

Messung und Beurteilung von Ruhe- und Störschallpegeln in Hörprüfkabinen

Measurement and rating of noise levels in audiology rooms

Alexander Müller¹, Parwis Mir-Salim¹, Oliver Dziemba², Tobias Kirchner³

¹ Vivantes Klinikum im Friedrichshain, Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenkrankheiten, Kopf- und Halschirurgie, Hörzentrum Berlin (HZB), Deutschland

² Universitätsmedizin Greifswald, Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenkrankheiten, Kopf- und Halschirurgie, Audiologische Abteilung, Greifswald, Deutschland

³ Akustikbüro K5 GmbH, Berlin, Deutschland

Zusammenfassung: Durch aktuelle nationale und internationale Bestrebungen zur Vereinheitlichung audiologischer Methoden nimmt die Einhaltung von Normen einen immer höheren Stellenwert ein. Die technischen Anforderungen an den Einsatz medizinischer Messgeräte und deren Umgebungsbedingungen sind in einer Reihe von einschlägigen Vorschriften festgeschrieben. Insbesondere die messtechnische Überprüfung der akustischen Eignung von Hörprüfräumen bzw. -kabinen ist sowohl in apparativer als auch methodischer Hinsicht eine Herausforderung. In dieser Arbeit werden die aktuellen Anforderungen an akustische Umgebungsbedingungen zur Durchführung ton- und sprachaudiometrischer Messungen vorgestellt und ein geeignetes Verfahren zur normgerechten messtechnischen Überprüfung anhand von zwei Beispielen aus der Praxis beschrieben. Nach der Beurteilung der Messergebnisse unter Berücksichtigung der einschlägigen Vorschriften werden Bewertungsmöglichkeiten zur zweckmäßigen Eignung dieser Räumlichkeiten diskutiert.

Stichwörter: Ruhepegel, Störschallpegel, Nachhallzeit, Hörschwelle, Hörprüfkabine

Abstract: Current national and international efforts toward standardization have increased the importance of adhering to norms and regulations. Technical requirements for medical measurement devices and their operating conditions are specified in relevant norms. The measurement based inspection of premises used for audiometry has posed special challenges in terms of measurement technique and methodology. This work presents current norms of acoustic environments for pure tone and speech audiometry. Additionally we describe a method of norm compliant technical verification of these demands under real world conditions. Measurements made via this method are described and discussed. We also give possible methods of assessing the eligibility of premises based on these measurements.

Keywords: (quiet) noise level, reverberation time, hearing level, audiology room

Korrespondenzadresse:

Dr.-Ing. Alexander Müller
Hörzentrum Berlin (HZB)
Vivantes Klinikum im Friedrichshain
Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie, Plastische Operationen
Landsberger Allee 49
10249 Berlin
Telefon: 030 / 130 231474
Telefax: 030 / 130 231440
E-Mail: alexander.mueller@vivantes.de

Einleitung

Zuverlässige und reproduzierbare Hörprüfungen können nur in Räumen oder Kabinen durchgeführt werden, die speziell für diese Zwecke geeignet sind (Kießling 2006). Je nach Art der audiometrischen Untersuchung, d.h. ob in der Kabine Schwellen- und/oder Sprachaudiometrie in Luft- und Knochenleitung oder im Freifeld (Lautsprecher) durchgeführt wird, muss eine Überdeckung der audiometrischen Prüfsignale durch externe Störquellen wie Tritt- bzw. Gehschall, Körperschall oder Luftschall praktisch ausgeschlossen sein. Soll in den Räumlichkeiten auch Sprachmaterial für die Sprachaudiometrie aufgenommen werden, sind weitere Parameter zur akustischen Umgebungsbedingung für die Aufnahme, insbesondere die Nachhallzeit, zu beachten. Dabei geht es nicht um die Einhaltung der Anforderungsgrößen für das Luftschalldämm-Maß R'_w oder den Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$. Zielwerte für diese Maße liegen in der Praxis meist nicht vor. Vielmehr sind die akustischen Anforderungen an Audiometrieräume je nach Verwendung der Räumlichkeiten der Normenreihe DIN EN ISO 8253 Teil 1 bis 3 zu entnehmen und beziehen sich lediglich auf Rauminnenpegel als Maximalpegel $L_{S,max}^1$ und die Nachhallzeit T^2 . Speziell die DIN EN ISO 8253-1 (2011) fordert hier, den Rauminnenpegel in der Hörprüfkabine durch eine Langzeitmessung direkt zu bestimmen. Diese „Störschallmessungen sind während der Zeiten durchzuführen, in denen die Umgebungsbedingungen repräsentativ für die Zeiten sind, in denen sonst audiometrische Untersuchungen durchgeführt werden“ [DIN EN ISO 8253-1 (2011), S. 20]. Im vorliegenden Beitrag wird dazu ein einfaches, praktikables Verfahren zur Messung von Ruhe- und Störschallpegeln sowie der Nachhallzeit am Beispiel von zwei im Vivantes Hörzentrum Berlin (HZB) temporär eingebauten Hörkabinen vorgestellt. Die Messergebnisse werden anhand der DIN ISO 8253 Teil 1 bis 3 beurteilt und diskutiert.

Akustische Anforderungen

Die Anforderungen an zulässige Schalldruckpegel ($L_{S,max}$, frequenzabhängig in Terzbändern zwischen 31,5 Hz und 12,5 kHz) und Nachhallzeit T (frequenzabhängig von 125 Hz bis 8 kHz) im Inneren der Hörkabinen sind in der DIN EN ISO 8253-1, -2 und -3 aufgeführt. Diese sind von der Audiometrieart, d.h. Luftleitungs-, Knochenleitungsaudiometrie oder Schallfeldaudiometrie und dem anzusetzenden Frequenzbereich des Prüftones abhängig. „Bei den aufgeführten Werten beträgt der kleinste zu bestimmende Hörschwellenpegel 0 dB mit einer höchstzulässigen Messunsicherheit von +2 dB durch Störschall. Wird eine maximale Messunsicherheit von +5 dB durch Störschall zugelassen, können sich die Werte in der Tabelle um 8 dB erhöhen.“ [DIN EN ISO 8253-1 (2011), S. 22 und 24; siehe auch DIN EN ISO 8253-2 (2010), S. 15] Für die Sprachaudiometrie sind die Anforderungen an den zulässigen Störschall weniger streng. Erfüllt die Kabine bis zu einem bestimmten Hörpegelwert die Anforderungen gemäß DIN EN ISO 8253 Teil 1 und 2, kann sie auch für die Sprachaudiometrie „bei gleicher Darbietung des Testsignals für Signalpegel bis zu den gleichen Hörpegelwerten, genutzt werden“ [DIN EN ISO 8253-3 (2012), S. 16].

1 Höchster in einer Zeiteinheit oder einer Messung vorkommender Pegel (Bezugswert: 20 μ Pa), Zeitbewertung = S (slow), Zeitkonstante = 1 s [DIN EN 61672-1 (2014)]
 2 Zeitspanne, während der der Schalldruckpegel in einem Raum nach dem Beenden der Schallfeldanregung um 60 dB abfällt. [DIN 18041 (2016)]

Störschallpegelgrenzwerte $L_{S,max}$ gemäß DIN EN ISO 8253-1 (2011), Tabelle 2

Die höchstzulässigen Störschallpegel für Luftleitungsaudiometrie bei Verwendung üblicher supra-auraler Kopfhörer sind in der DIN EN ISO 8253-1 (2011), Tab. 2 dokumentiert. Je nach Frequenzbereich des untersten Prüftones unterscheiden sich die Anforderungen (Prüftone: 125 Hz bis 8 kHz - Spalte 2, 250 Hz bis 8 kHz - Spalte 3, 500 Hz bis 8 kHz - Spalte 4, bei einer Messungenauigkeit von +2 dB durch Störschall), siehe Abbildung 1.

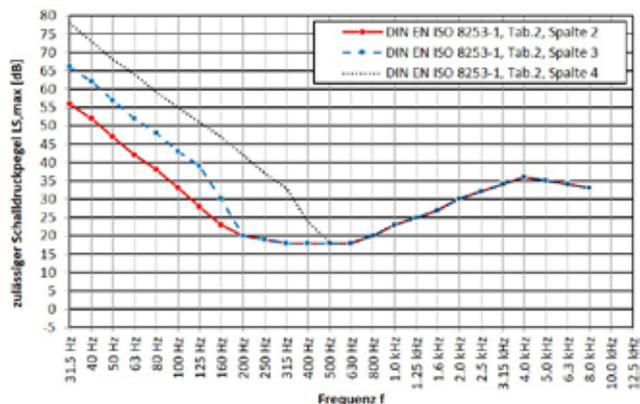


Abbildung 1: Zulässige Schalldruckpegel gemäß DIN EN ISO 8253-1, Tabelle 2

Störschallpegelgrenzwerte $L_{S,max}$ gemäß DIN EN ISO 8253-1 (2011), Tabelle 4

Für die Knochenleitungsaudiometrie sind die Anforderungen an Audiometrie-Räume in der DIN EN ISO 8253-1 (2011), Tab. 4 dokumentiert. Je nach Frequenzbereich des untersten Prüftones unterscheiden sich auch hier die höchstzulässigen Störschallpegel (Prüftone: 125 Hz bis 8 kHz - Spalte 2, 250 Hz bis 8 kHz, Spalte 3, bei einer Messungenauigkeit von +2 dB durch Störschall), siehe Abbildung 2.

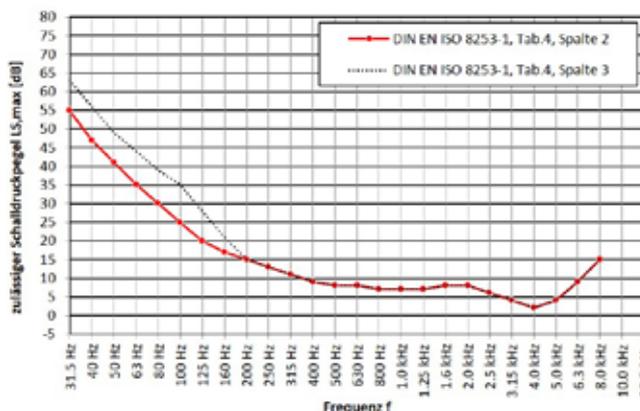


Abbildung 2: Zulässige Schalldruckpegel gemäß DIN EN ISO 8253-1, Tabelle 4

Störschallpegelgrenzwerte $L_{S,max}$ gemäß DIN EN ISO 8253-2 (2010), Tabelle 2

Die Anforderungen an die Räume für Schallfeld-Audiometrie sind in DIN EN ISO 8253-2 (2010), Tab. 3 dokumentiert. Je nach niedrigster

Frequenz des Prüfsignals unterscheiden sich die Anforderungen (niedrigste Frequenz des Prüfsignals: 125 Hz - Spalte 2, 250 Hz - Spalte 3, bei einer Messungenauigkeit von +2 dB durch Störschall), siehe Abbildung 3.

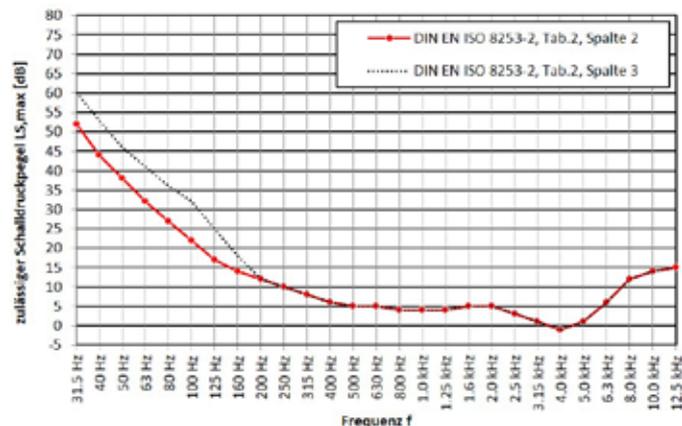


Abbildung 3: Zulässige Schalldruckpegel gemäß DIN EN ISO 8253-2, Tabelle 2

Nachhallzeit T gemäß DIN EN ISO 8253-3 (2012)

Zur Aufzeichnung von Sprachmaterial muss die Nachhallzeit innerhalb des Frequenzbereiches von 125 Hz bis 8 kHz bei weniger als 0,5 s liegen.

Material und Methoden

In zwei Hörkabinen des Vivantes Hörzentrums wurden die Störschallpegel $L_{S,max}$ in Terzbändern von 31,5 Hz bis 12,5 kHz und die Nachhallzeit T (Messgrößen T_{20}^3 und T_{30}^4) in Oktavbändern zwischen 63 Hz und 8 kHz messtechnisch erfasst. Folgende Einzelmessungen wurden durchgeführt:

- Messung der Ruhepegel bei eingeschalteter Lüftungsanlage⁵ in den Hörprüfkabinen

Dies wurde für drei Fälle untersucht: Lüftungsanlage ausgeschaltet, Lüftungsanlage eingeschaltet mit 50 % Last und Maximalstellung der Steuerung (Vollast).

- Langzeitmessung der in der Praxis auftretenden Störschallpegel über einen Zeitraum von > 24 h

Die Messungen erfolgten im laufenden Betrieb, jedoch bei unbesetzten Kabinen⁶.

3 Die Nachhallzeit kann auf einen kürzeren Dynamikbereich als 60 dB ermittelt und extrapoliert werden. Wird die Nachhallzeit aus der zeitlichen Differenz, wenn die Abklingkurve die Werte von 5 dB und 25 dB unter dem Anfangspegel erreicht, ermittelt, wird die Nachhallzeit mit T_{20} gekennzeichnet. [DIN EN ISO 3382-1 (2009), Abschnitt 3.5]

4 Wird die Nachhallzeit aus der zeitlichen Differenz, wenn die Abklingkurve die Werte von 5 dB und 35 dB unter dem Anfangspegel erreicht, ermittelt, wird die Nachhallzeit mit T_{30} gekennzeichnet. [DIN EN ISO 3382-1 (2009), Abschnitt 3.5]

5 2 Lüfter, die je 120-130 m³/h Luft fördern.

6 „Störschallmessungen sind während der Zeiten durchzuführen, in denen die Umgebungsbedingungen repräsentativ für die Zeiten sind, in denen sonst audiometrische Untersuchungen durchgeführt werden.“ [DIN EN ISO 8253-1 (2011), S. 20]

- Messung der Nachhallzeit gemäß DIN EN ISO 3382-2 (2008) bzw. DIN EN ISO 3382-2 (2009)

Untersuchte Prüfräume

Kleine Hörprüfkabine

Die kleine Hörprüfkabine hat eine Grundfläche 3,27 m × 2,35 m und eine Raumhöhe von 2,09 m, mit zwei gegenüberliegenden Fenstern (Flächen: 0,70 m × 0,85 m und 1,00 m × 1,00 m) mit Vorhängen sowie eine Stahltür. Auf dem Boden befindet sich ein textiler Belag, an den Wänden und der Tür sind kaschierte Faserabsorber angebracht. Die Decke besteht aus perforierten Metallpaneelen. In der Hörprüfkabine befinden sich weiterhin ein Audiometrie-Tisch und zwei Stühle. Die Patienten werden zur Messung im Freifeld vor zwei Lautsprechern positioniert.

Große Hörprüfkabine

Die große Hörprüfkabine hat eine Grundfläche 3,89 m × 3,19 m und eine Raumhöhe von 2,05 m, mit zwei Fenstern (Flächen: 0,70 m × 0,85 m und 0,91 m × 0,91 m) mit Vorhängen und eine bettengängige Stahltür. Zudem verfügt sie über eine elektrische Abschirmung. Auf dem Boden befindet sich ebenfalls ein textiler Belag sowie an den Wänden und der Tür kaschierte Faserabsorber und eine Decke aus perforierten Metallpaneelen. Die Hörprüfkabine ist mit einem Audiometrie-Tisch, zwei Stühlen und einer Liege für die AEP⁷-Messung ausgestattet. Die Patienten werden vor zwei Lautsprechern oder auf der Liege positioniert.

Messposition

„Die Messungen sind mit dem Mikrofon am Ort des Probandenkopfes im Hörprüfraum, aber in Abwesenheit des Probanden, durchzuführen“ [DIN EN ISO 8253-1 (2011), S. 21]. Bedingt durch den laufenden Betrieb wurden die Mikrofone möglichst nah an die Hörpositionen platziert, ohne dass Patienten und Untersucher behindert wurden⁸ (Abbildung 4).

Verwendete Messinstrumente und Auswertungs-/Berechnungssoftware

Zur Aufzeichnung bzw. Messung der Schalldruckpegel, die zum Teil weit unterhalb der menschlichen Hörschwelle lagen, wurde ein sog. LowNoise Mikrofon mit einem Schallpegelmesser der Klasse 1 entspr. DIN EN 61672-1 (2014) kombiniert. Zur Bestimmung der Nachhallzeit erfolgte die akustische Anregung der Kabinen mit einer omnidirektionalen Schallquelle. Die Raumpulsantwort wurde mit einem tetraedrischen Mikrofon gemessen (siehe Tab. 1).

Ergebnisse

Ruhepegel zur Tageszeit

Für die oben genannten Fälle wurden die gemessenen Schalldruckpegel $L_{S,max}$ ausgewertet. Die Ergebnisse sind in den folgenden Diagrammen dargestellt (Abbildung 5 und 6). Bei den Messungen war

7 AEP = Akustisch evozierte Potentiale

8 Die dadurch möglicherweise entstandenen Messabweichungen können vernachlässigt werden.

Anzeige



Abbildung 4: Links: Kleine Hörprüfkabine; Rechts: Große Hörprüfkabine (auf den Fotos sind zusätzlich zur Raumeinrichtung die Messmikrofone der Schallpegelmessungen zu sehen)

Bezeichnung	Fabrikat/Typ
Omnidirektionaler Lautsprecher	Brüel & Kjaer, Omnisource
PC-basiertes Mess-System	IRIS v1.1.1
Verstärker	the t.amp
AD/DA-Wandler	Motu 4pre
Tetraedrisches Mikrofon	Core Sound TetraMic
Schallpegelmesser (Klasse 1), Schallkalibrator (Klasse 1) [int.: NOR140-2]	Norsonic Typ 140 Brüel & Kjær Typ 4231
Low noise Mikrofon	G.R.A.S., Low-noise Measuring System Typ 40 HL
Auswerte- /Berechnungssoftware	Norsonic NorReview

Tabelle 1: Verwendete Messinstrumente und Auswertungs-/Berechnungssoftware

die audiologische Abteilung, in der die Hörprüfkabinen eingebaut sind, noch nicht bezogen. Daher traten während der Messungen keine maßgeblichen Störungen durch die Nutzung innerhalb des Gebäudes auf.

Langzeitmessungen

Pegel-Zeit-Verlauf

Diese Messungen wurden im laufenden Betrieb der audiologischen Abteilung durchgeführt und nur die Zeitbereiche beurteilt, in denen

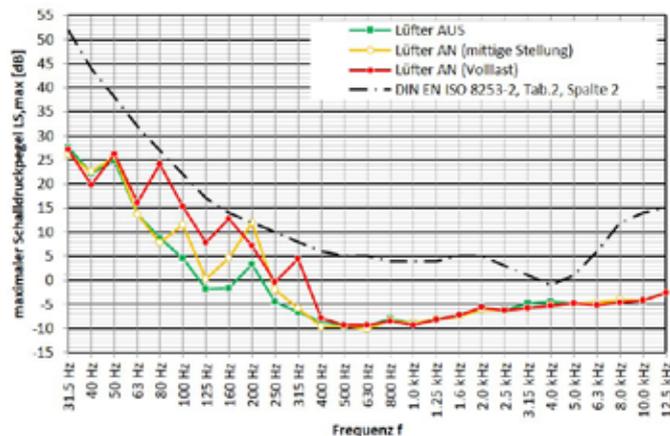


Abbildung 5: Messergebnisse für den Ruhepegel zur Tageszeit; kleine Hörprüfkabine

die Kabinen nicht besetzt waren. Bei der Auswertung der Messsignale kommt es mehrfach zu Überschreitungen der Störschallpegelgrenzen gemäß DIN EN ISO 8253-1 und -2. Mithilfe der während der Messungen erstellten Audioaufnahmen können die Überschreitungen auf folgende Störquellen zurückgeführt werden:

Gehrschall außerhalb der Kabine: Es konnte allerdings nicht bestimmt werden, ob der Gehrschall im Flur vor den Kabinen oder in angrenzenden Räumen, d.h. neben oder unter den Hörprüfkabinen hervorgerufen wird.

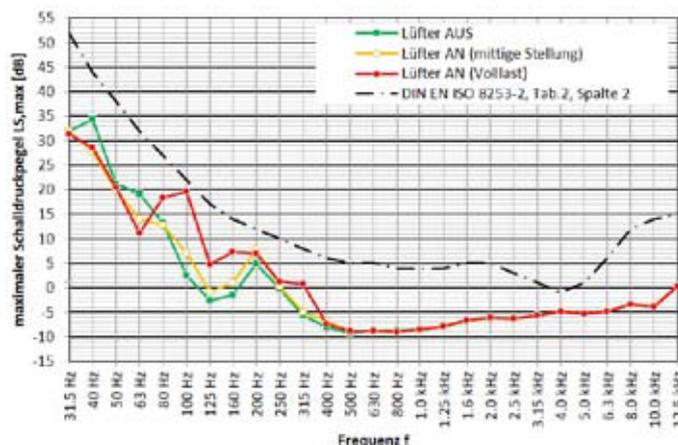


Abbildung 6: Messergebnisse für den Ruhepegel zur Tageszeit; große Hörprüfkabine

Körperschall außerhalb der Kabine: Der Körperschall entsteht maßgeblich durch das Schließen von Türen. Vereinzelt werden auch andere Störquellen wahrgenommen, deren Herkunft unbekannt ist.

Luftschall: Insbesondere in der großen Kabine wurden auch Geräusche von menschlichen Stimmen aufgezeichnet, die sich außerhalb der Kabine befanden. Es kann nicht bestimmt werden, ob diese Stimmen im Flur oder im Raum, wo die Hörprüfkabine verortet ist, verursacht wurden. Ferner wurden auch Geräusche aufgezeichnet, die hörtechnisch beurteilt Verkehrsgeräuschen entsprechen, aber nicht eindeutig so zu identifizieren sind. Eine Übertragung von Geräuschen in die Hörprüfkabinen kann somit nicht ausgeschlossen werden.

Einzelergbnisse

In den Abbildungen 7 und 8 werden die Terzband-Schalldruckpegel $L_{S,max}$ für einige stichprobenartig ausgewählte Zeitintervalle und Ereignisse in der kleinen bzw. großen Kabine dargestellt.

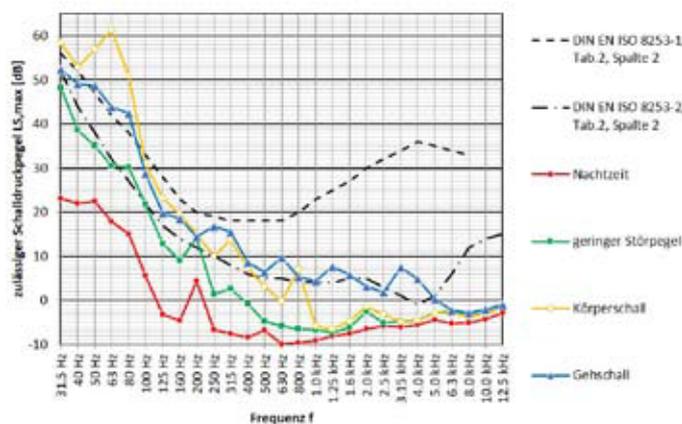


Abbildung 7: Maximaler Schalldruckpegel $L_{S,max}$ in dB für ausgewählte Ereignisse; kleine Hörprüfkabine

Die roten Kurven lassen erkennen, dass zur Nachtzeit sehr geringe Schalldruckpegel vorliegen. Zur Tageszeit gibt es Zeitbereiche mit ge-

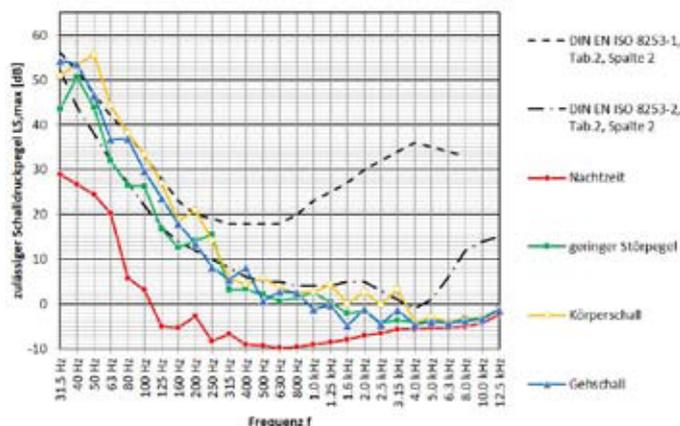


Abbildung 8: Maximaler Schalldruckpegel $L_{S,max}$ in dB für ausgewählte Ereignisse; große Hörprüfkabine

ringem Störpotential (grüne Kurven). Die blauen Kurven zeigen typische Überschreitungen für Zeitintervalle, in denen Störungen durch Gehrschall auftreten. Die gelben Kurven repräsentieren einen Zeitbereich, in dem Körperschalleintrag außerhalb der Kabine (z.B. durch Türschlag) hörbar war. Da diese Stichproben aufgrund der Vielzahl von Überschreitungen nicht repräsentativ für den gesamten Tagesverlauf sind, wird im nächsten Abschnitt eine statistische Auswertung vorgenommen.

Statistische Auswertung der Langzeitmessungen

Für Zeitbereiche, in denen die Kabinen nicht besetzt waren⁹, wurde der Pegel-Zeit-Verlauf in 30-Sekunden-Blöcke unterteilt. Jeder dieser Blöcke wurde in Bezug auf die Einhaltung der Störschallgrenzwerte untersucht.

Kleine Hörprüfkabine

Exemplarisch werden die Häufigkeiten (%) von Grenzwertüberschreitungen (Höhe der Überschreitung in dB) der höchstzulässigen Störschallpegel für Luftleitungsaudiometrie bei Verwendung üblicher supra-auraler Kopfhörer (Prüfton 125 Hz – 8 kHz) sowie Knochenleitungs-Audiometrie (Prüfton 250 Hz – 8000 Hz) in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt. Ausgewertete Zeitbereiche:

- 1. Tag, 09:32 – 10:20 Uhr
- 1. Tag, 10:33 – 13:09 Uhr
- 1. Tag, 14:53 – 15:17 Uhr
- 2. Tag, 07:32 – 10:59 Uhr
- 2. Tag, 12:05 – 13:30 Uhr

⁹ Zeiträume, in denen sich keine Patienten und/oder Untersucher in der Hörkabine oder im Vorraum aufhielten

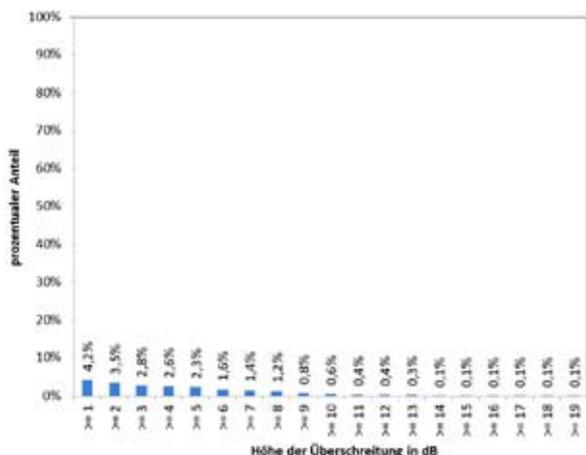


Abbildung 9: Überschreitung der Grenzwerte bei Verwendung üblicher supra-auraler Kopfhörer (Prüftön 125 Hz – 8000 Hz), gem. DIN EN ISO 8253-1 (2011), Tabelle 2, Spalte 2; Kleine Hörprüfkabine (991 Blöcke (30 s) insgesamt, davon 949 Blöcke ohne Überschreitung)

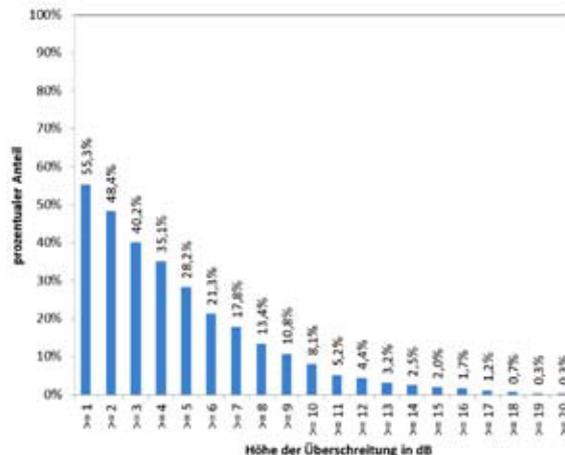


Abbildung 11: Überschreitung der Grenzwerte für Schallfeld-Audiometrie (niedrigste Frequenz des Prüfsignals: 125 Hz), gem. DIN EN ISO 8253-2 (2010), Tabelle 2, Spalte 2; große Hörprüfkabine (595 Blöcke (30 s) insgesamt, davon 266 Blöcke ohne Überschreitung)

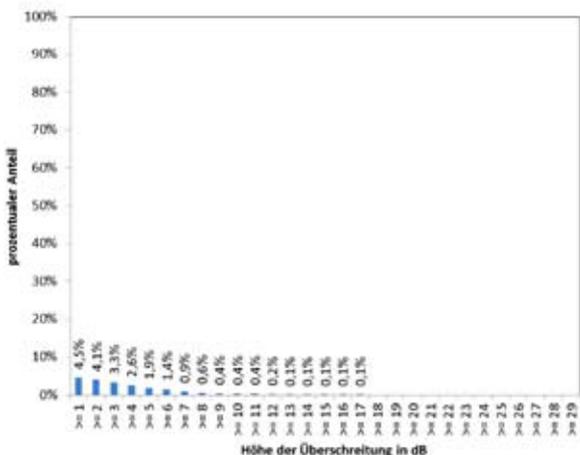


Abbildung 10: Überschreitung der Grenzwerte für Knochenleitungs-Audiometrie (Prüftön 250 Hz – 8000 Hz), gem. DIN EN ISO 8253-1 (2011), Tabelle 4, Spalte 3, kleine Hörprüfkabine (991 Blöcke (30 s) insgesamt, davon 946 Blöcke ohne Überschreitung)

Dies ergibt 991 Zeitblöcke zu je 30 s und entspricht einer Gesamtdauer von 8 Stunden und 15 Minuten.

Große Hörprüfkabine

In Abbildung 11 werden die Häufigkeiten (%) von Grenzwertüberschreitungen (Höhe der Überschreitung in dB) der höchstzulässigen Störschallpegel am Beispiel der Störschallpegelgrenzwerte für die

Schallfeldaudiometrie (niedrigste Frequenz des Prüfsignals: 125 Hz), gem. DIN EN ISO 8253-2 (2010) dargestellt. Ausgewertete Zeitbereiche:

- 1. Tag, 09:23 – 10:24 Uhr
- 1. Tag, 14:40 – 11:40 Uhr
- 1. Tag, 12:02 – 13:02 Uhr
- 1. Tag, 13:11 – 13:49 Uhr
- 1. Tag, 14:10 – 15:28 Uhr

Daraus ergeben sich 595 Zeitblöcke zu je 30 s. Dies entspricht einer Gesamtdauer von 4 Stunden und 58 Minuten. Die Terzbandpegel der einzelnen 30 s-Zeitblöcke wurden wie zuvor ausgewertet.

Nachhallzeit

Die Messergebnisse für die Nachhallzeiten T_{20} und T_{30} für beide Hörprüfkabinen sind in Tabelle 2 aufgelistet. Zwischen 250 Hz und 8 kHz liegen die Nachhallzeiten um 0,1 s. Bei tieferen Frequenzen liegen die Zeiten zwischen rund 0,15 s und 0,5 s.

Beurteilung anhand der DIN ISO 8253 Teil 1 bis 3

Im Folgenden werden die einzelnen Beurteilungskriterien der DIN ISO 8253 Teil 1 bis 3 aufgeführt und die oben gezeigten Messergebnisse im Hinblick auf deren Einhaltung beurteilt:

Die Ruhepegel zur Tageszeit gemäß DIN EN ISO 8253-2 (2010), Tab. 2, Spalte 2 (Schallfeldaudiometrie) und somit auch die Anforderungen der

		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Kleine Hörprüfkabine	T_{20}	0,38	0,12	0,10	0,08	0,09	0,07	0,09	0,06
	T_{30}	0,51	0,14	0,09	0,08	0,09	0,07	0,09	0,07
Große Hörprüfkabine	T_{20}	0,25	0,15	0,08	0,10	0,12	0,09	0,10	0,08
	T_{30}	0,27	0,15	0,09	0,10	0,11	0,10	0,11	0,08

Tabelle 2: Messergebnisse für die Nachhallzeiten T_{20} und T_{30}

weiteren zulässigen Störschallpegel gemäß DIN EN ISO 8253-1 und -2 werden in beiden Kabinen bei einer höchstzulässigen Messunsicherheit (Audiometrie) von +2 dB eingehalten (siehe Abbildung 5 und 6).

Die Grenzwerte der Störschallpegel $L_{S,max}$ bei Verwendung üblicher supra-auraler Kopfhörer (Prüftön 125 Hz – 8000 Hz), gem. DIN EN ISO 8253-1 (2011), Tab. 2, Spalte 2 werden bei einer höchstzulässigen Messunsicherheit von +2 dB in der kleinen Kabine in 4,2 % bzw. 2,3 % der untersuchten 30-Sekunden-Blöcke um mindestens 1 dB bzw. 5 dB überschritten (siehe Abbildung 9). Bei Begrenzung des Prüftönenbereiches auf 250 Hz bis 8 kHz zeigen 99,6 % der untersuchten Blöcke keine Überschreitungen.

Die höchstzulässigen Störschallpegel $L_{S,max}$ in Terzbändern für Knochenleitungs-Audiometrie (Prüftön 250 Hz – 8000 Hz), gem. DIN EN ISO 8253-1 (2011), Tab. 4, Spalte 3 werden in der kleinen Kabine bei einer höchstzulässigen Messunsicherheit von +2 dB in 4,5 % bzw. 1,9 % der untersuchten 30-Sekunden-Blöcke um mindestens 1 dB bzw. 5 dB überschritten (siehe Abbildung 10).

In der großen Kabine kommt es in 55,3 % bzw. 28,2 % der untersuchten 30 s-Blöcke zu Überschreitungen von mind. 1 dB bzw. 5 dB der Störschallpegelgrenzwerte $L_{S,max}$ in Terzbändern für die Schallfeldaudiometrie (niedrigste Frequenz des Prüfsignals: 125 Hz), gem. DIN EN ISO 8253-2 (2010), Tab. 2, Spalte 2 (siehe Abbildung 11). Bei Begrenzung des Prüftönenbereiches auf 250 Hz bis 8 kHz zeigen noch 21,2 % der untersuchten 30 s-Blöcke Überschreitungen von mind. 1 dB und 7,6 % von mind. 5 dB.

Die Nachhallzeit liegt gem. DIN EN ISO 8253-3 (2012) in beiden Kabinen in einem Frequenzbereich von 125 Hz bis 8 kHz unter 0,5 s. Das Aufzeichnen von Sprachmaterial wäre problemlos möglich.

Diskussion

Um eine hinreichend genaue Einschätzung über die auftretenden Störgeräusche in einer Hörprüfkabine zu ermöglichen ist es notwendig, dass insbesondere Geh- und Körperschallpegel, welche durch Anregung im Flur vor den Untersuchungsräumen und von den umgebenden Räumlichkeiten als auch im darüber liegenden Geschoss (inkl. des Flures im darüber liegenden Geschoss) in den Hörprüfkabinen hervorgerufen werden, möglichst vollständig ermittelt werden. Die in der Praxis üblicherweise durchgeführte Schalldruckpegelmessung im Empfangsraum (Hörprüfkabine) bei Anregung mittels Normhammerwerk auf dem Boden erzeugter Trittschallpegel im Senderraum (Flur) und einer damit notwendigen Umrechnung in Gehschallpegel gemäß DIN EN 16205 (2013) bezieht sich auf Laborbedingungen und eine vertikale Schallausbreitung, d.h. zwischen zwei übereinanderliegenden Räumen und ggf. massiven flankierenden Wänden. Zudem zeigen Untersuchungen von Bietz et al. (2014), dass auch die Berücksichtigung eines vorhandenen Bodenbelages zu „unplausiblen Ergebnissen und hohen Unsicherheiten führen“ kann. Die Messung von Trittschallpegeln und letztlich die Umrechnung in Gehschallpegel bezieht sich auf äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} (energetische Mittelwerte über die Messdauer). In der DIN EN ISO 8253-1 (2011) bzw. DIN EN ISO 8253-2 (2010) werden die Anforderungen an die höchstzulässigen Störpegel mittels Maximalpegel definiert. Nach Einschätzung der Autoren fallen für impulshafte Geräusche (z.B. Gehen mit Stöckelschuhen) die Maximalpegel wesentlich größer aus als

die Dauerschallpegel. Die Größenordnung lässt sich auf 5 dB bis 15 dB schätzen, je nachdem, welche Messdauer hier angesetzt wird. Das hier vorgestellte Verfahren sieht wie in der DIN EN ISO 8253-1 (2011) gefordert vor, den maximalen Störschallpegel direkt in der Hörprüfkabine durch eine Langzeitmessung zu bestimmen. Dazu wird ein Messinstrument inklusive Funktion zur Audioaufzeichnung in der jeweiligen Hörprüfkabine in Hörposition aufgestellt. Es werden jedoch nur jene Zeitbereiche für die Auswertung herangezogen, in denen sich keine Personen¹⁰ in der Hörprüfkabine aufhalten. Praktisch gesehen ist dies einfach umsetzbar, da eine Hörprüfkabine nicht durchgehend in Messbetrieb ist. Die Audioaufzeichnungen können dann für eine allgemeine Klassifizierung des Störschalles durch einen Experten¹¹ abgehört werden. Somit ist es möglich, eine Unterteilung in Geh-, Körper- und Luftschall vorzunehmen. Da die Ergebnisse einer solchen Auswertung nicht repräsentativ für den gesamten Tagesverlauf sind, wird durch die Berechnung und grafische Darstellung der Häufigkeitsverteilungen der jeweiligen Grenzwertüberschreitungen eine hinreichend genaue Abschätzung auftretender Störpegel im realen Betrieb sowie die Definition von Spezifikationsgrenzen¹² der Hörprüfkabinen gemäß DIN EN ISO 8253-1 und -2 ermöglicht.

Unsere exemplarische Auswertung der Langzeitmessungen in zwei Hörprüfkabinen mit unterschiedlicher Größe und Verortung zeigt, dass unter den vorliegenden Umgebungsbedingungen zu einem geringen Prozentsatz unter Störschalleinfluss audiometriert werden muss. Um den Störeinfluss auf die Gesamtmessung so gering wie möglich zu halten, sollten daher die Prüftöne zur Auffindung der Hörschwelle mehrfach angeboten werden (Mrowinski et al., 2017). Weiterhin lassen sich aus den Ergebnissen aber auch bauliche und organisatorische Maßnahmen ableiten, um die Grenzwertüberschreitungen zu reduzieren.

Die Interpretation der Normforderungen kann in der Praxis somit unter zweierlei Gesichtspunkten erfolgen: Einerseits können Forderungen an neu zu planende Räumlichkeiten im Hinblick auf den beabsichtigten Verwendungszweck formuliert werden. Andererseits kann durch das vorgestellte Verfahren die Eignung bereits bestehender Räumlichkeiten geprüft werden. Deuten die Messergebnisse beispielsweise auf potentielle Störeinflüsse hin, kann durch geeignete Maßnahmen gegengesteuert werden. Ebenso lässt die Bewertung eine Abschätzung der erzielbaren Messgenauigkeit zu.

Fazit für die Praxis

Letztlich hängen die genauen Anforderungen an eine Hörprüfkabine immer von der geplanten Verwendung bzgl. der Art der audiometrischen Untersuchung und der Messunsicherheit durch Störschall ab. Daraus ergeben sich die akustischen Anforderungsgrößen aus den entsprechenden Normen. Die Einhaltung dieser Vorschriften ist nicht nur eine notwendige Maßnahme der Qualitätssicherung in einer udologischen Abteilung einer HNO-Klinik oder -Praxis sondern auch Voraussetzung für die Abrechnungsfähigkeit von Gebührenpositionen

10 MTA und/oder Patient

11 Sachverständiger für Schallschutz, Raum- u. Elektroakustik

12 Schwellen- und/oder Sprachaudiometrie in Luft- und Knochenleitung oder im Freifeld, in Abhängigkeit vom anzusetzenden Frequenzbereich des Prüftönen

13 EBM = Einheitlicher Bewertungsmaßstab, Kassenärztliche Bundesvereinigung – Geschäftsführung des Bewertungsausschusses gem. § 87 Abs. 1 S. 1 SGB V

14 www.dga-ev.de

nach EBM¹³ und die Zertifizierung von Audiologischen Zentren durch die Deutsche Gesellschaft für Audiologie¹⁴.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Katharina Senst und Markus Blaurock für die hilfreichen Anregungen und Ratschläge bei der Erstellung des Manuskriptes.

ORCID

Alexander Müller: <https://orcid.org/0000-0002-8778-3647>

Oliver Dziemba: <https://orcid.org/0000-0002-0521-5671>

Literatur

Bietz H, Wittstock V, Stange-Kölling S, Scholl W (2014) Messung des Gehschalls für verschiedene Bodenbelagstypen – Ergebnisse eines europäischen Ringversuchs. In: Fortschritte der Akustik – DAGA 2014, Tagungsband der 40. Jahrestagung für Akustik, Oldenburg, S. 88-89

DIN 18041 (2016) Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN ISO 3382-1 (2009) Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 1: Auführungsräume (ISO 3382-1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 3382-1:2009, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN ISO 3382-2 (2008) Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen (ISO 3382-2:2008); Deutsche Fassung EN ISO 3382-2:2008, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN ISO 3382-2 Berichtigung 1:2009-09 (2009) Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen (ISO 3382-2:2008); Deutsche Fassung EN ISO 3382-2:2008, Berichtigung zu DIN EN ISO 3382-2:2008-09; Deutsche Fassung EN ISO 3382-2:2008/AC:2009, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN ISO 8253-1 (2011) Akustik – Audiometrische Prüfverfahren – Teil 1: Grundlegende Verfahren der Luft- und Knochenleitungs-Schwellenaudiometrie mit reinen Tönen (ISO 8253-1:2010); Deutsche Fassung EN ISO 8253-1:2010, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN ISO 8253-2 (2010) Akustik – Audiometrische Prüfverfahren – Teil 2: Schallfeld-Audiometrie mit reinen Tönen und schmalbandigen Prüfsignalen (ISO 8253-2:2009); Deutsche Fassung EN ISO 8253-2:2009, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN ISO 8253-3 (2012) Akustik – Audiometrische Prüfverfahren – Teil 3: Sprachaudiometrie (ISO 8253-3:2012); Deutsche Fassung EN ISO 8253-3:2012, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 16205 (2013) Messung von Gehschall auf Fußböden im Prüfstand; Deutsche Fassung EN 16205:2013, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN 61672-1 (2014) Elektroakustik – Schallpegelmessung – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013); Deutsche Fassung EN 61672-1:2013, Beuth Verlag, Berlin

Kießling J (2006) Fehlerquellen in der Audiometrie – Grundlagen und Abhilfe. In: Prakt Arb med 6, S. 12–16

Mrowinski D, Scholz G, Steffens T (2017) Audiometrie: Eine Anleitung für die praktische Hörprüfung, Thieme Verlag, Stuttgart

(Fotos: privat)



Dr.-Ing. Alexander Müller war nach dem Studium der Medientechnologie ab 2004 zunächst wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Biomechanik an der Technischen Universität Ilmenau. Nach der Promotion ist er seit 2009 als klinischer Audiologe tätig und arbeitete bis 2011 an der Univ.-HNO-Klinik Greifswald. 2011 wechselte er nach Berlin an die HNO-Klinik des Vivantes Klinikums im Friedrichshain und leitet seitdem den Funktionsbereich Audiologie/Neurootologie im Hörzentrum Berlin (HZB).

Arbeitsschwerpunkte: Objektive Audiometrie und Elektrophysiologie, Cochlea-Implantat und Implantierbare Hörsysteme.



Priv.-Doz. Dr. med. Parwis Mir-Salim ist seit 2003 Direktor der HNO-Klinik des Vivantes Klinikums im Friedrichshain, Berlin. 2006 gründete er das interdisziplinäre Hörzentrum Berlin (HZB). Arbeitsschwerpunkte: Ohrchirurgie, Funktionelle endoskopische Nasennebenhöhlen-, Kopf- und Halschirurgie, Cochlea-Implantate seit 1997.



Dipl.-Ing. Oliver Dziemba studierte Medientechnologie mit Vertiefungsrichtung Audiovisuelle Technik an der Technischen Universität Ilmenau und war nach einjähriger wissenschaftlicher Tätigkeit am Fachgebiet Biomechanik von 2009 bis 2011 als Entwicklungsingenieur der audifon GmbH & Co KG beschäftigt. Seit 2011 leitet er die Audiologische Abteilung der HNO-Klinik der Universitätsmedizin Greifswald.



Dipl.-Ing. Tobias Kirchner hat Bauingenieurwesen an der Bauhaus-Universität Weimar studiert und ist seit 2003 als Bau- und Raumakustiker tätig. Nach einem mehrjährigen Aufenthalt im skandinavischen Ausland wechselte er 2007 nach Berlin, wo er Geschäftsführer und Partner in der Akustikbüro K5 GmbH (ehemals Akustikbüro Rahe-Kraft GmbH) ist. Tobias Kirchner ist von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Raumakustik.