätes in dB bei einer gegebenen Frequenz und unter gegebenen Betriebsbedingungen ist die Differenz zwischen dem in einem Kuppler (s. 2.2.2.3) erzeugten Ausgangsschalldruckpegel und dem Eingangsschalldruckpegel. Als Eingangsschalldruckpegel wird im allgemeinen der Schalldruckpegel in einer ebenen fortschreitenden Welle gewählt. Dessen Messung erfolgt mit Hilfe eines Mikrofons mit bekanntem Freifeld-Übertragungsmaß (s. 2.3.1.1) mit Sinustönen im Frequenzbereich von etwa 200 Hz bis 8000 Hz in einem reflexionsarmen Raum nach der Substitutions- oder der Komparationsmethode (DIN IEC 118 T 0). Bei Hörgeräten ohne Richtmikrofon kann der Eingangsschalldruckpegel auch an der Mikrofoneintrittsöffnung des Hörgerätes mit Hilfe eines Mikrofons mit bekanntem Druck-Übertragungs-

maß (s. 2.3.1.1) gemessen werden. Die Messung kann dann in einer kleinen, schallabsorbierend ausgekleideten Prüfkammer vorgenommen werden (DIN IEC 118 T 7, Helle (1980)). Dabei bleibt die Schallfeldstörung durch das zu prüfende Hörgerät unberücksichtigt. Deshalb eignet sich dieses Verfahren insbesondere bei Taschengeräten nur für Messungen geringerer Genauigkeit und für Relativmessungen (z. B. im Rahmen einer Fertigungskontrolle).

Die akustisch wirksame Verstärkung eines (Luftleitungs-)Hörgerätes in dB bei einer gegebenen Frequenz und unter gegebenen Betriebsbedingungen ist die Differenz zwischen den am Trommelfell einer Person erzeugten Schalldruckpegeln mit und ohne Hörgerät. Sie kann unmittelbar am Probanden mit Hilfe von Sondenmikrofonen im Gehörgang oder näherungsweise mit Hilfe einer Meßpuppe nach DIN V 45606 („simulierte in-situ-Verstärkung“) ermittelt werden (Burkhard u. Sachs (1975), DIN V 45608). Für beide Verfahren gelten die gleichen Anforderungen an das Schallfeld (s. 2.2.2.1). Die Messung mit der Puppe erfolgt zweckmäßig nach der Substitutionsmethode (s. 2.3.1.1), wobei das eingebaute Kupplermikrofon als Bezugsmikrofon verwendet wird. Der Eingangsschalldruckpegel ist hinreichend klein zu wählen, damit das Hörgerät im linearen Aussteuerungsbereich arbeitet. Der Meßaufwand und die Meßunsicherheit bei der Bestimmung der akustisch wirksamen Verstärkung sind größer als die bei der Bestimmung der akustischen Verstärkung.

Das induktiv-akustische Übertragungsmaß (re $20 \mu\text{Pa}/(1 \text{ mA/m})$) in dB eines mit einer Hörspule ausgestatteten (Luftleitungs-)Hörgerätes bei einer gegebenen Frequenz und unter gegebenen Betriebsbedingungen ist der in einem Kuppler erzeugte Ausgangsschalldruckpegel, vermindert um den zwanzigfachen Zehnerlogarithmus des Verhältnisses der bei der Messung eingestellten Stärke eines homogenen magnetischen Feldes zu der Bezugfeldstärke 1 mA/m . Ein hinreichend homogenes Feld kann mit Hilfe einer einfachen kreisförmigen Stromschleife erzeugt werden, deren Durchmesser d größer als $0,56 \text{ m}$ ist und die kein ferromagnetisches Material enthält. Die magnetische Feldstärke H im Mittelpunkt der Stromschleife ist $H = I/d$ (I Stromstärke). Das Hörgerät wird so ausgerichtet, daß maximale Induktion in der Hörspule erreicht wird (DIN IEC 118 T 1).

Das akusto-mechanische Übertragungsmaß (re $1 \mu\text{N}/20 \mu\text{Pa}$) in dB eines Knochenleitungs-Hörgerätes bei einer gegebenen Frequenz und unter gegebenen Betriebsbedingungen ist die Differenz in dB zwischen dem an einem mechanischen Kuppler (s. 2.2.3) erzeugten Pegel der periodischen Kraft (re $1 \mu\text{N}$) und dem Eingangsschalldruckpegel (re $20 \mu\text{Pa}$). Bei Hörgeräten, bei denen der Knochenleitungshörer über ein Kabel angeschlossen ist, wird als Eingangsschalldruckpegel der Schalldruckpegel in einer ebenen fortschreitenden Schallwelle gewählt, bei Hörgeräten mit integriertem Knochenleitungshörer wird der Eingangsschalldruckpegel an der Mikrofoneintrittsöffnung mit Hilfe eines Mikrofons mit bekanntem Druck-Übertragungsmaß (s. 2.3.1.1) gemessen (DIN IEC 118-9). Ähnlich wie bei Luftleitungs-Hörgeräten läßt sich außerdem auch die akustisch wirksame Verstärkung eines Knochenleitungs-Hörgerätes definieren und durch einen subjektiven Lautstärkevergleich ermitteln (Brinkmann u. Richter (1977)).

2.5.4.2 Wiedergabekurven

Die Wiedergabekurve eines (Luftleitungs-)Hörgerätes für einen gegebenen Eingangsschalldruckpegel und unter gegebenen Betriebsbedingungen ist die Darstellung des Ausgangsschalldruckpegels als Funktion der Frequenz. Bei Knochenleitungshörgeräten wird entsprechend der Ausgangskraftpegel dargestellt. Besondere Bedeutung haben die

Wiedergabekurve bei maximaler Verstärkungseinstellung und einem Eingangsschalldruckpegel von 90 dB („OSPL(90)-Kurve“) und diejenige bei Bezugs-Verstärkungseinstellung und einem Eingangsschalldruckpegel von 60 dB („normale Wiedergabekurve“). Die Bezugs-Verstärkung wird – sofern das Hörgerät dies zuläßt – bei der Frequenz 1600 Hz so eingestellt, daß der bei Betönung des Hörgerätes mit einem Eingangsschalldruckpegel von 60 dB erzeugte Ausgangspegel um 15 dB unter demjenigen Pegel liegt, der bei Betönung mit einem Eingangsschalldruckpegel von 90 dB bei maximaler Verstärkung erzeugt wird. Zur Messung des Eingangs- und Ausgangsschalldruckpegels sowie des Kraftpegels s. 2.5.4.1 (Näheres siehe DIN IEC 118 T 0, DIN IEC 118 T 7, DIN V 45606, DIN IEC 118 T 9).

Für Hörgeräte mit automatischer Verstärkungsregelung (AGC) können die Wiedergabekurven mit Hilfe eines die AGC aktivierenden Pilottons fester Frequenz und des Prüfsignals variabler Frequenz durch selektive Messung des Ausgangsschalldruckpegels gemessen werden (DIN IEC 118 T 2 A 1).

2.5.4.3 Sonstige Eigenschaften

Die Richtcharakteristik eines Hörgerätes wird zweckmäßig in Verbindung mit einer Meßpuppe nach den in 2.3.1.2 angegebenen Verfahren ermittelt (DIN V 45606).

Die von der Batterie des Hörgerätes erzeugte Betriebsstromstärke wird bei Bezugs-Verstärkungseinstellung des Hörgerätes (s. 2.5.4.2) und einem Eingangsschalldruckpegel von 60 dB bei der Frequenz 1600 Hz mit Hilfe eines Strommeßgerätes mit sehr kleinem Innenwiderstand gemessen (DIN IEC 118 T 0).

Die vom Hörgerät erzeugten nichtlinearen Verzerrungen werden bei Bezugs-Verstärkungseinstellung des Hörgerätes (s. 2.5.4.2) und einem Eingangsschalldruckpegel von 70 dB (Klirrfaktorverfahren) bzw 64 dB (Differenztonverfahren) nach üblichen Verfahren gemessen (DIN IEC 118 T 0, DIN 45403 Blatt 2 und 3).

Der vom Hörgerät erzeugte äquivalente Eingangsschalldruckpegel des Eigenrauschens L_N in dB wird bei Bezugs-Verstärkungseinstellung des Hörgerätes (s. 2.5.4.2) entsprechend der Beziehung $L_N = L_2 - (L_S - L_1)$ ermittelt, in der L_2 den Ausgangsschalldruckpegel des Hörgerätes ohne Eingangssignal, L_S den Ausgangsschalldruckpegel des Hörgerätes bei einem Eingangsschalldruckpegel von L_1 bei der Frequenz 1600 Hz und L_1 den Eingangsschalldruckpegel (im allgemeinen 60 dB oder 50 dB) bedeuten (DIN IEC 118 T 0).

Bei Hörgeräten mit automatischer Verstärkungsregelung (AGC) wird das Eingangspegel-Ausgangspegel-Diagramm für den eingeschwungenen Zustand bei einer gegebenen Frequenz und unter gegebenen Betriebsbedingungen des Hörgerätes ermittelt (zur Messung des Eingangs- und Ausgangspegels s. 2.5.4.1). Aus diesem Diagramm kann das Kompressionsverhältnis, d. h. in einem angegebenen Eingangspegelbereich das Verhältnis zwischen der Differenz zweier Eingangsschalldruckpegel und der Differenz der entsprechenden Ausgangsschalldruckpegel bestimmt werden (DIN IEC 118 T 2). Die Einschwingzeit (Ausschwingzeit), d. h. das Zeitintervall zwischen dem Zeitpunkt, in dem ein anzugebender Eingangsschalldruckpegel plötzlich um eine festgelegte Pegelstufe erhöht (herabgesetzt) wird, und dem Zeitpunkt, in dem sich der Ausgangsschalldruckpegel (Ausgangskraftpegel) dem erhöhten (herabgesetzten) Pegel im eingeschwungenen Zustand bis auf ± 2 dB angenähert hat, wird mit Hilfe eines Oszilloskops ermittelt. Der zur Erzeugung des Eingangsschalldruckpegels verwendete Lautsprecher muß selbst weitgehend frei von Ein- und Ausschwingvorgängen sein (DIN IEC 118 T 2).

2.5.5 Lautstärkemessung (R. Martin †)

Schallwellen lösen bei einem Beobachter Empfindungen aus. Eine dieser Empfindungen ist die Lautstärke, die zahlenmäßig durch den Lautstärkepegel und die Lautheit gekennzeichnet werden kann (DIN 45630 Blatt 1). Die Zahlenwerte müssen aus

Untersuchungen mit einer genügend großen Zahl (etwa 20) von normalhörenden Versuchspersonen gewonnen werden. Dazu ist es erforderlich, vereinbarte Versuchsbedingungen genau einzuhalten (DIN 1318). Bei der Bestimmung des Lautstärkepegels hat der Beobachter im freien Schallfeld einen von vorn einfallenden Schall (Objektschall) mit einem Ton der Frequenz 1000 Hz (Standardschall) zu vergleichen. Objektschall und Standardschall werden nacheinander für 0,5 bis 1 s angeboten und in ihrer Amplitude so verändert, daß die Versuchsperson beide Schalle als gleich laut beurteilt. Bei der Amplitudenänderung unterscheidet man das Angleichungsverfahren, bei dem der Beobachter die Amplitude des Standardschalles oder des Objektschalles selbst einstellen kann und der Mittelwert aus den beiden differierenden Werten als Ergebnis verwendet wird, und das Konstanzverfahren, bei dem die Schalle paarweise mit zufällig wechselnden Amplitudenunterschieden angeboten werden und der Beobachter nur zwischen den Urteilen leiser, gleich laut und lauter zu wählen hat. Eine statistische Auswertung der Urteile liefert das Ergebnis. Der Lautstärkepegel des Objektschalles ist der zu dem Urteil „gleich laut“ gehörende Schalldruckpegel des Standardschalles und wird in Phon angegeben.

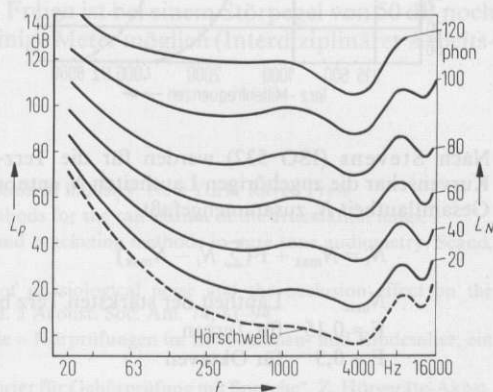


Fig. 2.5
Kurven gleichen Lautstärkepegels L_N für Sinustöne im freien Schallfeld (nach DIN 45630 Blatt 2); L_p Schalldruckpegel am Ort des Beobachters ohne Anwesenheit des Beobachters

Wenn als Standardschall Schmalbandrauschen mit der Mittenfrequenz 1000 Hz verwendet wird, muß der Anschluß an den 1000 Hz-Ton in einer zusätzlichen Meßreihe hergestellt werden. Ebenso ist der Anschluß an das freie Schallfeld durch zusätzliche Messungen zu bestimmen oder durch geeignete Entzerrungsnetzwerke im Wiedergabekanal herzustellen, wenn bei der Messung Kopfhörer verwendet werden. Für reine Töne verschiedener Frequenz ergeben sich die Kurven gleichen Lautstärkepegels (Fig. 2.5) (DIN 45630 Blatt 2, ISO 226). Die Bestimmung der Lautheit ist mit größeren Schwierigkeiten verbunden, daher wird die Lautheit meist aus folgender Beziehung errechnet:

$$N = 2^{0,1(L_N - 40)} \quad (2.20)$$

N Lautheit in Sone

L_N Lautstärkepegel in Phon

Der Vorteil der Lautheit liegt darin, daß sie der Lautstärkeempfindung proportional ist. Näherungswerte für den subjektiv bestimmten Lautstärkepegel lassen sich nach verschiedenen Verfahren aus dem Geräuschspektrum berechnen. Zwicker hat Diagramme entwickelt, in die der Terzpegel des Geräusches eingetragen werden. Die Fläche unter dem so entstehenden Kurvenzug

ist ein Maß für die Lautheit und den Lautstärkepegel (Fig. 2.6) (DIN 45631, Fastl (1988), Zwicker (1960), ISO 532). In DIN 45631 ist zusätzlich ein Rechenprogramm angegeben, das aus Terzpegelwerten praktisch gleiche Lautheitswerte errechnet wie das Diagramm-Verfahren.

Das Lautheitsberechnungsverfahren nach Zwicker (1960) ist in einem Lautheitsmesser so verwirklicht, daß sich eine kontinuierliche Anzeige der Lautheit als Funktion der Zeit ergibt, die die Bestimmung von Mittelwerten oder anderen statistischen Kenngrößen ermöglicht (Zwicker u. a. (1985)).

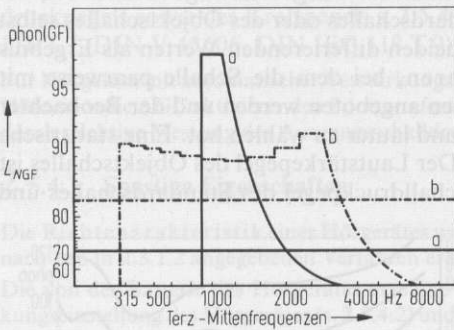


Fig. 2.6 Bestimmung des Lautstärkepegels L_{NGF} nach Zwicker. Die Kurvenzüge zeigen die Darstellung in dem Diagramm F3 (nach DIN 45631) für folgende Geräusche:
 a) Terzrauschen bei 1000 Hz: $L_p = 70$ dB; $L_{pA} = 70$ dB; $L_{NGF} = 70$ phon (GF)
 b) Terzrauschen in den 10 Terzen mit den Mittenfrequenzen 315 bis 2500 Hz: $L_{p\text{Terz}} = 60$ dB; $L_{p\text{gesamt}} = 70$ dB; $L_{pA} = 69,3$ dB; $L_{NGF} = 83$ phon (GF)
 Die horizontalen Linien a) und b) sind so bestimmt, daß sich unterhalb dieser Linien die gleichen Flächen ergeben wie unter den entsprechenden Kurvenzügen

Nach Stevens (ISO 532) werden für die Terz- bzw. Oktavfilter des Geräusches aus einer Kurvenschar die zugehörigen Lautheiten N_i entnommen und nach der folgenden Formel zu einer Gesamtlautheit N_t zusammengefaßt:

$$N_t = N_{\max} + F(\sum N_i - N_{\max}) \tag{2.21}$$

- N_{\max} Lautheit der stärksten Terz bzw. Oktave
- $F = 0,15$ für Terzen
- $F = 0,3$ für Oktaven

2.5.6 Artikulationsindex, Sprachverdeckung (R. Martin †)

Mit Hilfe von Terz- und Oktavspektren läßt sich abschätzen, ob die Sprachverständigung bei gleichzeitig vorhandenen Störgeräuschen beeinträchtigt ist.

Bei der Berechnung des Artikulationsindex (AI) werden in Frequenzbändern die Pegeldifferenzen zwischen einem mittleren Sprachspektrum und dem Störgeräusch mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert, und die Produkte werden summiert. Aus einem Diagramm läßt sich dann ablesen, welcher Prozentsatz richtig verstandener Silben, Wörter oder Sätze dem berechneten AI entspricht (ANSI S. 3.5).

Für viele praktische Anwendungen reicht zur Abschätzung der Sprachverdeckung ein vereinfachtes Verfahren, bei dem für das Störgeräusch der arithmetische Mittelwert der Pegel in den Oktaven mit den Mittenfrequenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Hz gebildet wird. Dieser Mittelwert wird als „Speech Interference Level (SIL)“ oder als „Sprach-Störschallpegel (L_{SIL})“ bezeichnet. Wenn als zufriedenstellende Verständigung ein Artikulationsindex von 0,4, der einer Satzverständlichkeit von nicht weniger als 95% entspricht, angesehen wird, dann darf für normale Sprache bei $L_{SIL} = 50$ dB der Abstand zwischen Sprecher und Hörer höchstens 1,3 m betragen. Die entsprechenden Abstände für $L_{SIL} = 40$ und 60 dB sind 4 bzw. 0,4 m. Die Abstände verdoppeln sich, wenn mit

erhobener Stimme (ohne zu schreien) gesprochen wird. Die Stärke des Störgeräusches kann auch durch den A-bewerteten Schalldruckpegel L_{pA} (s. 2.6.1) gekennzeichnet werden. Bei gleicher Sprachverdeckung ist $L_{pA} - L_{SIL} = 8$ dB (ISO/TR 3352, DIN 33410). Zur zahlenmäßigen Kennzeichnung der Verständlichkeit von übertragener Sprache, insbesondere in Auditorien und Konferenzräumen, wurde eine Methode entwickelt, die als Rapid Speech Transmission Index (RASTI) bezeichnet wird (Steeneken; Houtgast (1985)). Die Verringerung des Modulationsgrades eines Testsignals infolge von Nachhall, Echo oder Störgeräuschen dient dabei als Maß für die Sprachverständlichkeit.

Besondere Beachtung erfordert die Gestaltung von Gefahrensignalen an Arbeitsplätzen um sicherzustellen, daß jede Person im Signalempfangsbereich das Signal erkennen und auf das Signal in der vorgesehenen Weise reagieren kann (EN 457 (1991)).

Störungen der Kommunikation durch Umweltgeräusche stellen eine erhebliche Beeinträchtigung der Betroffenen dar. Eine gute Sprachverständlichkeit kann im Wohnbereich erwartet werden, wenn der A-bewertete Kurzzeitmittelungspegel des Störgeräusches 40 dB nicht übersteigt. Im Freien ist bei einem Störpegel von 50 dB noch eine ausreichende Kommunikation über einige Meter möglich (Interdisziplinärer Arbeitskreis (1985)).

Literatur zu 2.5

- Alberti, P. W. (Ed.) (1982): Personal hearing protection in industry. New York: Raven Press
- ANSI S. 3.5 (1969): American national standard methods for the calculation of the articulation index
- Arlinger, S. D. (1979): Comparison of ascending and bracketing methods in pure tone audiometry. *Scand. Audiol.* **8**, 247-251
- Berger, E. H.; Kerivan, J. E. (1983): Influence of physiological noise and the occlusion effect on the measurement of the real-ear attenuation at threshold. *J. Acoust. Soc. Am.* **74**, 81-94
- Böhme, G.; Welzl-Müller, K. (1984): Audiometrie - Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter; ein Lehrbuch. Berlin, Stuttgart, Wien: Hans Huber
- Brinkmann, K. (1974a): Die Neuaufnahme der „Wörter für Gehörprüfung mit Sprache“. *Z. Hörgeräte-Akust.* **13**, 12-40
- Brinkmann, K. (1974b): Die Neuaufnahme des Marburger Satzverständnistestes. *Z. Hörgeräte-Akust.* **13**, 190-206
- Brinkmann, K.; Brocksch, K.-H. (1984): Vergleichsmessungen an Hörgeräten. *Audiol. Akustik* **23**, 122-130 u. 134-162
- Brinkmann, K.; Richter, U. (1977): Messungen an einem Knochenleitungs-Hörgerät. *Z. Hörgeräte-Akust.* **16**, 66-83
- Brinkmann, K.; Richter, U. (1980): Kopfhörer DT 48: Schalldämmung und Ohrverschluß-Effekt. *Acustica* **47**, 53-54
- Brinkmann, K.; Richter, U. (1983): Die Bestimmung der Normal-Hörschwelle für Knochenleitung mit verschiedenartigen Knochenleitungshörern. *Audiol. Akustik* **22**, 62-85 u. 114-122
- Brinkmann, K.; Richter, U. (1987): Variability and accuracy of sound attenuation measurements on hearing protectors. *Proc. 12th Int. Congr. Acoust.*, Toronto, B 9-2
- Brinkmann, K.; Richter, U. (1990): Reference zero for the calibration of pure tone audiometers equipped with insert earphones. *Acustica* **70**, 202-207
- Brocksch, K.-H. (1984): Eine einfache Einrichtung zur genauen Messung der Andrückkraft von Gehörschützern und Kopfhörern. *PTB-Mitt.* **94**, 327-329
- Burkhard, M. D.; Sachs, R. M. (1975): Anthropometric manikin for acoustic research. *J. Acoust. Soc. Amer.* **58**, 214-222
- DIN 1318 (Sept. 1970): Lautstärkepegel, Begriffe, Meßverfahren
- DIN 33410 (Dez. 1981): Sprachverständigung in Arbeitsstätten unter Einwirkung von Störgeräuschen; Begriffe, Zusammenhänge

- DIN V 45606 (1989): Hörgeräte; Simuliertes In-situ-Verfahren zur Messung der Eigenschaften von Hörgeräten unter Berücksichtigung der Trageweise (identisch mit IEC 118-8: 1983)
- DIN V 45608 (März 1991): Vorläufiger Kopf- und Rumpfsimulator für akustische Messungen an Luftleitungs-Hörgeräten (identisch mit IEC 959: 1990)
- DIN 45621 (1973): Wörter für Gehörprüfung mit Sprache
- DIN 45621 Teil 2 (Juli 1980): Sprache für Gehörprüfung; Sätze
- DIN 45621 Teil 3 (April 1985): Sprache für Gehörprüfung; Wörter für die Gehörprüfung bei Kindern
- DIN 45 626 (Aug. 1976): Tonträger zum Prüfen des Hörvermögens, besprochen mit Wörtern nach DIN 45621 (Aufnahme 1969)
- DIN 45626 Teil 2 (Juli 1980): Tonträger mit Sprache für Gehörprüfung; Tonträger mit Sätzen nach DIN 45621 Teil 2 (Aufnahme 1973); Anforderungen
- DIN 45630 Blatt 1 (Dez. 1971): Grundlagen der Schallmessung, Physikalische und subjektive Größen von Schall
- DIN 45630 Blatt 2 (Sept. 1967): Grundlagen der Schallmessung, Normalkurven gleicher Lautstärkepegel
- DIN 45631 (März 1991): Berechnung des Lautstärkepegels aus dem Geräuschspektrum; Verfahren nach E. Zwicker
- DIN EN 352 Teil 1 (1993): Gehörschützer; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfungen. Teil 1: Kapselgehörschützer
- DIN EN 352 Teil 2 (1993): Gehörschützer; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfungen. Teil 2: Gehörschutzstöpsel
- DIN EN 352 Teil 3 (Entwurf 1992): Gehörschützer; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfungen. Teil 3: An Industrieschutzhelmen befestigte Kapselgehörschützer
- DIN EN 24869 Teil 3 (1994): Akustik; Gehörschützer; Teil 3: Vereinfachtes Verfahren zur Messung der Schalldämmung von Kapselgehörschützern zum Zweck der Qualitätsprüfung (identisch mit ISO/TR 4869-3)
- DIN EN 27029 (1992): Akustik; Luftleitungshörschwelle in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht otologisch normaler Personen (identisch mit ISO 7029: 1984)
- DIN EN 27566 (1992): Akustik; Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung von Reinton-Knochenleitungs-Audiometern (identisch mit ISO 7566: 1987)
- DIN EN 28798 (1992): Akustik; Bezugspegel für schmalbandige Verdeckungsgeräusche (identisch mit ISO 8798: 1987)
- DIN EN (CO) 60645-1 (1994): Audiometer, Teil 1: Reintonaudiometer
- DIN IEC 118 Teil 0 (1986): Hörgeräte; Messung der elektroakustischen Eigenschaften (identisch mit IEC 118-0: 1983)
- DIN IEC 118 Teil 1 (Juni 1985): Hörgeräte; Hörgeräte mit Induktionsspuleneingang (identisch mit IEC 118-1: 1983)
- DIN IEC 118 Teil 2 (Juni 1985): Hörgeräte; Hörgeräte mit automatischer Verstärkungsregelung (identisch mit IEC 118-2: 1983)
- DIN IEC 118 Teil 2 A1 (1992): Hörgeräte; Hörgeräte mit automatischer Verstärkungsregelung; Änderung 1 (identisch mit IEC 29 (CO) 163E)
- DIN IEC 118 Teil 7 (1990): Hörgeräte; Messung der Übertragungseigenschaften von Hörgeräten zur Qualitätsprüfung bei Lieferung (identisch mit IEC 118-7: 1983)
- DIN IEC 118 Teil 9 (Juni 1987): Hörgeräte; Verfahren zur Messung der Übertragungseigenschaften von Knochenleitungshörgeräten (identisch mit IEC 118-9: 1985)
- DIN ISO 389 (September 1988): Akustik; Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung von Reinton-Luftleitungs-Audiometern
- DIN ISO 389 A1 (Entwurf 1992): Akustik; Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung von Reinton-Luftleitungs-Audiometern; Änderung 1
- DIN ISO 4869 Teil 1 (Oktober 1991): Akustik; Gehörschützer. Teil 1: Subjektive Methode zur Messung der Schalldämmung (identisch mit ISO 4869-1: 1989)
- DIN ISO 8253 Teil 1 (Mai 1992): Akustik; Audiometrische Prüfverfahren. Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungsaudiometrie mit reinen Tönen (identisch mit ISO 8253-1: 1989)
- DIN ISO 8253 Teil 2 (1994): Akustik; Audiometrische Prüfverfahren. Teil 2: Schallfeld-Audiometrie mit reinen Tönen und schmalbandigen Prüfsignalen (identisch mit ISO 8253-2: 1992)
- EN 457 (April 1992): Sicherheit von Maschinen – Akustische Gefahrensignale – Allgemeine Anforderungen, Gestaltung und Prüfung (ISO 7731, 1986 modifiziert)
- Fastl, H. (1988): Gehörbezogene Lärmmeßverfahren. Fortschritte der Akustik. DAGA '88, 111-144. Bad Honnef: DPG-GmbH