

**UNTERSUCHUNG DER LAUTSTÄRKEEMPFINDUNG VON SCHWERHÖRIGEN
MIT DER „METHODE DER LINIENLÄNGE“**

CHRISTINA HILTENSBERGER

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde der

Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand Prof. Dr. Berghaus

**UNTERSUCHUNG DER LAUTSTÄRKEEMPFINDUNG VON SCHWERHÖRIGEN
MIT DER „METHODE DER LINIENLÄNGE“**

DISSERTATION

ZUM ERWERB DES DOKTORGRADES DER MEDIZIN

AN DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER

LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

VORGELEGT VON

CHRISTINA HILTENSPERGER

AUS MÜNCHEN

2004

MIT GENEHMIGUNG DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

BERICHTERSTATTER: PROF. DR. MED. K. SCHORN

MITBERICHTERSTATTER: PROF. DR. MED. P. GRAFE

MITBETREUUNG DURCH DIE

PROMOVIERTEN MITARBEITER: DR. ING. BAUMANN, DR. MED. ARNOLD

DEKAN: PROF. DR. MED.DR. H.C. K. PETER

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG: 11. MÄRZ 2004

MEINEN ELTERN UND

MEINER GROßMUTTER GEWIDMET

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINFÜHRUNG	1
1.1 ENTWICKLUNG DER AUDIOMETRIE	1
1.2 ZIELSETZUNG	3
1.3 GRUNDLAGEN	4
1.3.1 GRUNDPRINZIPIEN DER HÖRGERÄTEANPASSUNG	4
1.3.2 INDIKATIONSKRITERIEN FÜR DIE HÖRGERÄTEANPASSUNG	4
1.3.3 AUSWAHL DER HÖRGERÄTEGRUPPE	6
2 MATERIAL UND METHODIK	11
2.1 DER COMPUTERGESTEUERTE MESSPLATZ	11
2.2 DIE „METHODE DER LINIENLÄNGE“	12
2.3 VERSUCHSABLAUF	14
3 ERGEBNISSE	17
3.1 UNTERSUCHUNG ZUM OHRVERSCHLUSS	17
3.2 UNTERSUCHUNG SCHWERHÖRENDE R IM HÖRFELD	28
3.2.1 INNENOHRRHOCHTONSCHWERHÖRIGKEIT	28
3.2.2 PANCOCHLEÄRE INNENOHRSCHWERHÖRIGKEIT	36
3.2.3 SCHALLEITUNGSSCHWERHÖRIGKEIT	40
3.2.4 TINNITUS-PATIENTEN OHNE ODER MIT SEHR GERINGEM HÖRVERLUST	45
3.2.5 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE SCHWERHÖRIGER	49
3.3 UNTERSUCHUNGEN ZUR REPRODUZIERBARKEIT	50
3.3.1 INNENOHRRHOCHTONSCHWERHÖRIGKEIT	51
3.3.2 PANCOCHLEÄRE INNENOHRSCHWERHÖRIGKEIT	53

3.3.3 SCHALLEITUNGSSCHWERHÖRIGKEIT	55
4 DISKUSSION	60
4.1 VORVERSUCH ZUM AUSSCHLUSS VON VERTÄUBUNGSFEHLERN	61
4.2 REPRODUZIERBARKEIT	62
4.3 BESTIMMUNG DER HÖRSCHWELLE	63
4.4 REKRUITMENTEFFEKT	64
4.5 HÖRGERÄTEANPASSUNG UND -ÜBERPRÜFUNG	65
4.6 DIFFERENZIERUNG SCHALLEITUNGS- UND SCHALLEMPFINDUNGSSCHWERHÖRIGKEIT	67
4.7 TINNITUS	68
4.8 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND DER GEWINN FÜR DIE AUDIOMETRIE	69
5 ZUSAMMENFASSUNG	70
6 LITERATURVERZEICHNIS	72
7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	75
8 ANHANG	76

1 EINFÜHRUNG

1.1 Entwicklung der Audiometrie

Seit den dreißiger Jahren werden in verschiedenen Erhebung Untersuchungen zur subjektiven Lautheitswahrnehmung und Beurteilung dieser durchgeführt (Fletcher und Munson 1933, Stevens 1959, Hellmann und Zwislocki 1968, Pascoe 1985, Heller 1985, Allen et al. 1990, Zwicker und Fastl 1990, Moore et al. 1992, Hellbrück 1993, Kießling et al. 1994, Cox et al. 1997, Keidser et al. 1999). All diese Arbeiten beschäftigen sich damit, Lautheitswahrnehmungen bei Gesunden und Schwerhörigen in eine objektiv erfassbare Skala zu bringen.

Die Lautheitsempfindung ist eine sehr komplexe und rein subjektive Größe. Sie unterliegt der Intensitätsabbildung und –auflösung eines Schallsignals, der Tonhöhe, der Frequenzauflösung, der zeitlichen Verarbeitung im Hörsystem, sowie der binauralen Interaktion des Gehörs (Kießling et al. 1997). Bei der Kompensation einer Hörstörung mit einem Hörgerät sollten all diese Faktoren möglichst wenig aufwendig mit einer einzigen Untersuchung erfassbar sein, um effizient und zeitsparend arbeiten zu können.

Der Hörfeldaudiometrie kommt in der Audiologie im Rahmen der Hörgeräteanpassung eine immer größere Bedeutung zu. Zum Erreichen eines optimalen Anpassungsergebnisses setzen moderne Hörgeräte eine individuelle Form der Lautheitsskalierung mit dem Patienten voraus (Hellbrück, und Moser 1985; Kollmeier 1997). Eine Hörfeldaudiometrie, oder synonym auch Hörflächenskalierung bzw. Kategoriallautheitsskalierung genannt, charakterisiert sich durch Lautheitsskalierung im Freifeld mit gepulsten Tönen oder Rauschimpulsen (Kießling et al. 1997). Sie ist eine Methode zur Erfassung der Lautheitswahrnehmung. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Hörfeldaudiometrie als Methode zur Messung von subjektiven Lautheitsempfindungen.

Eine Untersuchungsmethode stellt hierbei die Einordnung von Schallsignalen unterschiedlicher Intensität (gepulste Töne, Rauschimpulse) in Kategorien der wahrgenommenen Lautstärke auf einer Skala durch den Probanden dar. Damit der Proband die Geräusche hören kann, müssen diese innerhalb seiner individuellen Hörfläche liegen. Als Hörfläche (DIN 45630) wird der Bereich der akustischen Signale definiert, welchen der normalhörende Mensch wahrnehmen kann. Dieser erstreckt sich über einen Schallpegelbereich von -10 dB bis 130 dB und einen Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz (Lehnhardt 1996). Bei Schwerhörigen ist die Hörfläche eingeschränkt.

In Deutschland hat die Hörfeldmessung seit Beginn der achtziger Jahre wissenschaftliches Interesse, später auch kommerzielle Applikationen gefunden (Kießling und Schubert 1995). So zum Beispiel die Kategoriallautheitsskalierung - nach Heller auch „Würzburger Hörfeld“ genannt - bei dem der Proband im Freifeld präsentierte schmalbandige Rauschsignale (Terzbandrauschen) mit Mittenfrequenzen von 500 Hz bis 6300 Hz auf einer Skala mit sieben Kategorien („nicht gehört“ - „sehr leise“ - „leise“ - „mittel“ - „laut“ - „sehr laut“ - „zu laut“) einordnen muss (Heller 1985). Die Signale werden unter Freifeld-Bedingungen über einen Lautsprecher angeboten. In seiner ursprünglichen Fassung nach Heller stellte das Verfahren ein zweistufiges Kategorial-Skalierungssystem dar, mit einer ersten Grobskalierung anhand von fünf Lautheitskategorien und folgender Feinbewertung des wiederholt dargebotenen Testsignals auf einer 10er-Skala. Der Proband stuft die empfundene Lautheit auf der vorgegebenen Skala ein. Diese Skala kann zum Beispiel auf einem berührungssensitiven Tablett aufgebracht sein. So versuchen Wissenschaftler durch die Lautheitsskalierung der Audiologie in kürzester Zeit einen direkten und unkomplizierten Zugang zur Hörfläche zu verschaffen. Noch sind die verschiedenen Verfahren zur Hörflächenskalierung auf dem Prüfstand. Es konnte sich keines der zahlreichen Verfahren durchsetzen. Die Verfahren unterscheiden sich hauptsächlich hinsichtlich der Skalenart. Wie Heller stoßen auch andere Autoren auf Probleme bei der Wahl des Skalierungssystem. Zu wenige Kategorien liefern zu ungenaue Ergebnisse, zu viele erschweren die Nominierung der Kategorien. In einer kürzlich veröffentlichten Dissertation wurde deshalb auf die Kategorieneinteilung völlig verzichtet (Kopf 2004). Das Skaliertablett wurde lediglich mit den Eckdaten „extrem leise“ und „extrem laut“ beschriftet. Das Verfahren zeigte normalverteilte und stufenlose Pegellautheitsfunktionen

bei normalhörenden Probanden. Es erlaubt den Probanden höchste Bewertungsfreiheit und führt zu genaueren Ergebnissen, als zum Beispiel Hellers Kategorialskalierung. Die Messmethode wurde als „Methode der Linienlänge“ bezeichnet. Da in Kopfs Arbeit das Verfahren an normalhörenden Probanden erprobt wurde, soll im folgenden geprüft werden, ob die „Methode der Linienlänge“ auch im Klinikalltag zur Bestimmung der Hörfläche bei Schwerhörigen geeignet ist.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Hörfeldaudiometrie auf ihre Eignung zur Feststellung des Restdynamikbereiches mit seinen individuellen frequenzspezifischen Dynamikkennlinien und damit zur Hörgeräteversorgung an schwerhörigen Patienten unter definierten Versuchsbedingungen zu untersuchen. Es wird dafür die „Methode der Linienlänge“ verwendet, die eine Gegenüberstellung der Ergebnisse mit einer vorhergehenden Studie am Klinikum Großhadern, welche an Normalhörenden durchgeführt wurde, gewährleistet (Kopf 2004). Bei der „Methode der Linienlänge“ ist das Skaliertablett zur Eingabe der Lautstärkebewertung nur mit den Eckdaten "extrem leise" und "extrem laut" beschriftet. Der Patient orientiert sich somit nicht, wie beim "Würzburger Hörfeld" an vorgegebenen Kategorien, sondern kann sich einer kontinuierlichen Skala bedienen. Da Kopf die Methode bisher nur an jungen, geübten und motivierten Versuchspersonen erprobt hat, soll in der hier vorgestellten Arbeit die Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit der „Methode der Linienlänge“ bei schwerhörigen Patienten erforscht werden. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei auf den Zusammenhang zwischen tonaudiometrischem Hörverlust und der Hörfeldskalierung durch die „Methode der Linienlänge“ gelegt. Eine weitere wichtige Frage, die geklärt werden soll ist, ob die „Methode der Linienlänge“ auch für diagnostische Zwecke, wie zum Rekrutmentnachweis (siehe 1.3.3), und zur Feststellung der Art der Schwerhörigkeit geeignet ist.

1.3 Grundlagen

1.3.1 Grundprinzipien der Hörgeräteanpassung

Bei einer Hörgeräteanpassung sollte die oberste Priorität die Optimierung des Sprachverstehens haben. Das Verstehen von Sprache bestimmt die soziale Integration in Familie, Freundes- und Bekanntenkreis und den Beruf. Dazu muss es dem Schwerhörigen möglich sein, auch im Gespräch mit mehreren Personen, bei Nebengeräuschen und Nachhall die Sprache seiner Mitmenschen zu verstehen, so dass es nicht zur psychosozialen Behinderung, d.h. zur Vereinsamung, Depression und Persönlichkeitsveränderung kommt (Richtberg 1989). Der Schwerpunkt des Informationsgehaltes der menschlichen Sprache umfasst den Frequenzbereich von ca. 500 Hz bis ca. 4000 Hz. Frequenzen unterhalb von 500 Hz und oberhalb von 4000 Hz tragen nur wenig zum Sprachverständnis bei und sind nur für die Klangfarben- und Annehmlichkeitsempfindung von Bedeutung (Keller 1980a). Deshalb wurden die Tests zur Lautheitswahrnehmung in dieser Arbeit auf die Mittenfrequenzbereiche 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz beschränkt.

1.3.2 Indikationskriterien für die Hörgeräteanpassung

Die Indikationskriterien für die Verordnung von Hörgeräten stützen sich in erster Linie auf die audiometrischen Befunde, aber auch auf den persönlichen Anspruch des Schwerhörigen an sein Kommunikationsvermögen. Entsprechend den Heil- und Hilfsmittelrichtlinien lauten die audiometrischen Kriterien (Heil- und Hilfsmittelrichtlinien 1995): Der tonaudiometrische Hörverlust beträgt auf dem besseren Ohr 30 dB oder mehr in mindestens einer der Prüffrequenzen zwischen 500 und 3000 Hz und die Verstehensquote für einsilbige Wörter ist auf dem besseren Ohr bei 65 dB nicht größer als 80% (bei sprachaudiometrischer Überprüfung mit Kopfhörern). Bei einseitiger Schwerhörigkeit muss der tonaudiometrische Hörverlust bei 2000 Hz oder bei mindestens 2 Prüffrequenzen zwischen 500 und 3000 Hz mindestens 30 dB betragen.“

Außerdem muss der Patient entschlossen sein, ein Hörgerät zu tragen und physisch sowie psychisch in der Lage sein ein Hörgerät zu bedienen (Schorn 1994b). In Deutschland erfolgt die Indikationsstellung für die Hörgeräteversorgung und die Abschlussuntersuchung der angepassten Hörgeräte durch den Hals-Nasen-Ohren-Arzt. Dieser verifiziert die Art der vorliegenden Schwerhörigkeit nach den zur Zeit zur Verfügung stehenden audiometrischen Methoden und veranlasst die Hörgeräteanpassung.

Die Bestimmung der Hörschwelle legt den qualitativen und quantitativen Nachweis einer Hörstörung dar. Über Kopfhörer (Luftleitung) und Knochenhörer (Knochenleitung) wird ein Tonaudiogramm erstellt (DIN 45627). Dies gibt graphisch den Hörverlust in seiner Frequenzabhängigkeit wieder (Schorn 1994a).

Für die Diagnostik und vor allem für die Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten ist auch die Unbehaglichkeitsgrenze des Gehörs von Interesse, um den Hörgeschädigten vor zu lauten Pegeln zu schützen. Die Unbehaglichkeitsgrenze ist die Grenze der Schallpegel, ab der hohe Schalle zwar als „unangenehm“ empfunden werden, jedoch noch keine Schmerzempfindung verursachen. Bei der Ermittlung der Unbehaglichkeitsgrenze ist der Akustiker - wie auch bei der Hörschwellenmessung - auf die Mitarbeit des Schwerhörigen angewiesen. Ansätze die Unbehaglichkeitsgrenze aus der Stapediusreflexmessung herzuleiten, brachten nicht den gewünschten Erfolg. Nur wenn dem Hörakustiker die individuelle Unbehaglichkeitsgrenze bekannt ist, kann er das Hörgerät so einstellen, dass wichtige Signale wie zum Beispiel Sprache, zwar ausreichend verstärkt werden, die lauten Schallsignale jedoch die Unbehaglichkeitsgrenze nicht überschreiten (Geers 1997). Ihre Prüfung ist schwieriger als die Hörschwellenbestimmung und mit den derzeitigen Anpassungs- und Überprüfungsverfahren nicht mit ausreichender Genauigkeit möglich. Lediglich der Patient selbst kann subjektiv wiedergeben, ob der Ton noch ertragbar oder schon unangenehm laut ist. Die Unbehaglichkeitsgrenze kann mit der Hörflächenskalierung problemlos objektivierbar gemacht werden, da der Patient hier die Schalle mittels der Skalierung in einen für den Untersucher anschaulichen Maßstab überträgt.

Diese Art der Skalierung hat sich in der Medizin schon in anderen Bereichen erfolgreich etablieren können. So wird beispielsweise in der Schmerztherapie ein ganz ähnliches Verfahren verwendet. Der Patient gibt hier ebenfalls anhand einer visuellen Analogskala (VAS) von „schmerzfrei“ bis „stärkste vorstellbare Schmerzen“ die Intensität seines Schmerzes wieder (Schnell et al. 1999).

1.3.3 Auswahl der Hörgerätegruppe

Um festzustellen, ob eine sinnvolle Kompensation einer Hörstörung möglich ist, ist eine Unterteilung in Mittel- und Innenohrschwerhörigkeit sowie neuronale bzw. zentrale Schwerhörigkeit nötig. Dazu dienen Luft- und Knochenleitungstonaudiogramme, Sprachaudiogramm, retrocochleäre Tests und die Hirnstammaudiometrie. Mittelohrschädigungen werden im weiteren durch die Impedanzprüfung exploriert.

Derzeit ist für die Anpassung und Überprüfung von Hörgeräten das Tonschwellenaudiogramm noch der wichtigste Hörtest, da hieraus die erforderliche Frequenzcharakteristik des auszuwählenden Hörgerätes näherungsweise ermittelt wird. Dabei sollten sich die Frequenzgänge von Tonschwellenaudiogramm und Hörgerät in ihrer Grundform spiegelbildlich entsprechen (Kießling et al. 1997, Pascoe 1985). Schwierigkeiten bestehen bei der Betriebsverstärkung der in Frage kommenden Hörgeräte. Diese kann aus dem Tonaudiogramm nicht direkt entnommen werden, insbesondere nicht bei Innenohrschwerhörigkeit mit Rekrutment (Zelnik 1982). Die Lautheitsskalierung bietet hier Abhilfe. Aus ihr kann, auch bei Vorliegen eines Rekrutments, der individuelle Verstärkungsbedarf ermittelt werden (Kießling et al. 1997).

Die Mehrzahl der Innenohrschwerhörigkeiten unterteilen sich in Hochton-, Mittelton-, Tiefton- und pantonale Schwerhörigkeit mit oder ohne Rekrutment. Der gegenüber Normalhörenden auftretende Hörverlust lässt sich durch Tonaudiogramme festlegen. Zusätzlich können bei Innenohrschwerhörigkeit Messverfahren zur Bestimmung des Rekrutments eingesetzt werden. Ein Rekrutmentphänomen liegt vor, wenn bei Wiedergabelautstärken unterhalb der erhöhten Hörschwelle Sprache nicht wahrgenommen werden kann, oberhalb der Hörschwelle eine Erhöhung des Sprachpegels zu einem überproportionalen Lautheitsanstieg führt (Kollmeier et al. 1997). Die Ursache für diesen pathologischen Lautheitsanstieg liegt in einer Schädigung der äußeren Haarzellen. Bei Normalhörenden wird durch die aktive Funktion der äußeren Haarzellen der große Dynamikbereich natürlich vorkommender akustischer Signalpegel in einen relativ kleinen Bereich von Auslenkungen auf der Basilarmembran komprimiert. Bei Ausfall dieser Funktion liegen die Auslenkungen für kleine Eingangspegel unterhalb der Wahrnehmungsgrenze, während bei mittleren Eingangspegeln die

Wahrnehmungsgrenze überschritten wird und der gesamte Bereich der Wahrnehmung von mittleren Pegeln bis hin zu hohen Pegeln überstrichen wird (Kollmeier et al. 1997). Dies führt zu einer größeren Steigung der Lautheitsfunktion, die zum Beispiel mit der Hörfeldskalierung erfasst werden kann. Mögliche Ursachen für eine Schädigung der Haarzellen sind vielfältig. Schalltrauma, Stoffwechselstörungen (z.B. Diabetes mellitus), altersbedingte Degenerationserscheinungen sowie ototoxische Medikamente (z. B. Aminoglykosidantibiotika) zählen dazu (Kollmeier et al. 1997). Anderes als bei einigen Vogelarten können sich Säugetierhaarzellen nach einmaliger Schädigung nicht wieder erholen bzw. neue Zellen nachwachsen, so dass sich eine Innenohrschädigung bisher einer kausalen Therapie entzieht (Kollmeier et al. 1997).

Es gibt diverse psychoakustische und objektive Hörtests zum Nachweis einer einseitigen oder beidseitigen Schwerhörigkeit, wobei die meisten nur die Schädigung beurteilen, aber keine Aussage über das Ausmaß des Rekrutments machen.

Der Hörakustiker trifft anhand der Untersuchungsergebnisse eine Vorauswahl des Hörgerätes. Die Feinanpassung sowie die hörakustische Nachbetreuung der Patienten ist ebenso Aufgabe des Hörgeräteakustikers (Schorn 1994b). Die Auswahl und Einstellung eines „idealen“ Hörgerätes sollte möglichst die Kompensation wichtiger auditorischen Fehlfunktionen anstreben. Heute verfügbare Hörgeräte können den Hörverlust ausgleichen, indem Signale (z.B. Sprache) frequenzspezifisch verstärkt und in ihrer Dynamik an den Restdynamikbereich des Hörgeräteträgers angepasst werden (Kießling et al. 1997). Mit Hörgeräten, die in diesem Sinne angepasst werden, soll bei Freifelddarbietungen mit einem Schallpegel von 65 dB etwa ein Sprachverständnis erreicht werden, das der Verstehensquote beim Pegel bester Verständlichkeit (dB opt) im Sprachaudiogramm im unversorgten Zustand über Kopfhörer entspricht (Kießling et al. 1997).

Die Ermittlung der erforderlichen Hörgeräteverstärkung als Funktion der Frequenz (Zielwiedergabekurve), möglichst in Abhängigkeit vom Eingangspegel, stellt eine fundamentale Aufgabe der Hörgeräteakustik dar. Verschiedene Wissenschaftler entwickelten Berechnungsformeln und unzählige Vorschläge zur Vorauswahl der Hörgerätegruppe nach der Frequenzcharakteristik des

Tonschwellenaudiogramms, die sich teilweise widersprechen (Schorn 1994b). Nur in sehr grober Näherung kann die benötigte wirksame akustische Verstärkung (insertion gain) mit Hilfe von Berechnungsformeln auf der Basis der Hörschwelle gelöst werden (Kießling et al. 1997). Einige Beispiele für Berechnungsformeln dieser Art lieferten Berger, POGO, und NAL (McCandless et al. 1983, Berger et al. 1989, Byrne und Dillon 1986). Die Formeln basieren auf statistischen Mittelwerten und liefern einen Verstärkungsbedarf. Der individuellen überschwelligen Lautheitsentwicklung tragen diese Formeln jedoch in keiner Weise Rechnung (Kießling et al. 1996). Die Bestimmung des Verstärkungsbedarfs mit Hilfe des Isophonendifferenzmaßes kommt diesem Anspruch schon näher, indem die Isophone durch 2:1- Teilung des Restdynamikbereiches für Sinustöne approximiert werden (Keller 1980a, 1988). Als Isophone bezeichnet man Lautstärkepegel verschiedener Frequenzen, die zu Linien gleicher Lautheit - genannt *Isophone* - ermittelt und zusammengestellt werden. Synonym wird auch der Begriff „Kurve gleicher Pegellautstärke“ verwendet. Aus dem Verlauf der Isophone ist zu vernehmen, dass Sinustöne bei einer Frequenz von beispielsweise 1000 Hz ab 4 dB SPL wahrgenommen werden. Umgangssprache findet ungefähr auf einem Niveau zwischen 50-75 dB SPL statt, die Schmerzschwelle wird bei ca. 130 dB SPL erreicht. Frequenzen unterhalb 250 Hz benötigen für gleichartige Lautheitsbewertungen höhere Schalldruckpegel.

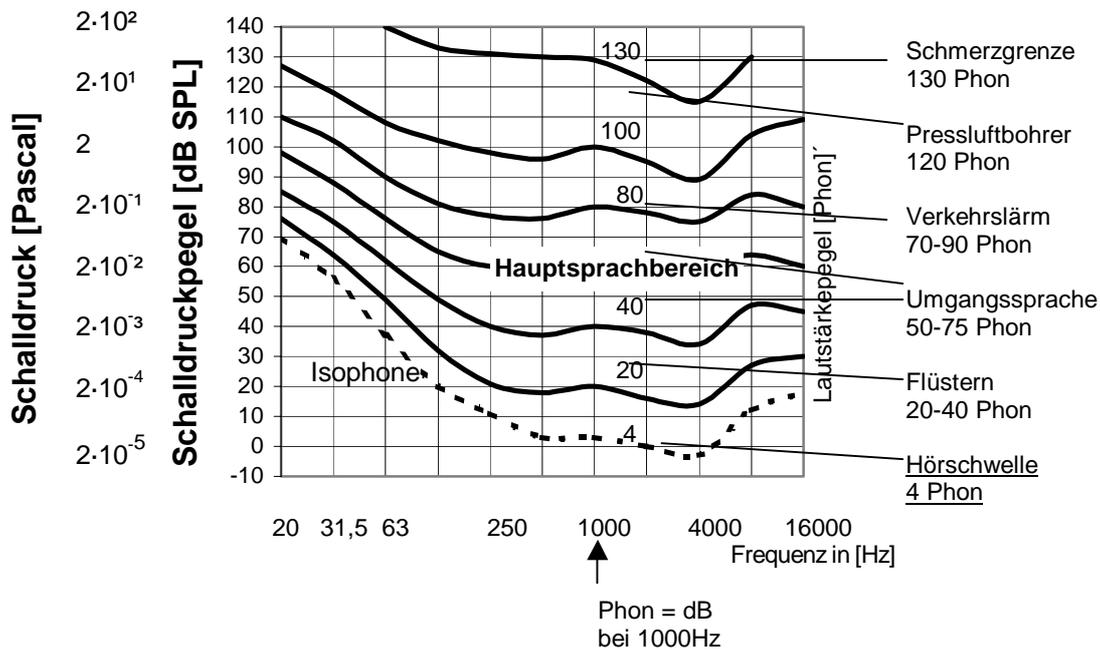


Abb. 1: Ruhehörschwelle (gestrichelt) und Kurven gleicher Pegellautstärke (Isophonen). Mit zunehmenden Pegel werden die Isophonen flacher (Kießling et al. 1997).

Das Isophonendifferenzmaß entspricht dem Abstand der Isophonen angenehmen Hörens des Schwerhörigen (MCL) zur 75-phon-Kontur des Normalhörenden (Kießling et al. 1997). Bei dem von Keller vorgeschlagenem Verfahren wird die frequenzabhängige Restdynamik zwar individuell berücksichtigt, doch werden die Isophone lediglich durch einen Pauschalansatz ermittelt (Kießling et al. 1997).

Eine der individuellen Hörfläche entsprechende Hörgeräteanpassung ist insbesondere im Hinblick auf die Anpassung von Mehrkanalgeräten, nichtlinearen Geräten oder anderen komplexen Verstärkungssystemen unverzichtbar (Kießling et al. 1997). Zur Kompensation des Rekrutmentphänomens bei Innenohrschwerhörigkeit ist eine Frequenz- und Eingangspegel-abhängige Verstärkung der Eingangssignale (mit Dynamikkompensation) notwendig (Kießling et al. 1997). Während

ein lineares Hörgerät nur bei einem bestimmten Pegel eine an den Hörverlust optimal angepasste Verstärkung liefert, lässt sich eine Breitbanddynamikkompression (im Gegensatz zur Mehrkanalkompression) nur bei relativ gering frequenzabhängigem Hörverlust einsetzen (Kießling et al 1997). Da der Einfluss einer Reihe von Hörgeräteparametern, wie Zeitkonstanten, Kompressionscharakteristiken, Anzahl und ggf. Verkopplung der Mittenfrequenzkanäle, noch nicht ausreichend erforscht sind und auch die Beurteilungskriterien für eine „optimale“ Rekrutmentkompensation schwer handhabbar sind, ist mit weiteren Entwicklungen auf diesem Gebiet zu rechnen (Kießling et al. 1997). Auf psychoakustische Modellvorstellungen beruhende Kompressionsalgorithmen besitzen dabei eine gewisse Attraktivität.

Letztendlich ist festzustellen, dass eine optimale Abstimmung zwischen Hörgerät und Hörverlust, heute und auch in absehbarer Zukunft zur Erzielung des bestmöglichen Versorgungsgewinnes unverzichtbar ist. Die Anpassung muss auf validen Kriterien zur Beurteilung des Versorgungserfolges beruhen. Dafür ist die Orientierung allein an den Befunden der Ton- und Sprachaudiometrie nicht ausreichend. Es sind weitere Verfahren zur Evaluation des Versorgungserfolges erforderlich. Diese sollten möglichst mehrere Verarbeitungsebenen des auditorischen Systems erfassen und auch eine Prüfung des Gehörs ermöglichen. Hierfür bieten sich insbesondere Sondenmikrofonmessungen, Sprachaudiometrie in Ruhe und im Störschall und besonders die Hörfeldaudiometrie zur systematischen Erfassung des subjektiven Hörempfindens an (Lehnhardt 1996).

2 MATERIAL UND METHODIK

Der Versuchsaufbau lehnt sich an die Methode „Würzburger Hörfeld“ nach Heller an (siehe 1.1) und an das darauf basierende inzwischen kommerziell erwerbliche System zur Hörflächenskalierung „Würzburger Hörfeld“ WHF© (WESTRA ELECTRONIC GmbH). Dieses System kommt als Instrument zur Analyse des Hörvermögens bei Durchführung und Überprüfung von Hörgeräteanpassungen bereits in verschiedenen Kliniken zum Einsatz. Die Methode „Würzburger Hörfeld“ (WHF) ermöglicht die Bestimmung des subjektiven Lautheitsempfinden in einem Schallpegelbereich zwischen 10 dB und 120 dB. Mittels einer Freifelddarbietung über Lautsprecher werden den Patienten dabei schmalbandige Rauschsignale (Terzbandrauschen) zwischen 500 Hz und 4000 Hz angeboten.

2.1 Der computergesteuerte Messplatz

Der Messplatz wurde am Lehrstuhl für Mensch–Maschine-Kommunikation der TU München für psychoakustische Experimente entwickelt und in einer Audiometrikabine der Audiometrieabteilung des Klinikum Großhaderns installiert (Gottschling et al. 1998). Er ermöglicht es, beliebige Testschalle direkt über einen Computer auszugeben und die Skalierungsdaten der Patienten wiederum in den Rechner einzulesen. Der Patient befand sich innerhalb eines 2m² großen schallgedämpften Raumes. Er saß auf einem Stuhl mit Armlehnen und Kopfstütze in einem Meter Abstand zum Lautsprecher (Westra LAB 501), aus welchem die zu beurteilenden Schalle abgestrahlt wurden. Die Höhe der Lautsprecherbox konnte so reguliert werden, dass sie sich auf Ohrhöhe des Patienten befand. Der Patient saß der Box mit dem Gesicht frontal gegenüber. Beide Ohren hatten den gleichen Abstand zur Schallquelle.

Abbildung 2 zeigt das Blockschaltbild des Messaufbaus. Sowohl der Computer als auch der Untersucher befanden sich außerhalb der Kabine. Die Voraussetzungen waren somit identisch mit der Versuchsanordnung nach Kopf (Kopf 2004).

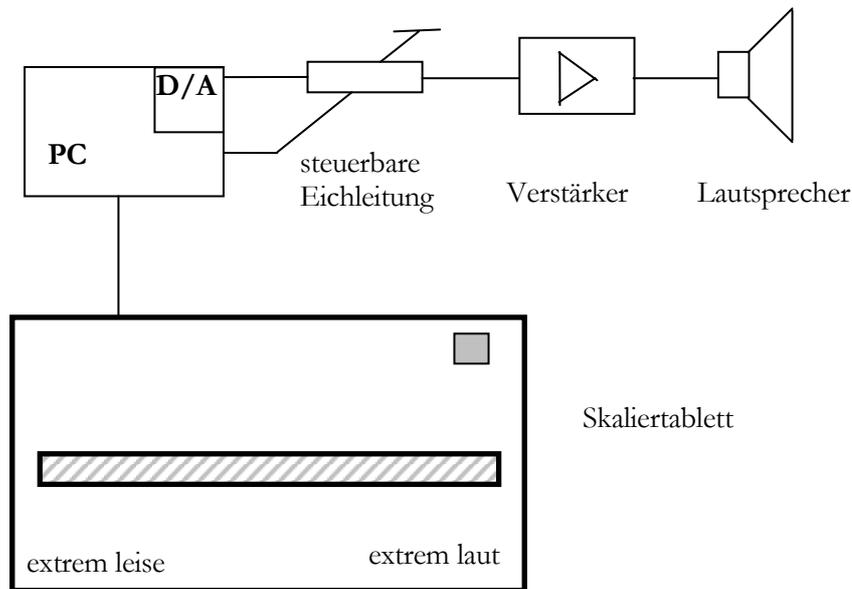


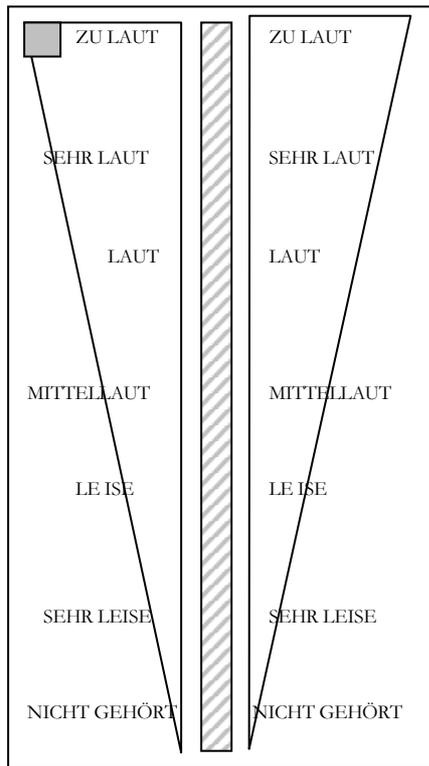
Abb. 2: Der computer-gesteuerte Messplatz.

Die Schalle wurden vor Versuchsbeginn so aufgezeichnet, dass der Quantisierungsbereich, unter Berücksichtigung einer für Rauschsignale notwendigen Reserve, möglichst gut ausgenutzt wurde. Eine digital steuerbare Eichleitung diente zur Dämpfung des ausgegebenen Signals in 0,1 dB Schritten in einem Bereich von 0 bis 80 dB um den gewünschten Wiedergabepegel des Testsignals zu erzeugen (Gottschling et al. 1998).

2.2 Die „Methode der Linienlänge“

In der Hand hielt der Patient das Skaliertablett. Dieses wurde von uns in Anlehnung an die Firma Westra modifiziert. (Abb. 3); ein 30 x 20 cm großes Kunststoffbrett mit einer berührungssensitiven, 270 mm langen und 15 mm breiten Streifenskala in der Mitte. Diese Skala war unbeschriftet. Als Orientierungshilfe waren nur die beiden äußeren Skalenenden mit “extrem leise” an der linken Seite und “extrem laut” an der rechten beschriftet.

das WHF©-Tablett



das modifizierte Tablett

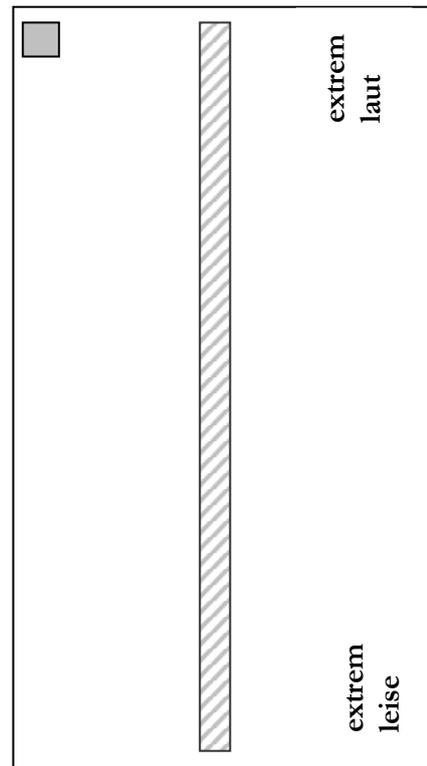


Abb. 3: Links ist das WHF©-Tablett gezeigt, rechts das modifizierte Tablett der „Methode der Linienlänge“.

Dies sind die ersten Tests zur Lautheitswahrnehmung bei Schwerhörigen in dieser Art. Wir bezeichneten diese neue Methode als „Methode der Linienlänge“, da der Patient hier erstmals die Möglichkeit hat wie auf einem Lineal jeden Punkt der Skala zu benutzen. Es gibt keine verbale Einteilung der Skala mehr; die Skala wird in mm Linienlänge eingeteilt.

2.3 Versuchsablauf

Nachdem der Patient über die Untersuchung mündlich informiert wurde und mit dem Ablauf vertraut war, wurden seine persönlichen Daten, wie Alter und Geschlecht und die Art der Schwerhörigkeit in den Rechner eingegeben. Bei einseitig schwerhörenden Patienten wurde das jeweils besser hörende Ohr mit einer aushärtenden Silikonabdruckmasse verschlossen („Permadyne Granat 2:1 Polyäther Abformmasse, ESPE, Seefeld), indem die Masse in flüssigem Zustand in den Gehörgang eingespritzt wurde. Nach einer Wartezeit von ca. fünf Minuten war die Plastik erhärtet. Durch den Ohrverschluss ergibt sich eine Schalldämpfung von 40 bis 50 dB, so dass nur Lautstärkebewertungen des zu untersuchenden Ohres in die Untersuchung eingingen (siehe hierzu 3.1 Untersuchung zum Ohrverschluss).

Der Patient nahm seinen Platz ein, die Doppeltüre zum schallgedämpften Raum wurde verschlossen und die Schallausgabe begann. Die Reihenfolge der Schalldarbietung wurde über die im Anhang aufgeführte Versuchsablaufliste gesteuert.

Die Darbietungsdauer der Testschalle betrug einheitlich 2,2 Sekunden. Dann hatte der Patient vier Sekunden Zeit, die wahrgenommene Lautstärke des Testschalls über das Skaliertablett einzugeben. Dazu drückte er den Kontaktstreifen des Tablett mit dem Zeigefinger an einer Stelle zwischen den beiden Endpunkten. Die Schalldarbietung konnte durch vorzeitige Eingabe eines Skalierungswertes nicht unterbrochen werden. Bei Überschreiten des Zeitraums für die Eingabe wurde der Skalierungswert zu „0“ und damit als „extrem leise“ registriert. Der ermittelte Skalierungswert wurde in eine Datei des Rechners aufgenommen, und die Ausgabe des nächsten Testschalls begann.

Der Pegelbereich reichte von 30 dB bis 90 dB in 5 dB Schritten bei den Mittenfrequenzen des Terzrauschens von 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz. Eine Untersuchung dauerte ca. 15 Minuten. Es standen insgesamt 52 Testschalle zur Beurteilung, diese wurden geordnet nach Mittenfrequenzen dargeboten. Eine Ausnahme bildeten die vier ersten Schalle, welche nicht in die Bewertung eingingen. Sie dienten dem Patienten als Orientierungshilfe zum Abschätzen des Lautheitsbereiches im Untersuchungsablauf.

Der Ablauf wird im Folgenden kurz geschildert:

Zunächst wurde die Mittenfrequenz auf 500 Hz konstant gehalten und das Terzrauschen mit 13 verschiedenen Pegeln, die randomisiert gewählt worden sind, dargeboten. Anschließend wurde die Mittenfrequenz auf 1000 Hz, dann auf 2000 Hz und schließlich auf 4000 Hz gesetzt. Die randomisierte Pegelreihenfolge wurde in einer Abspielliste festgehalten, d.h. die Reihenfolge war bei jeder erneuten Darbietung des Experiments identisch. Diese Methode erlaubt also die Untersuchung der Auswirkung auf die Lautstärkeskalierung bei der Variation nur eines Parameters, nämlich des Pegels.

Hier besteht ein Unterschied zum Würzburger Hörfeld, bei welchem sowohl Mittenfrequenzen wie auch Pegel verwürfelt dargeboten werden.

2.4 Patientenauswahl

Einschlusskriterien für die Aufnahme in die Studie waren eine Schwerhörigkeit von >20 dB auf mindestens einem Ohr bei den Mittenfrequenzen 500, 1000, 2000 oder 4000 Hz (bei Tinnitus auch ohne messbare Hörminderung), sowie ein Alter zwischen 10 und 75 Jahren. Insgesamt nahmen 75 Schwerhörige an den Untersuchungsreihen teil. Darunter waren 33 weibliche und 42 männliche Patienten. Das Alter der Personen lag zwischen 10 und 72 Jahren, wobei das Durchschnittsalter 48 Jahre betrug. Die Versuchspersonen rekrutierten sich aus schwerhörigen Patienten des Klinikum Großhadern der LMU München. Die Versuchspersonen wurden retrospektiv nach Art der vorliegenden Hörminderung in vier Arten der Schwerhörigkeit unterteilt. Es nahmen Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit und Hochtoninnenohrschwerhörigkeit, sowie Schalleitungsschwerhörigkeiten und Tinnitus ohne Hörverlust bzw. nur sehr geringem Hörverlust an den Versuchen teil. Bei allen Probanden lagen aktuelle Tonaudiogramme aus Voruntersuchungen vor, mit welchen sich die Art der Schwerhörigkeit schon vor Untersuchungsbeginn festlegen ließ. Die Patienten wurden vor dem Versuchsbeginn aufgefordert, ein eventuell vorhandenes Hörgerät abzulegen.

Da die meisten Hörverluste nicht symmetrisch sind, wurden auch Patienten mit einseitiger Schwerhörigkeit oder mit seitendifferentem Hörverlust in die Untersuchung aufgenommen. Um ein

Mithören des besseren Ohres zu vermeiden, wurde bei den Betroffenen dieses Ohr mit der Silikonabdruckmasse ausgefüllt (siehe 2.3).

3 ERGEBNISSE

Der Ergebnisteil ist untergliedert in die Untersuchungen zum Ohrverschluss mit Silikonabdruckmasse an Normalhörenden, die Untersuchungen der 75 schwerhörigen Patienten nach den verschiedenen Arten von Schwerhörigkeiten, sowie die Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der „Methode der Linienlänge“ im klinischen Alltag.

Als Diagrammdarstellung wurde die von Hellbrück und Heller vorgeschlagene Darstellung gewählt (Hellbrück 1985, Heller 1985) wobei anstelle der Einheit Categorical Units (CU) an der Y-Achse mm Linienlänge (mmLL) aufgetragen wurde (Baumann et al. 1998). Die X-Achse bezieht sich auf den Schalldruckpegel (dB SPL). Hier ist ein Unterschied zur tonaudiometrischen Pegelwiedergabe, welche in dB HL (Hearing Level, der genormten Hörverlustbestimmung für Tonhörschwellen) angegeben wird. Die Bezeichnung dB HL beschreibt die durchschnittliche menschliche Hörschwelle ermittelt aus den subjektiv gerade noch hörbaren Schallen, den physikalischen Schallpegel dabei außer acht lassend. Eine andere Methode der Quantifizierung des Schallpegels besteht in der Benutzung des auf die Hörschwelle bezogenen dB SL (Sensation Level) Maßes (Lehnhardt 1996).

3.1 Untersuchung zum Ohrverschluss

Bei den meisten Patienten ist die Schwerhörigkeit auf beiden Ohren verschieden stark ausgeprägt. Es wurde deshalb zu Beginn der Untersuchungen nach einer Möglichkeit gesucht, das Gehör nur eines Ohres in die Messungen einfließen zu lassen, um auch Patienten mit einseitiger oder seitendifferenzierter Hörstörung in die Arbeit aufnehmen zu können.

Viele Wissenschaftler beschäftigten sich bereits mit dem Phänomen der binauralen Lautheitssummation bei Normalhörenden (Fletscher und Munson 1933, Marks 1978, Reynolds und Stevens 1960, Scharf und Fishken 1970, Hawkins et al. 1987). Sie untersuchten den Unterschied zwischen dem monauralen und dem binauralen Lautheitseindruck mit Hilfe der Hörflächenskalierung bzw. dem monaural/binauralem Lautheitsvergleich. Mit Hilfe dieser Methoden kamen sie zu dem Ergebnis, dass sich die binaurale Lautheitssummation gegenüber der monauralen kaum unterschied, der Lautheitseindruck somit fast identisch ist (Hawkins et al. 1987).

Verschiedene andere psychoakustische Untersuchungen und Publikationen geben aber Hinweise auf einen Zuwachs des Lautheitseindrucks im Vergleich zwischen ein- und beidohriger Schalldarbietung (Kießling et al. 1997). Deshalb musste zu dieser Untersuchungsmethode ein Vorversuch durchgeführt werden. Dieser sollte im Voraus klären, ob durch eine Blockade des normalhörenden oder besserhörenden Ohres eine wesentliche Veränderung der Lautheitsbewertung gegenüber der binauraler Darbietung auftreten würde. Der Vorversuch wurde an sechs Normalhörenden vorgenommen, deren Hörschwelle im Tonaudiogramm bei den Frequenzen 500 Hz bis 4000 Hz bei 10 dB HL oder besser lag. Die Probanden rekrutierten sich aus Studenten der LMU München und hatten ein Alter zwischen 23 und 26 Jahren. Es nahmen zwei weibliche und vier männliche Probanden an der Untersuchung teil. Das Probandenkollektiv führte den Hörversuch dreimal durch, wobei der erste Durchgang ohne Ohrverschluss, der zweite mit einseitigem und der dritte mit beidseitigem Verschluss vorgenommen wurde. Der Gehörgang der Ohren wurde dafür mit einer Silikonabdruckmasse (S.14) ausgegossen. Nach ca. fünf Minuten war die Masse ausgehärtet.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Diagramme zeigen die Bewertungsergebnisse in mm Linienlänge (mmLL) aufgetragen gegen den Wiedergabepegel in dB SPL, für die vier geprüften Mittenfrequenzen. Gezeigt sind die Kurven ohne (Kreis), mit ein-(Viereck) und beidseitigem (Raute) Ohrverschluss.

Bei der Mittenfrequenz 500 Hz wird bei 35 und 40 dB mit einseitigem Verschluss um 11,7 mmLL, zu 60 dB um 18,45 und zu 85/90 dB um 12,15 mmLL höher bewertet, ansonsten liegt annähernde Deckungsgleichheit vor. Der zweiseitige t-Test für abhängige Stichproben, welcher Punkt für Punkt durchgeführt wurde, zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Bewertung zwischen binauraler und monauraler Pegellautheitsfunktion.

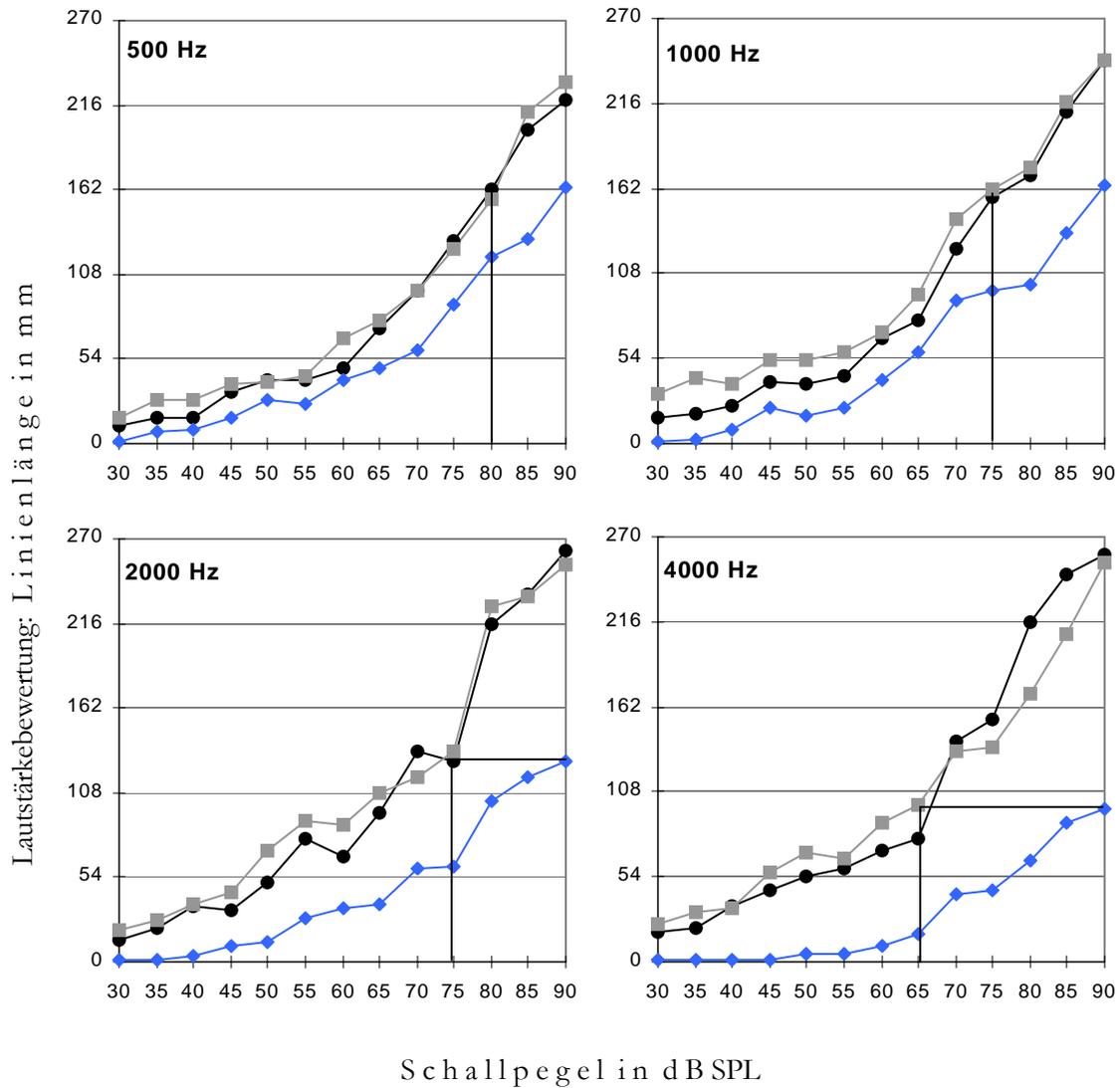


Abb.4: Lautstärkebewertung erfasst mit der „Methode der Linielänge“. Gezeigt sind die Mediane der Lautheitsbewertungen ohne (Kreis), mit ein- (Viereck) und beidseitigem (Raute) Ohrverschluss durch Silikonabdruckmasse von sechs normalhörenden Probanden bei Freifeldarbeit von Terzrauschen mit angegebenen Mittenfrequenzen. Angabe der empfundenen Lautstärke durch Einteilung einer 270 mm langen Linie mit Referenzpunkten 0 mm (extrem leise) und 270 mm (extrem laut). Die waagrechten Linien geben die Differenz zwischen ein- und beidseitigem Ohrverschluss in dB wieder.

Bei 1000 Hz liegt die Bewertung der Geräusche durch einseitigen Verschluss bis 50 dB um ca. 16,29 mmLL über denen der nicht Verschlussenen. Ab 60 dB erfolgt Annäherung, ab 75 dB Deckung der Kurven. Der zweiseitige t-Test für abhängige Stichproben (Punkt für Punkt) zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Bewertung zwischen binauraler Pegellautheitsfunktion und monauraler.

Der Vergleich bei 2000 Hz zeigt einen sehr nahe beieinander liegenden Verlauf der Kurven, wobei die Kurve beim einseitigen Verschluss im Bereich 45 dB bis 65 dB um ca. 15,3 mmLL parallel nach oben verschoben ist. 70 dB wird von den Patienten um 16,65 mmLL niedriger bewertet, bis 90 dB liegt Deckungsgleichheit vor. Der zweiseitige t-Test für abhängige Stichproben zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Bewertung zwischen binauraler Pegellautheitsfunktion und monauraler.

Bei 4000 Hz liegen die Ergebnisse zu 50, 60 und 65 dB des einseitigen Verschlusses um durchschnittlich 17,85 mmLL oberhalb, zu 75 dB bis 85 dB um bis zu 33,37 mmLL unterhalb der Ergebnisse der nicht verschlossenen Ohren. Der zweiseitige t-Test für abhängige Stichproben zeigte keinen signifikanten Unterschied in der Bewertung zwischen binauraler Pegellautheitsfunktion und monauraler.

Als Ergebnisse zum Ohrverschluss zeigen sich sehr geringe Differenzen im Vergleich der Kurven ohne und mit einseitigem Verschluss. Dies entspricht der Beobachtung von Hawkins et al. 1987. Ob dieses Ergebnis auch auf schwerhörige Patienten übertragen werden darf, wird in der Diskussion noch näher erörtert.

Aus der Steigung der Pegellautheitsfunktion bei beidseitigem Ohrverschluss zeigt sich, dass der Verschluss der Ohren mit Silikonabdruckmasse bei höheren Mittenfrequenzen effektiver ist. Die durchschnittliche Verschiebung, errechnet aus der Differenz der mittleren Lautstärkebewertung der Probanden im Vergleich zum einseitigen Ohrverschluss, beträgt bei 4000 Hz 78,3 mmLL. Bei tiefen Mittenfrequenzen (500 Hz) liegt die durchschnittliche Verschiebung bei 26,8 mmLL.

Bei der Mittenfrequenz 500 Hz kann ein Normalhörender bis zu einem Pegel von 40 dB bei beidseits verschlossenen Ohren gar kein Geräusch wahrnehmen. Ab 45 dB hört er trotz Silikon-Ohrverschluss

ein Geräusch und empfindet dieses leiser als ohne Ohrverschluss. Die Kurve verläuft bis 90 dB immer unter derjenigen der Normalhörenden, was bedeutet, dass der Proband mit der Masse im Ohr insgesamt alles gedämpft hört. Bei 2000 Hz beträgt die Dämpfung durch das Silikon ca. 50 dB, bei 4000 Hz sogar 60 dB. Für die Anwendung bei Schwerhörigen mit seitendifferentem Gehör bedeutet dies, dass bei 500 Hz und 1000 Hz ab einer Seitendifferenz von mehr als 40 dB, bei 2000 Hz ab einer Seitendifferenz von mehr als 50 dB und bei 4000 Hz ab einer Seitendifferenz von mehr als 60 dB das besserhörende Ohr maßgeblich den Lautheitseindruck bestimmt. Die Ergebnisse sind bei derart großen Seitendifferenzen nicht mehr nur vom getesteten Ohr bestimmt, sondern auch das nicht geprüfte Ohr trägt zur gesamten Lautheitsempfindung bei.

Die Methode des einseitigen Ohrverschlusses bei asymmetrischem Hörverlust stellt sich somit bis zu einer gewissen Seitendifferenz des tonaudiometrischen Hörverlusts als wirkungsvoll dar. Aus den Diagrammdarstellungen in Abbildung 4 wurden Werte der Hörverlustdifferenz für die jeweilige Mittenfrequenz ermittelt, bis zu welchen ein Abdichten des besseren Ohres sinnvoll eingesetzt werden kann. Diese Werte wurden in Abbildung 4 durch die waagrechten Linien wiedergegeben.

Mittenfrequenz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Verschlusseffekt	10 dB	15 dB	15 dB	25 dB

Tab. 1: aus Abb. 4 ermittelter Verschlusseffekt zwischen ein- und beidseitigem Ohrverschluss aus der Differenz der Linienlängen.

Der Verschlusseffekt durch Einbringen der Silikonmasse aus Tabelle 1 erscheint relativ gering, ist aber sicher als Mindestdämpfung zu verstehen.

Im folgenden sind die Lautheitsfunktionen bei einseitigem Ohrverschluss der sechs Versuchspersonen mit den Interquartilbereichen dargestellt, um einen Überblick über die Streuung der Ergebnisse und damit den von den Probanden gewählten Bereich auf dem Tablett zu erhalten.

Während bei mittleren Pegelwerten die Interquartilbereiche eine große Spannweite (Größe im Mittel) aufweisen, sind sich die Probanden bei den extrem leisen und lauten Tönen in ihrer Lautheitseinschätzung mehr einig und die Interquartilbereiche somit enger.

Beim beidseitigen Ohrverschluss ist die Spanne der Interquartilbereiche auch bei hoher Pegelwiedergabe groß. Die Hörschwelle ist durch die mittels der Silikonmasse eingebrachten Dämpfung für den sonst normalhörenden Probanden erhöht und er empfindet somit sehr hohe Pegel nicht als laut, sondern als mittellaut. Er benutzt für die Einstufung bei hohen Wiedergabepegeln eher den mittleren Tablettbereich, welcher keinerlei Beschriftung oder Skalierung als Orientierung aufweist. Daraus ergeben sich offensichtlich größere Schwankungen der Lautheitsbewertung. Ein ähnliches Ergebnis wird bei der Untersuchung der Lautheitsempfindung von Schalleitungsschwerhörigen (Abschnitt 3.2.3) zu beobachten sein.

Die Lautheitsbewertung von Normalhörenden wurde bereits von Kopf (Kopf 2004) beschrieben und bestätigt sich hier deutlich. Es zeigen sich Verläufe, die als zwei aneinander gelegte Geraden mit verschiedenen Steigungen beschreibbar sind. Vergleicht man die Steigungen der hier vorgestellten Daten mit den von Kopf vorgelegten Geraden lassen sich sowohl für die binaurale als auch die monaurale Lautheitsbewertung ähnliche Steigungen beobachten. Die Pegellautheitsfunktionen lassen sich durch zwei Geraden beschreiben: unterhalb 60 dB mit niedriger Steigung von ca. 1,8 mmLL/dB, und einer höheren von ca. 6,4 mmLL/dB nach 60 dB. Ebenso kann diese Zweiteilung der Pegellautheitsfunktion bei beidseitigem Ohrverschluss mit der Silikonabdruckmasse festgestellt werden, allerdings muss hier der Knickpunkt der Geraden durch die zusätzliche Dämpfung anders gewählt werden und entsprechend den Werten aus Tabelle 1 nach oben verschoben werden.

In Abbildung 7 sind die nach linearer Regression entwickelten Geraden ohne Ohrverschluss (schwarz), mit einseitig verschlossenem Gehörgang (grau) und mit beidseitig verschlossenem Gehörgang (gestrichelt) durch Silikonabdruckmasse dargestellt (n=6). Bei beidseitigem Ohrverschluss müssen die Knickpunkte der Geraden entsprechend Tab. 1, S. 21 verschoben werden.

Zu 500 Hz werden, bei beidseitigem Verschluss, die hohen Pegel deutlich niedriger bewertet, die schwachen Pegel nur leicht niedriger. Auch in den anderen Mittenfrequenzen ist die Steigung der Bewertungsfunktion beim beidseitigem Ohrverschluss deutlich geringer als bei einseitigem Verschluss. Sie beträgt ca. 0,9 mmLL/dB von 30-60 dB und ca. 3,6 mmLL/dB von 60-90 dB. In den Tabellen 2 bis 4 sind die Steigungen der Pegellautheitsfunktionen aufgeführt.

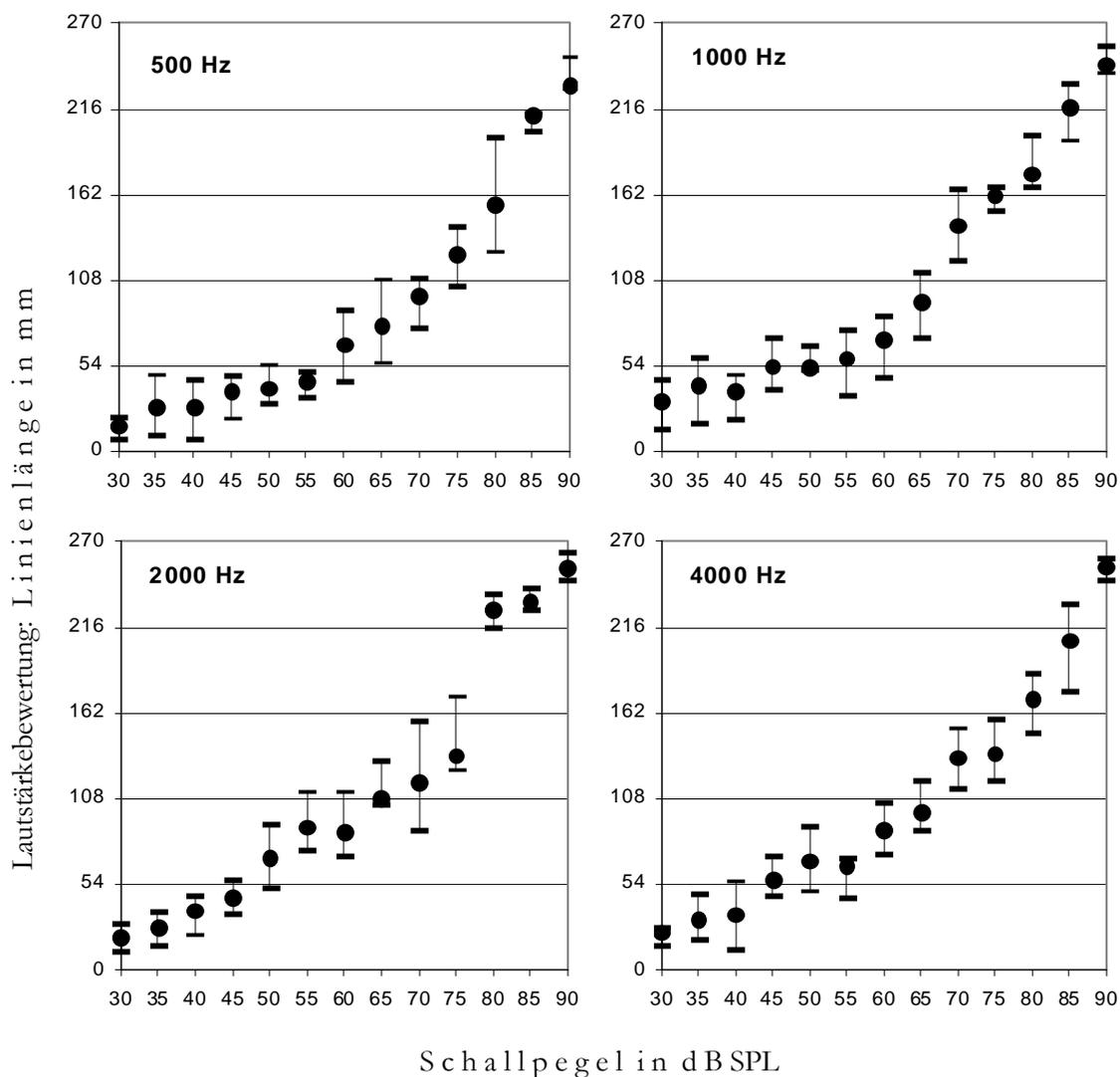


Abb. 5: Lautstärkebewertung Normalhörender erfasst mit der „Methode der Linienlänge“ bei einseitigem Ohrverschluss durch Siliconabdruckmasse. N=6 Probanden, Mediane und Interquartile, Freifelddarbietung mit Terzrauschen bei angegebenen Mittenfrequenzen. Angabe der empfundenen Lautstärke durch Einteilung einer 270 mm langen Linie mit Referenzpunkten 0 mm (extrem leise) und 270 mm (extrem laut).

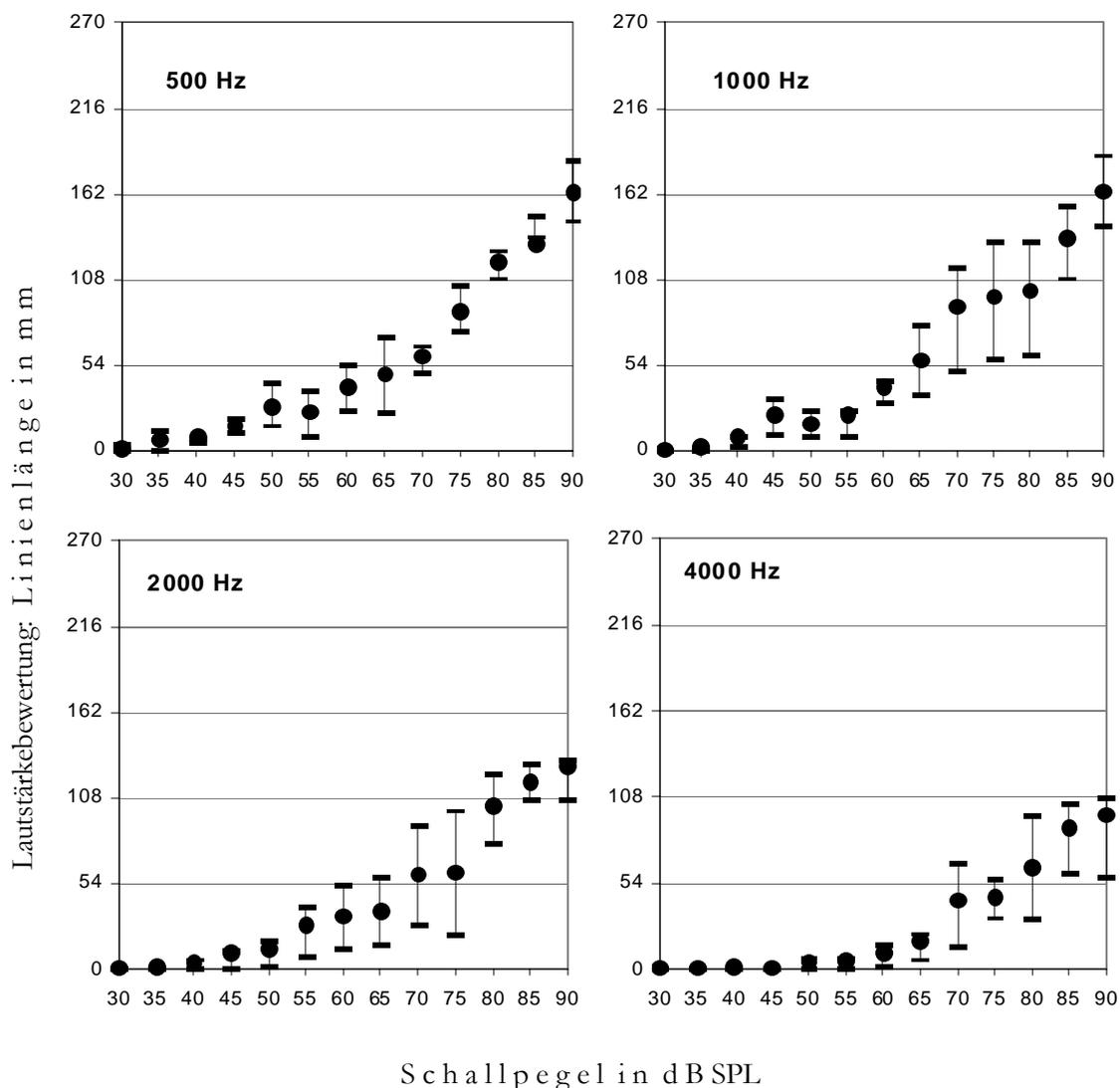


Abb. 6: Lautstärkebewertung Normalhörender erfasst mit der „Methode der Linienlänge“ bei beidseitigem Ohrverschluss durch Siliconabdruckmasse. N=6 Probanden, Mediane und Interquartile, Freifelddarbietung mit Terzrauschen bei angegebenen Mittenfrequenzen. Angabe der empfundenen Lautstärke durch Einteilung einer 270 mm langen Linie mit Referenzpunkten 0 mm (extrem leise) und 270 mm (extrem laut).

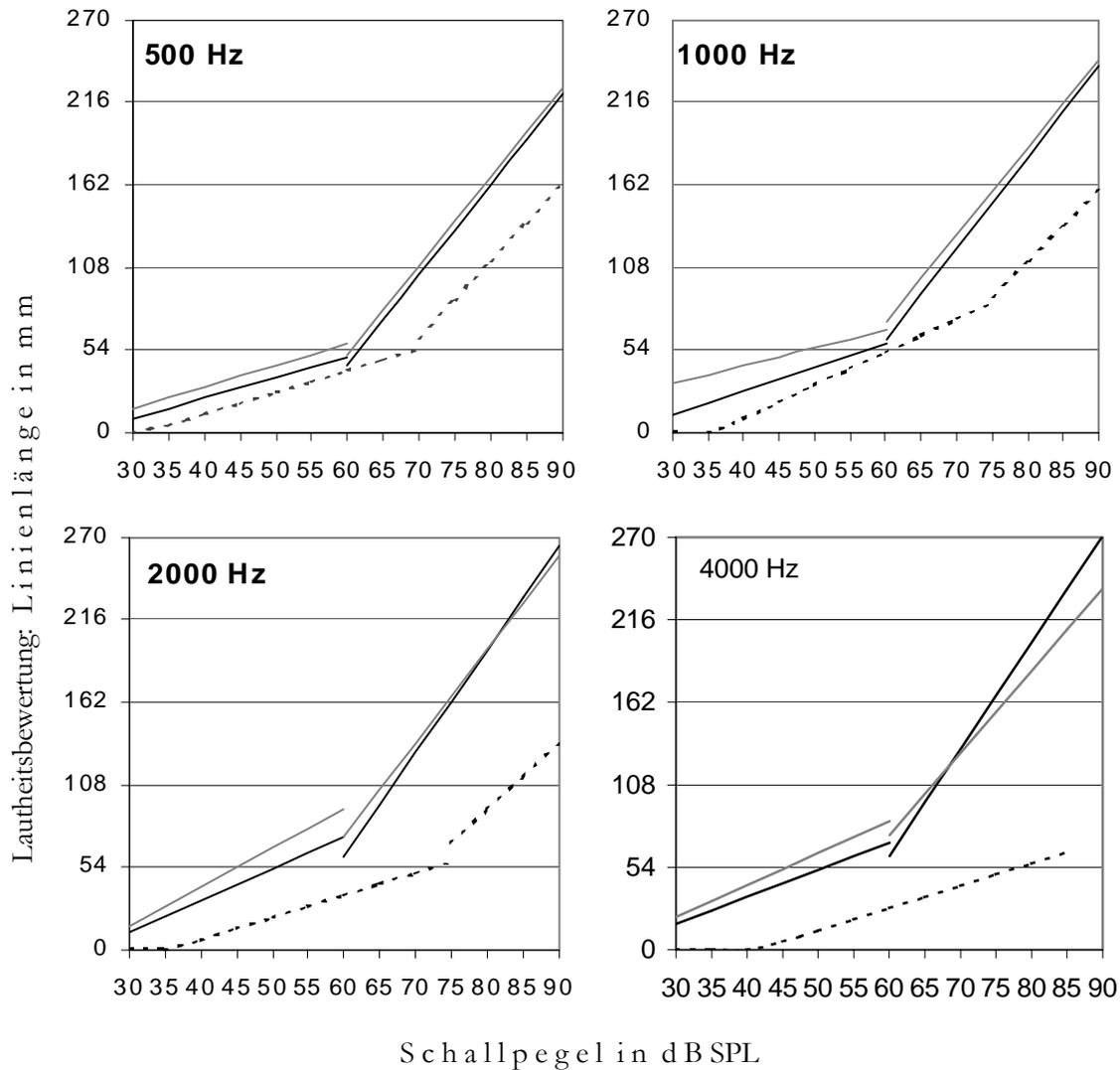


Abb. 7: Lineare Regression der Lautstärkebewertung Normalhörender bei normalem Gehör (schwarz), einseitigem Ohrverschluss (grau) und beidseitigem Ohrverschluss durch Silikonabdruckmasse (gestrichelt). Ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“, N=6 Probanden, Freifelddarbietung mit Terzrauschen bei angegebenen Mittenfrequenzen. Angabe der empfundenen Lautstärke durch Einteilung einer 270 mm langen Linie mit Referenzpunkten 0 mm (extrem leise) und 270 mm (extrem laut).

Mittenfrequenz in Hz	Pegelbereich in dB	Steigung (m) (mm/dB)	Pegelbereich in dB	Steigung (m) (mm/dB)
500	30-60	1,3	60-90	5,9
1000	30-60	1,5	60-90	5,9
2000	30-60	2,1	60-90	6,7
4000	30-60	1,7	60-90	6,9

Tabelle 2: Steigung der Trendlinien der Lautheitsfunktion in Abhängigkeit von Pegel und Mittenfrequenz **ohne** Ohrverschluss.

Mittenfrequenz in Hz	Pegelbereich in dB	Steigung (m) (mm/dB)	Pegelbereich in dB	Steigung (m) (mm/dB)
500	30-60	1,3	60-90	5,8
1000	30-60	1,8	60-90	5,7
2000	30-60	2,5	60-90	6,1
4000	30-60	2,1	60-90	5,3

Tabelle 3: Steigung der Trendlinien der Lautheitsfunktion in Abhängigkeit von Pegel und Mittenfrequenz mit **einseitigem** Ohrverschluss.

Mittenfrequenz in Hz	Pegelbereich in dB	Steigung (m) (mm/dB)	Pegelbereich in dB	Steigung (m) (mm/dB)
500	30-70	1,4	70-90	4,9
1000	30-75	2,0	75-90	4,6
2000	30-75	1,4	75-90	4,3
4000	30-85	1,3	keine Angaben	

Tabelle 4: Steigung der Trendlinien der Lautheitsfunktion in Abhängigkeit von Pegel und Mittenfrequenz bei **beidseitigem** Ohrverschluss.

3.2 Untersuchung Schwerhörender im Hörfeld

Die untersuchten Patienten wurden hinsichtlich ihres tonaudiometrischen Hörverlustes in Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe umfasste 21 Patienten mit Hochtoninnenoehrschwerhörigkeit, die zweite 24 Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit von ca. 40 dB Hörverlust, die dritte 15 Patienten mit einer Schalleitungsschwerhörigkeit und die vierte Gruppe 15 Patienten mit Tinnitus.

Diese Patientenkollektive sollen im weiteren getrennt behandelt werden. Die mit der „Methode der Linienlänge“ ermittelten Ergebnisse sind in den Abbildungen entsprechend dargestellt. In diese Diagramme sind Bezugsgeraden nach Kopf (Kopf 2004) zur Orientierung eingefügt. Diese Bezugsgeraden geben die durchschnittliche Lautheitsempfindung für die entsprechenden Schmalbandrauschsignale von Normalhörenden wieder. Die Daten wurden von Kopf in 123 Versuchsdurchläufen mit der „Methode der Linienlänge“ an 91 normalhörenden Probanden gewonnen. Zusätzlich zu den Darstellungen der gemittelten Patientendaten wird zu jedem Schwerhörigkeitstyp ein Fallbeispiel vorgestellt.

3.2.1 Innenohrhochtonschwerhörigkeit

Insgesamt führten 21 Hochtonschwerhörige den Hörversuch durch. Davon wurde bei zehn Patienten ohne Ohrverschluss gemessen, bei elf Patienten wurde jeweils ein Ohr mit Silikonabdruckmasse verschlossen.

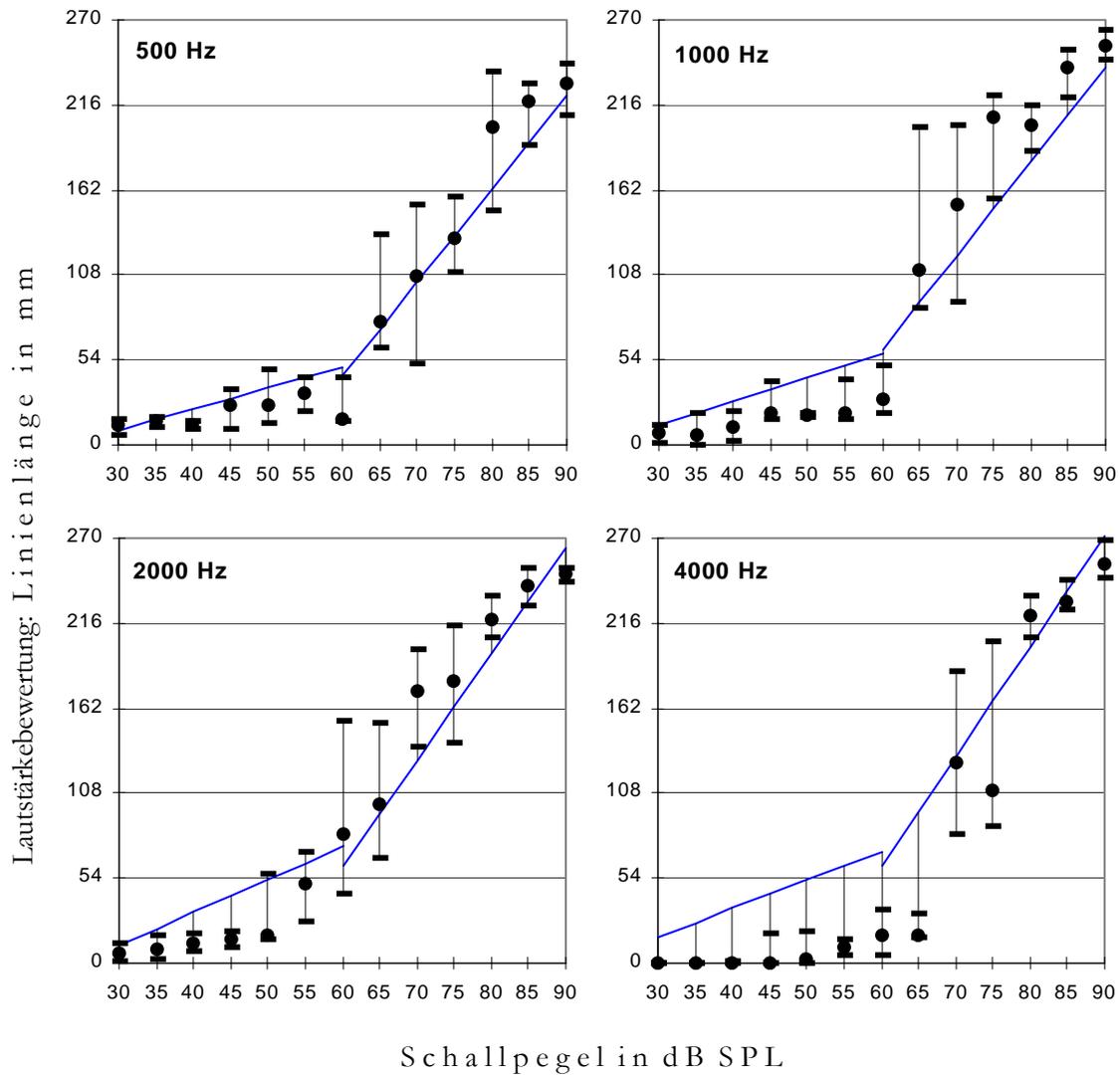
Die mittleren Tonhörschwellen sind in Tabelle 5 dargestellt. Für jede Testtonfrequenz wurde der Median, der Interquartilbereich, der Mittelwert, die Standardabweichung, sowie das Maximum und das Minimum der Hörschwellenwerte in dB HL der 21 Hochtonschwerhörigen aus dem Tonaudiogramm ermittelt.

Testtonfrequenz	Median dB	1.Quartil dB	3.Quartil dB	Mittelwert dB	Standardabw. dB	Min. dB	Max dB
500 Hz	10	8	8	8	6,9	3	30
1000 Hz	20	15	10	10	12,4	5	45
2000 Hz	30	27	45	45	17,0	5	67
4000 Hz	58	43	65	65	16,3	12	75

Tabelle 5: Median, Interquartilbereich, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum und Minimum der Hörschwellen in dB HL, ermittelt aus den Tonaudiogrammen von 21 Hochtonschwerhörigen.

Bei 500 Hz liegen die Mediane der Bewertungen dicht an der Bezugsgerade bis zum Pegel von 80 dB. Ab 80 dB beurteilen die Schwerhörigen den Ton lauter als die Hörgesunden. Es liegt also eine Hyperakusis bei den hohen Pegeln vor. Der Vergleich der Interquartilbereiche des hochtonschwerhörigen Kollektives mit den Interquartilbereichen der Normalhörenden (siehe Abb. 8, S. 28) zeigt eine große Streuung. Als Ursache für diese große Spannweite bei der Mittenfrequenz 4000 Hz ist die unterschiedliche Ausprägungen der Innenohrhochtonschwerhörigkeit bei den verschiedenen Patienten zu sehen. Während ein Patient eine Hörschwelle beispielsweise von 40 dB hat, liegt sie bei einem anderen bei 60 dB.

Bei 1000 Hz bewerten die Patienten die Pegel unter 65 dB deutlich leiser als die gesunden Probanden. Ab 65 dB liegt der Median der Hochtonschwerhörigen über dem der Gesunden. Einige Patienten greifen schon zu einer hohen Bewertung, was sich in der 3. Quartile zeigt. Auch hier finden sich bei den Pegeln 65 dB bis 75 dB sehr große Interquartilbereiche.



Schallpegel in dB SPL

Abb. 8: Lautstärkebewertung erfasst mit der „Methode der Linienlänge“ bei 21 Hochtonschwerhörigen. Mediane und Interquartilbereiche in mm Linienlänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

Bei 2000 Hz liegt der Median der Bewertungen bis 55 dB unterhalb denen Normalhörender. Bei 60 dB und 65 dB deckt sich der Median in etwa mit der Bezugsgeraden von Normalhörenden. Ab 70 dB liegen die Bewertungen deutlich oberhalb der Bezugsgeraden. Es zeichnet sich wie bei 1000 Hz Mittenfrequenz eine Hyperakusis im hohen Pegelbereich ab. Die Interquartilbereiche haben zwischen 50 dB und 75 dB sehr große Spannweiten, welche sich ab 80 dB verringern.

Bei 4000 Hz liegen alle Bewertungen bis 65 dB, inklusive 3. Quartile, unterhalb derer der Normalhörenden. Bei 70 dB trifft sich der Median mit der Bezugsgerade. Bei 75 dB liegt der Median wieder unterhalb normaler Bewertung, der Interquartilbereich nimmt zu. Dies ist möglicherweise auf eine rasch ansteigende Lautheitsempfindung einzelner Schwerhörender zurückzuführen, während andere Patienten aufgrund eines ausgeprägten Hörverlustes noch keinen Lautheitsaufbau zeigen. Der Median lässt in dem großen Sprung der Lautstärkebeurteilung von 75 dB auf 80 dB einen raschen Lautheitsausgleich zwischen dem Lautheitsempfinden des Patientenkollektives und den Bezugsgeraden der Normalhörenden erkennen. Diesen Lautheitsausgleich bezeichnet man als Rekrutmentphänomen. Es ist anzunehmen, dass viele dieser Hochtonschwerhörigen an einem Schaden der äußeren Haarzellen im Innenohr leiden (siehe Tab. 5: bei 4 kHz max. Hörverlust 75 dB).

Aufgrund der großen Interquartilbereiche wurde versucht, eine alternative Darstellung der Linienlängenbewertung zu finden. Bezogen auf die individuelle Hörschwelle der Patienten in der jeweiligen Frequenz wäre eine Auswertung über den „Sensation Level“ (dB SL) möglicherweise gewinnbringend. Dazu wurde die Hörschwelle jedes einzelnen Patienten aus dem Tonaudiogramm bestimmt. Der Wert der Pegellautheitsbestimmung, den der Patient nahe seiner Hörschwelle gerade noch wahrnimmt, wurde an den Anfang der X-Achse gesetzt. Die Einheit der X-Achse wurde somit von den absoluten Pegelstärken in dB SPL auf relative Werte in dB SL (Sensation Level) geändert.

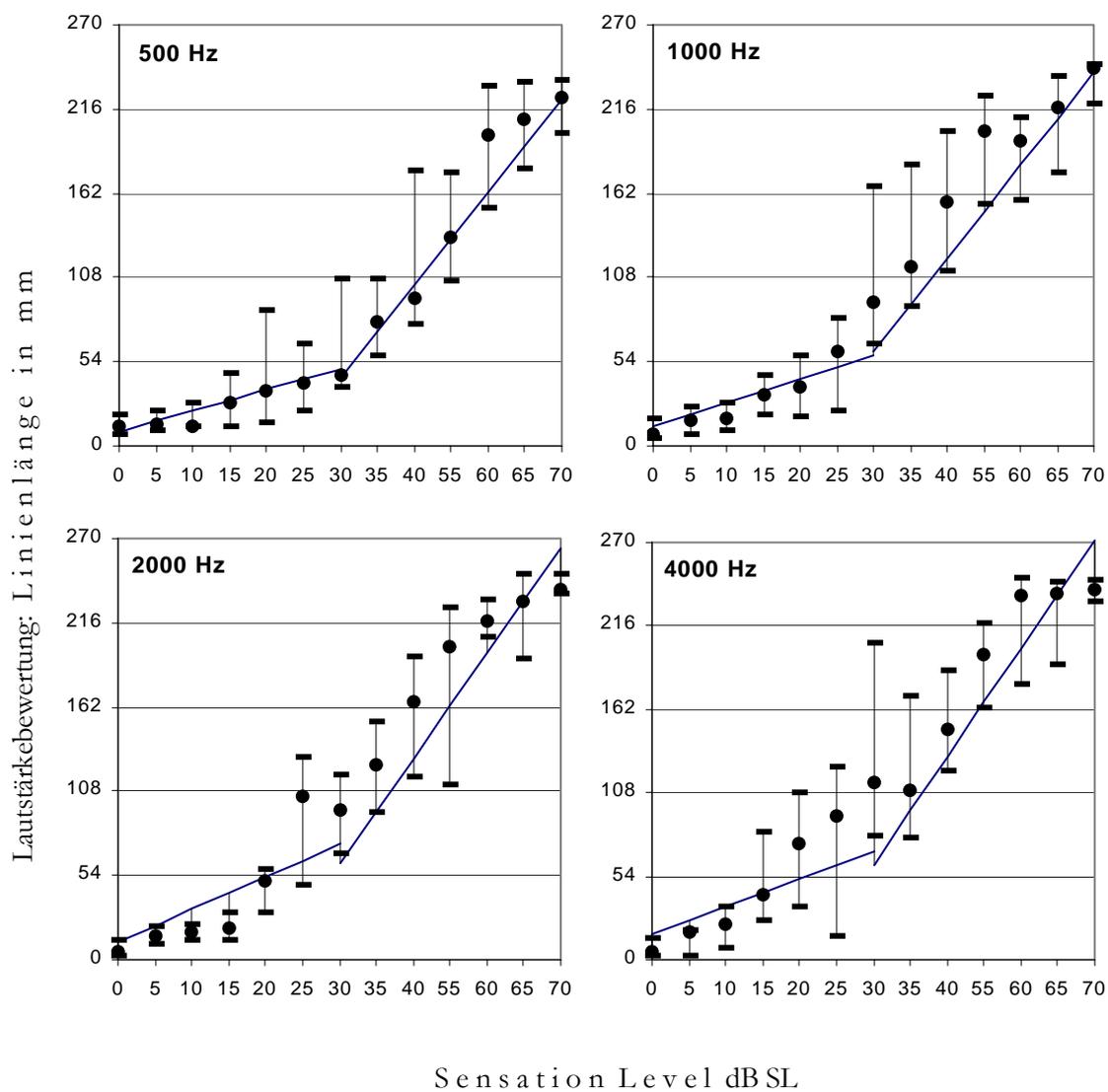


Abb. 9: Lautstärkebewertung erfasst mit der „Methode der Linienlänge“ bei 21 Hochtonschwerhörigen. Mediane und Interquartilbereiche in mm Linienlänge gegen den Sensation Level (dB SL). Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

In den Diagrammdarstellungen der Linienlängenbewertungen über dem „Sensation Level“ werden Schalle nahe der Hörschwelle in allen Mittenfrequenzen sehr niedrig bewertet, also als leise eingestuft. Ab dem Pegel 25 dB SL der X-Achse liegen die Mediane der Pegellautheitsfunktion in den Mittenfrequenzen 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz meist über den Bezugsgeraden der Normalhörenden. Die Hochtonschwerhörigen bewerten die Schallpegel also nicht relativ, im Bezug auf ihre eigene Hörschwelle, sondern vergleichen sie wahrscheinlich mit bekannten Umweltgeräuschen und geben ihnen somit einen absoluten Wert. Die Pegel 65 dB SL und 70 dB SL der X-Achse entsprechen den Schallpegeln 85 dB SPL und 90 dB SPL. Nur die Bewertungen der Patienten, die eine Hörschwelle über 30 dB HL oder 35 dB HL hatten, sind in diesen Punkten der Diagramme dargestellt. Jene Patienten empfinden die lauten Pegel etwa gleich oder leiser, wie die Hörgesunden Probanden der Bezugsgeraden.

Das Ziel, durch den Bezug auf die individuelle Hörschwelle eine Vereinheitlichung der Lautstärkebewertung zu erhalten, wurde nicht erreicht.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Lautstärkebeurteilung eines Patienten mit Innenohrhochtonschwerhörigkeit exemplarisch dargestellt.

Fallbeispiel:

Der Patient E.B. geb. 14.12.1957 leidet an einer Innenohrhochtonschwerhörigkeit beider Ohren. Das Gehör der linken Seite ist stärker betroffen und ging in die Hörfeldmessung ein, während der Gehörgang des rechten Ohres mit Silikonabdruckmasse verschlossen wurde.

Das Tonaudiogramm des Patienten zeigt links bei 500 Hz eine Hörschwelle von 25 dB HL, bei 1000 Hz von 45 dB HL, bei 2000 Hz von 55 dB HL und bei 4000 Hz von 65 dB HL. Das Gehör der rechten Seite zeigt bei allen Testtonfrequenzen einen Hörverlust von 15 dB.

Bei der Mittenfrequenz 500 Hz zeigen die Lautstärkebewertungen des Patienten E.B. eine recht gute Übereinstimmung mit den Bezugsgeraden. Die Hörschwelle für das Schmalbandrausch-Signal liegt

oberhalb von 30 dB, da dieser Wert bereits mit einer, wenn auch geringen Linienlänge (2,7 mmLL) bewertet wird.

Ab der Mittenfrequenz 1000 Hz fallen alle Bewertungen bis 60 dB niedriger aus, als die Werte der Bezugsgeraden. Die Hörschwelle des Patienten liegt bei 45 dB. Ab 60 dB gibt es einen Bewertungssprung (60 dB = 25 mmLL, 70 dB = 193 mmLL). Die Lautheitseinstufung durch den Patienten gleicht sich oberhalb von 65 dB der Bezugsgeraden Normalhörender an.

Bei 2000 Hz liegt die Hörschwelle des Patienten bei 50 dB HL im Tonaudiogramm. Dieser Pegel wird von ihm im Hörfeld mit 5 mmLL als extrem leise empfunden und dem entsprechen niedrig auf der Skala bewertet. 60 dB empfindet der Patient mit 17,5 mmLL ebenso sehr leise. Die Bewertung des Pegels 65 dB nähert sich der Bezugsgerade an. Ab 70 dB hat der Patient ein Lautstärkeempfinden, das der durchschnittlichen Lautheitswahrnehmung der Normalhörenden entspricht. Dies könnte für ein Rekrutmentphänomen sprechen.

Bei 4000 Hz ist die Restdynamik des Gehörs stark eingeschränkt. Die tonaudiometrische Hörschwelle liegt bei 65 dB HL, auch im Hörfeld nimmt der Patient ab 65 dB SPL ein Geräusch wahr. Ab 65 dB zeigt sich eine Steigung der Pegellautheitsfunktion, die um ca. 90 mmLL verschoben parallel zu den mittleren Bewertungen Normalhörender verläuft. Dieser Pegelbereich sollte bei der Hörgeräteanpassung besonders beachtet werden. Ab 80 dB zeigen die Bewertungen der Pegellautheitsfunktion einen großen Sprung auf die Bezugskurve im Sinne eines Rekrutments.

Mit der Hörfeldskalierung lässt sich, wie in diesem Beispiel deutlich wird, durch die Steigung der Pegellautheitsfunktion im Vergleich zur Bezugsgeraden von Normalhörenden leicht die nötige Kompression ermitteln, welche das Hörgerät aufbringen sollte, um dem Patienten ein normales Lautstärkeempfinden zu vermitteln. Auch individuelle Zusatzdiagnosen, wie eine Hyperakusis oder ein Lautheitsausgleich, können schnell bestimmt werden und damit eine Dynamikkompression angesteuert

werden. Liegt ein Rekrutmentphänomen vor, wäre für eine Dynamikkompression bei hohen Eingangspegeln weniger Verstärkung nötig als bei niedrigen Eingangspegeln.

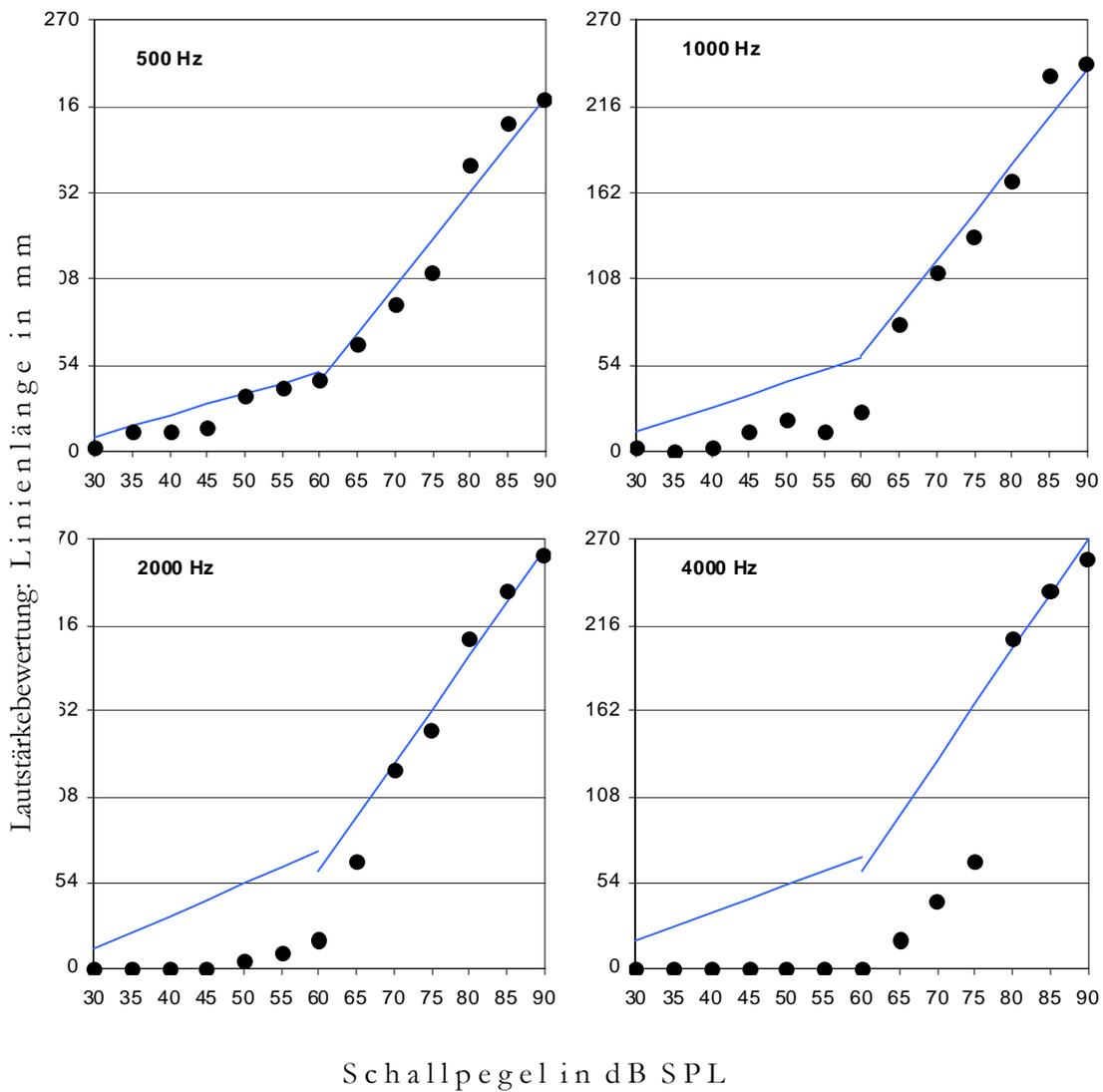


Abb. 10: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linielänge“ bei einem hochtonschwerhörigen Patienten (Patient E.B.) Lautstärkebeurteilungen in mm Linielänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

3.2.2 Pancochleäre Innenohrschwerhörigkeit

Insgesamt führten 24 Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit den Hörversuch durch. Davon wurde bei zwölf Patienten ohne Ohrverschluss gemessen, bei zwölf Patienten wurde jeweils ein Ohr mit Silikonabdruckmasse verschlossen.

Die mittlere Tonhörschwelle des Patientenkollektivs ist in Tabelle 6 dargestellt. Für jede Testtonfrequenz wurde der Median, der Interquartilbereich, der Mittelwert, die Standardabweichung, sowie das Maximum und das Minimum der Hörschwellenwerte in dB HL der 24 Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit aus dem Tonaudiogramm ermittelt.

Mittenfrequenz	Median dB	1.Quartil dB	3.Quartil dB	Mittelwert dB	Standardabw. dB	Min. dB	Max. dB
500 Hz	40	30	50	37,7	13,9	18	60
1000 Hz	40	30	50	40,8	12,7	20	62
2000 Hz	40	32	50	41,4	10,2	25	60
4000 Hz	50	40	58	46,7	15,0	18	72

Tabelle 6: Median, Interquartilbereich, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum und Minimum der Hörschwellen in dB HL, ermittelt aus den Tonaudiogrammen von 24 Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit.

Bei 500 Hz zeigt sich im Hörfeld bis 85 dB ein Verlauf der Bewertungen durch die pancochleär schwerhörigen Patienten, der etwas unterhalb dem Normalhörender liegt. 90 dB wird von den Schwerhörigen ungefähr gleich laut bewertet wie von den Gesunden, was als Rekrutment gedeutet werden kann. Die Interquartilbereiche sind im Vergleich zu den Daten des Kollektivs Hochtenschwerhöriger deutlich verringert, das heißt die Lautstärkebewertung der Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit entsprechen sich eher.

Bei der Mittenfrequenz 1000 Hz liegen die Bewertungen der Pegellautheitsfunktion ab 65 dB in etwa auf der Bezugsgerade der Normalhörenden, von 30-60 dB deutlich darunter.

Terzrauschen mit einer Mittenfrequenz von 2000 Hz wird bis 75 dB von den Schwerhörigen leiser empfunden als von den Gesunden. Die Werte von 80 dB bis 90 dB liegen an der Bezugsgerade. Die Interquartilbereiche besonders in den mittleren Pegelbereichen sind hier wieder deutlich größer.

Ebenso wird bei der Mittenfrequenz 4000 Hz die Lautheit der Schmalbandrausch-Signale bis 75 dB SPL niedriger bewertet, von 80 dB bis 90 dB gleichen sich die Werte auch hier im Sinne eines Rekrutments an.

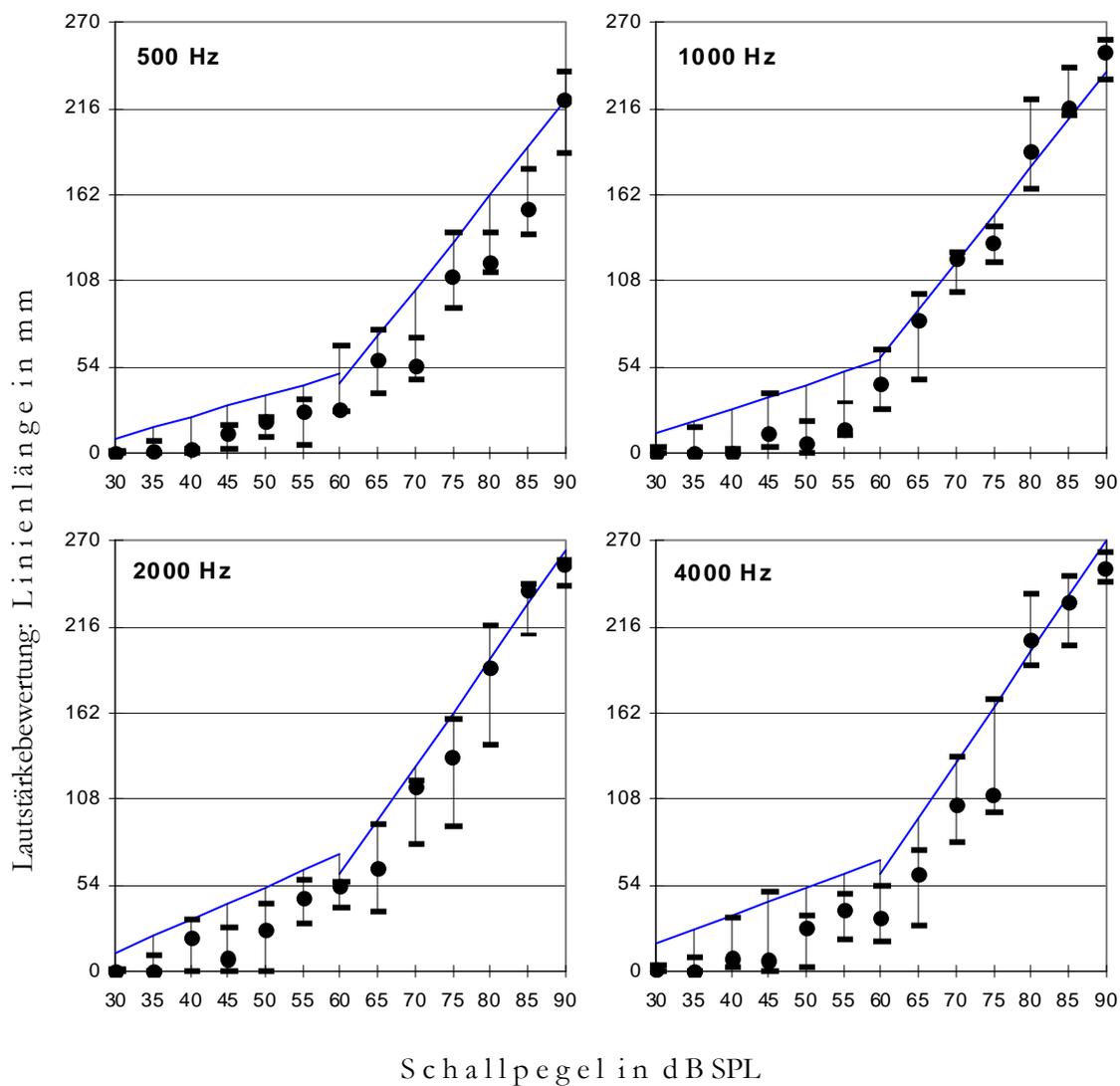


Abb. 11: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ bei 24 Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit. Mediane und Interquartilbereiche in mm Linienlänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004)

Fallbeispiel:

Der Patient H.S. geb. am 15.05.1973 leidet unter einer pancochleären Innenohrschwerhörigkeit beider Ohren. Das rechte Ohr ist etwas stärker betroffen als das linke. Gemessen wurde hier das Gehör des rechten Ohres. Der Gehörgang des linken Ohres wurde mit Silikonoplastik verschlossen.

Zu 500 Hz weist der Patient im Tonaudiogramm rechts eine um ca. 40 dB HL verschobene Hörschwelle auf, bei 1000 Hz ist sie um 55 dB HL, bei 2000 Hz um 50 dB HL und bei 4000 Hz um 55 dB HL erhöht. Das Gehör des linken Ohres weist eine Hörschwelle bei 500 Hz ab 20 dB, bei 1000 Hz ab 25 dB, bei 2000 Hz ab 15 dB und bei 4000 Hz ab 25 dB.

Bei der Mittenfrequenz 500 Hz werden die Pegel 50 dB und 55 dB mit 2,5 mmLL als extrem leise bewertet. Geräusche von 60 dB bis 70 dB empfindet der Patient deutlich leiser als Normalhörende. Ab 75 dB empfindet der Patient die Schalle etwa gleich laut wie die Hörgesunden, was als Hinweis für das Vorliegen eines Rekrutments zu werten ist.

Bei der Mittenfrequenz 1000 Hz bewertet der Patient ab 60 dB das Schmalbandrausch-Signal höher als 0 mmLL. Dieses Geräusch nahe seiner Hörschwelle bewertet er mit 40 mmLL leiser als der Durchschnitt der Normalhörenden. Der weitere Bewertungsverlauf liegt ab 70 dB auf der Bezugsgerade der Normalhörenden. Die beiden höchsten Pegel überschreiten in ihrer Einschätzung etwas die Bezugsgerade. Da diese jedoch nur einen Durchschnittswert aus 123 Versuchsdurchgängen an Normalhörenden widerspiegelt ist es fraglich, ob man bereits von einer Hyperakusis sprechen kann.

Die Mittenfrequenz 2000 Hz bewertet der Patient ab 55 dB höher als 0 mmLL. Auch im Tonaudiogramm wurde hier seine Hörschwelle ermittelt. Der Patient bewertet Schalle mit 60-75 dB Wiedergabe leiser als die Hörgesunden. Ab 80 dB kommt es zum Lautheitsausgleich, die Angabe des Patienten liegen an der Bezugsgerade.

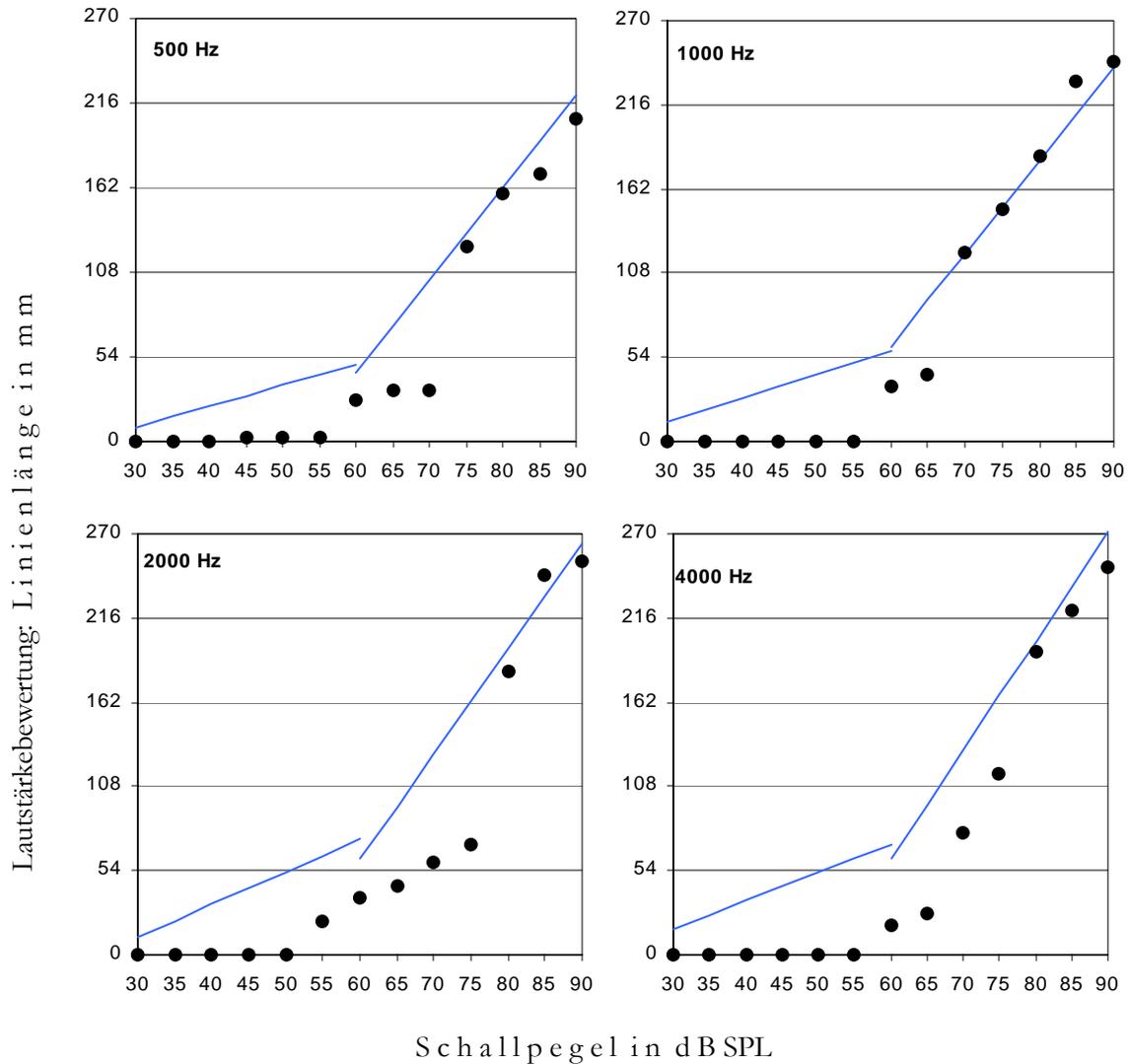


Abb. 12: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ bei einem Patienten (Patient H.S) mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit. Lautstärkebeurteilungen in mm Linienlänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Konf 2004).

Bei 4000 Hz beginnt die Bewertung erst ab einem Wiedergabepegel von 60 dB, deckungsgleich mit der tonaudiometrischen Hörschwelle. Ab 80 dB kommt es zum Lautheitsausgleich im Sinne eines Rekrutments. Die Werte dazwischen liegen unter der Bezugsgerade, werden also vom Patienten deutlich leiser empfunden als von den Normalhörenden.

3.2.3 Schalleitungsschwerhörigkeit

Insgesamt führten 15 Patienten mit Schalleitungsschwerhörigkeit den Hörversuch durch. Davon wurden bei sieben Patienten ohne Ohrverschluss gemessen, bei acht Patienten wurde jeweils ein Ohr mit Silikonabdruckmasse verschlossen.

Die gemittelten Tonschwellenwerte sind in den Tabellen 7 und 8, unterteilt in Luftleitung und Knochenleitung, dargestellt. Für jede Mittenfrequenz wurde der Median, der Interquartilbereich, der Mittelwert, die Standardabweichung, sowie das Maximum und das Minimum der Hörschwellenwerte in dB HL der 15 Schalleitungsschwerhörigen aus dem Tonaudiogramm ermittelt.

Mittenfrequenz	Median dB	1.Quartil dB	3.Quartil dB	Mittelwert dB	Standardabw. dB	Min. dB	Max. dB
500 Hz	55	48	60	55,3	7,8	45	65
1000 Hz	58	55	60	54	11,3	30	65
2000 Hz	62	45	70	57,7	14,6	40	75
4000 Hz	65	52	80	69,1	20,5	45	100

Tabelle 7: Median, Interquartilbereich, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum und Minimum der Hörschwellen in dB HL (Luftleitung), ermittelt aus den Tonaudiogrammen von 15 Schalleitungsschwerhörigen.

Mittenfrequenz	Median dB	1.Quartil dB	3.Quartil dB	Mittelwert dB	Standardabw. dB	Min. dB	Max. dB
500 Hz	20	15	22	20,7	11,3	5	45
1000 Hz	20	20	35	25,5	11,1	10	45
2000 Hz	38	20	45	34,8	15,1	15	58
4000 Hz	40	20	50	34,4	15,7	15	55

Tabelle 8: Median, Interquartilbereich, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum und Minimum der Hörschwellen in dB HL (Knochenleitung), ermittelt aus den Tonaudiogrammen von 15 Schalleitungsschwerhörigen.

Bis 55 dB liegt der Median durchschnittlich bei 6,2 von 270 mmLL in allen vier gezeigten Mittenfrequenzen.

Die Interquartilbereiche liegen von 60 dB bis 90 dB deutlich unter der Bezugsgeraden.

Auffällig und interessant ist hier das Phänomen, welches schon im Vorversuch bei beidseitigem Ohrverschluss mit Silikonabdruckmasse unter 3.1 beobachtet werden konnte. Die Spanne der Interquartilbereiche nimmt auch bei den Pegeln von 85 dB und 90 dB kaum an Spannweite ab, anders als bei der Hochtoninnenschwerhörigkeit und bei der pancochleären Innenohrschwerhörigkeit. Die Spanne der Interquartilbereiche ist auch in den hohen Pegelbereichen noch groß. Ein Grund dafür ist, dass der Patient hohe Pegel nicht als laut, sondern eher als mittellaut empfindet. Er benutzt deshalb die Mitte des Skaliertabletts zur Bewertung der Lautstärke der Schmalbandrausch-Signale. Die Vergrößerung der Interquartilbereiche ist also möglicherweise auf fehlende Einteilung des Skaliertabletts und damit ungenauere Positionsbestimmung zurückzuführen. Der Patient kann sich bei der „Methode der Linienlänge“ nicht an zusätzlichen Unterteilungen des Skalierungsbereiches orientieren. Folglich ergibt sich aus der Mittelung mehrerer Patientendaten ein großer Schwankungsbereich.

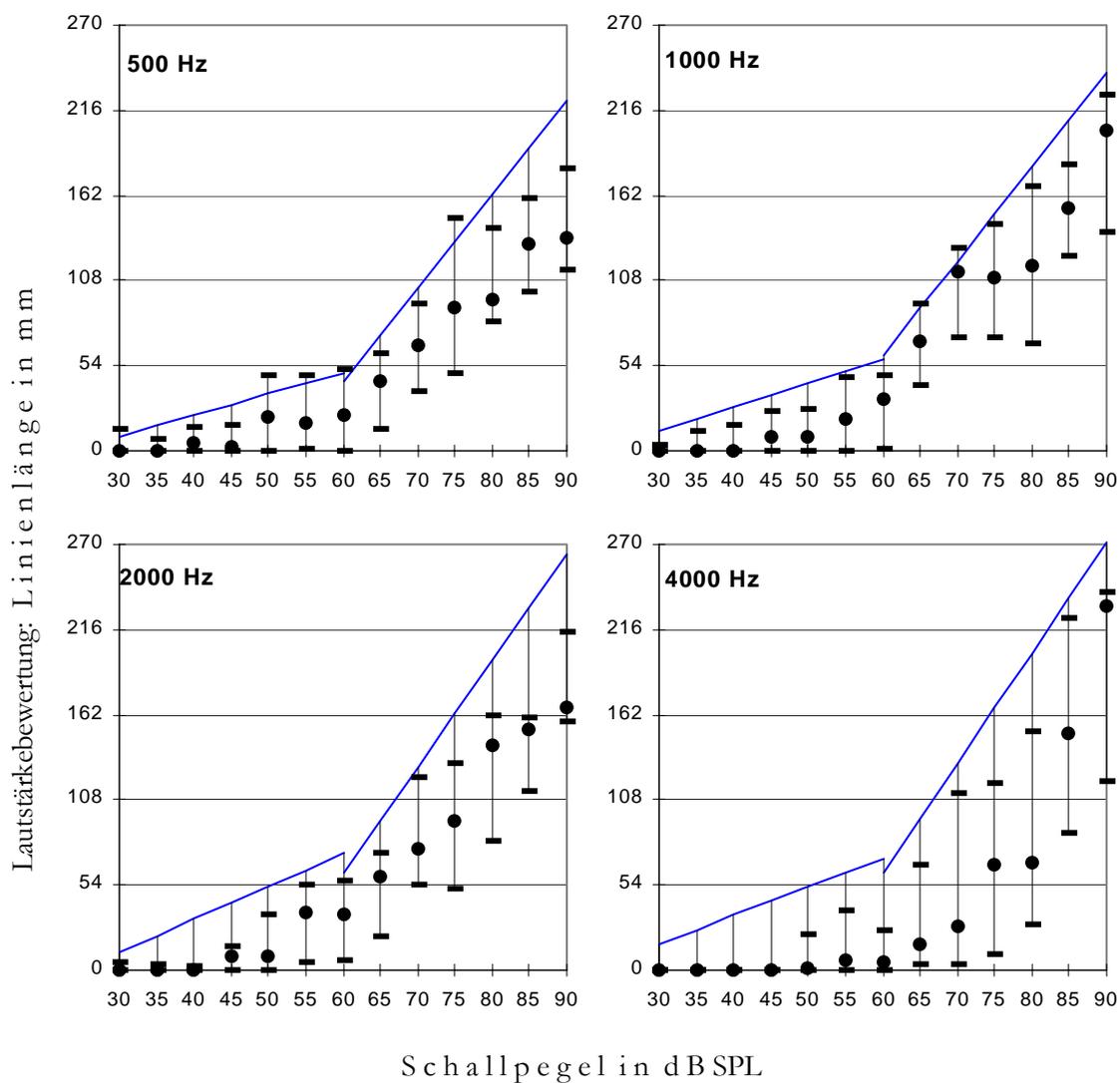


Abb. 13: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linielänge“ bei 15 Patienten mit Schalleitungsschwerhörigkeit. Mediane und Interquartilbereiche in mm Linielänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

Bei 500 Hz liegen alle Interquartilbereiche unterhalb der Bewertung der Bezugsgeraden.

Es zeichnet sich eine sehr große Spannweite von 100 mmLL bei 75 dB aus den gemittelten Daten der Patienten mit Schallleitungsschwerhörigkeit ab. Bei 90 dB beträgt der Interquartilbereich noch 65 mmLL.

Auch bei der Mittenfrequenz 1000 Hz ist die Varianz der Bewertungen durch die Patienten sehr groß. Sie stufen die Geräusche nicht als extrem laut, sondern eher in der Mitte des Skaliertabletts ein.

Bei 2000 Hz liegen die Interquartilbereiche ebenfalls alle unterhalb der Bezugsgerade. Die Mediane verlaufen parallel ca. 70 mmLL unterhalb der Normalhörkurve.

Bei 4000 Hz liegen die Bewertungen aller Pegel unter dem Median Normalhörender. Bis 65 dB liegen die Mediane der Schwerhörigen beinahe alle gegen Null. Danach folgt ein kontinuierlicher Anstieg der Bewertungsmediane. Es zeichnen sich sehr große Interquartile im Pegelbereich 70 dB bis 90 dB von durchschnittlich 119 mmLL ab. Insgesamt zeigt sich ab 60 dB ein flacherer Anstieg der Pegellautheitsfunktion als bei den Innenohrschwerhörigkeiten.

Fallbeispiel:

Der Patient N.G. geb. 19.06.1946 leidet unter einer beidseitigen Schallleitungsschwerhörigkeit aufgrund multipler Mittelohrentzündungen. Gemessen wurde das Gehör des rechten Ohres, welches ungefähr die gleiche Hörleistung hat wie das linke Ohr. Der Gehörgang des linken Ohres wurde mit Silikonabdruckmasse verschlossen

Im Tonaudiogramm hat der Patient rechts eine Hörschwelle von 65 dB HL bei 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz (Luftleitung). Die Knochenleitung beträgt bei 500 Hz 30 dB HL, bei 1000 Hz 25 dB HL, bei 2000 Hz 32 dB HL und bei 4000 Hz 30 dB HL auf dem rechten Ohr.

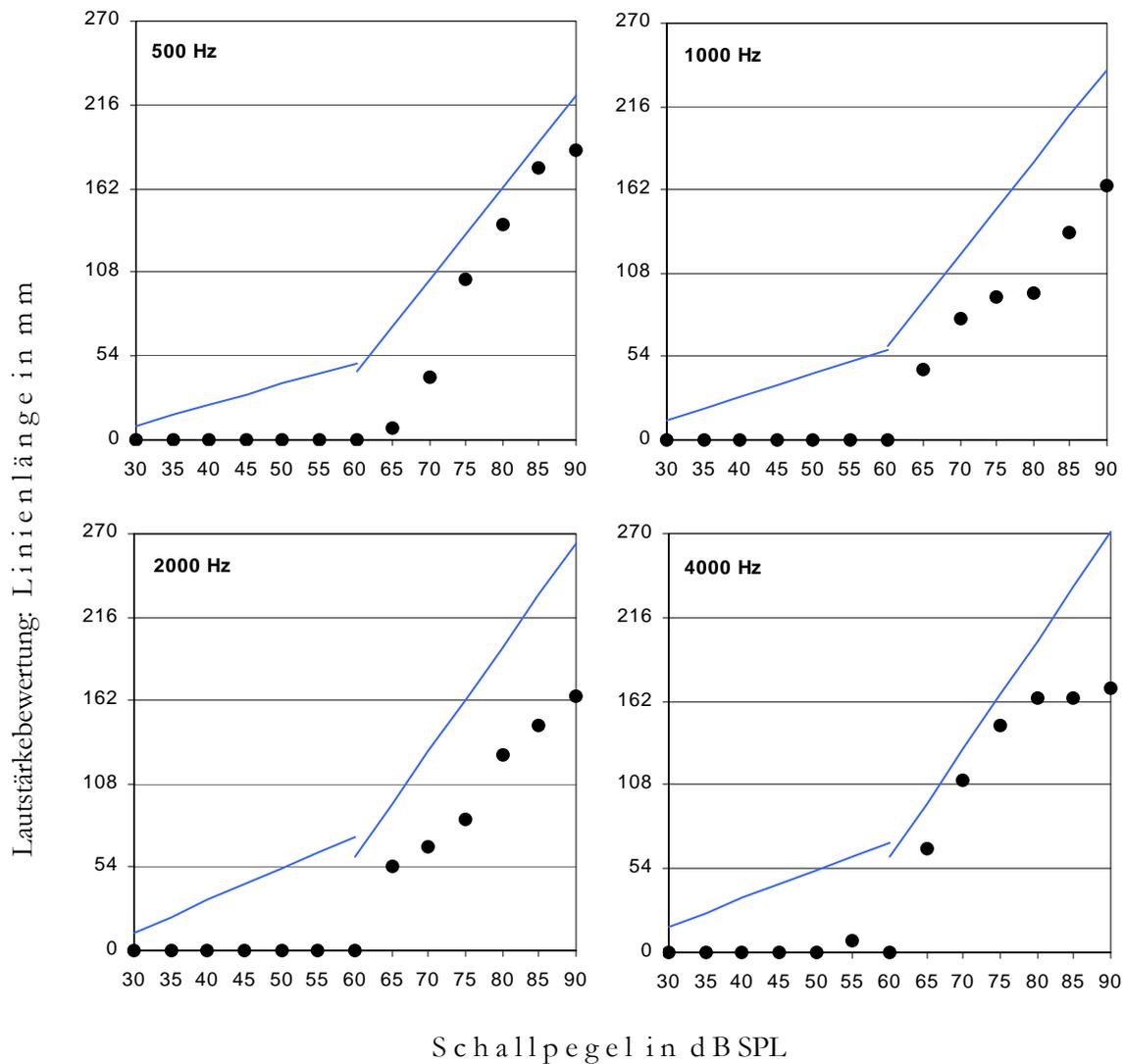


Abb. 14: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ bei einem Patienten mit Schalleitungsschwerhörigkeit. Mediane in mm Linienlänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

Der schalleitungsschwerhörige Patient hat eine Hörschwelle von ca. 65 dB HL bei allen vier gemessenen Mittenfrequenzen. Dies ist das Ergebnis der тонаudiometrischen Untersuchung und bestätigt sich auch bei der Hörfelduntersuchung.

Aufgrund des verminderten Hörvermögens, wie es sich auch im Tonaudiogramm darstellt, werden Schmalbandrausch-Signale unterhalb 60 dB nicht vernommen. Ab 65 dB folgt ein schnellerer Bewertungszuwachs, welcher unter der Bezugsgerade bleibt.

Die Ergebnisse der Hörfeldskalierung mit der „Methode der Linienlänge“ bestätigen die bekannte Beobachtung, dass es bei der Schalleitungsschwerhörigkeit selbst bei hohen Pegeln nicht zu einem Lautheitsausgleich kommt.

3.2.4 Tinnitus-Patienten ohne oder mit sehr geringem Hörverlust

Die Tonaudiogramme der untersuchten Tinnitus-Patienten zeigten eine relativ geringe durchschnittliche Hörminderung im Vergleich zu den anderen Schwerhörigkeiten.

Insgesamt führten 15 Patienten mit Tinnitus den Hörversuch durch. Davon wurden bei neun Patienten ohne Ohrverschluss gemessen, bei sechs Patienten wurde jeweils ein Ohr mit Silikonabdruckmasse verschlossen.

Die gemittelten Tonschwellenwerte sind in Tabelle 9 dargestellt. Für jede Mittenfrequenz wurde der Median, der Interquartilbereich, der Mittelwert, die Standardabweichung, sowie das Maximum und das Minimum der Hörschwellenwerte in dB HL der 15 Patienten mit Tinnitus aus dem Tonaudiogramm ermittelt.

Testtonfrequenz	Median dB	1.Quartil dB	3.Quartil dB	Mittelwert dB	Standardabw. dB	Min. dB	Max dB
500 Hz	9	5,5	14,2	10,1	6,1	2	20
1000 Hz	10	9	10,7	11	6,0	5	30
2000 Hz	13,5	10,5	16,7	14,4	7,6	2	30
4000 Hz	16	10,5	20	17,5	10,2	4	40

Tabelle 9: Median, Interquartilbereich, Mittelwert, Standardabweichung, Maximum und Minimum der Hörschwellen in dB HL, ermittelt aus den Tonaudiogrammen von 15 Patienten mit Tinnitus.

Die Skalierung mit der „Methode der Linienlänge“ zeigt Bewertungen, die in allen Mittenfrequenzen bis 60 dB durchweg unterhalb derer Normalhörender liegen. Ab 60 dB schwanken die Mediane der Bewertungen um die Bezugsgerade und liegen mal unterhalb, mal oberhalb.

Die Spannweiten der Interquartilbereiche sind bis 60 dB klein. Ab 60 dB wird die Varianz, und damit die Spannweite der Interquartilbereiche, größer. Bei den hohen Pegeln verringern sich diese wieder, wie es auch bei den Innenohrschwerhörigkeiten gesehen wurde. Dies ist auf fehlende Einteilung des Skaliertabletts und damit ungenauere Positionsbestimmung zurückzuführen.

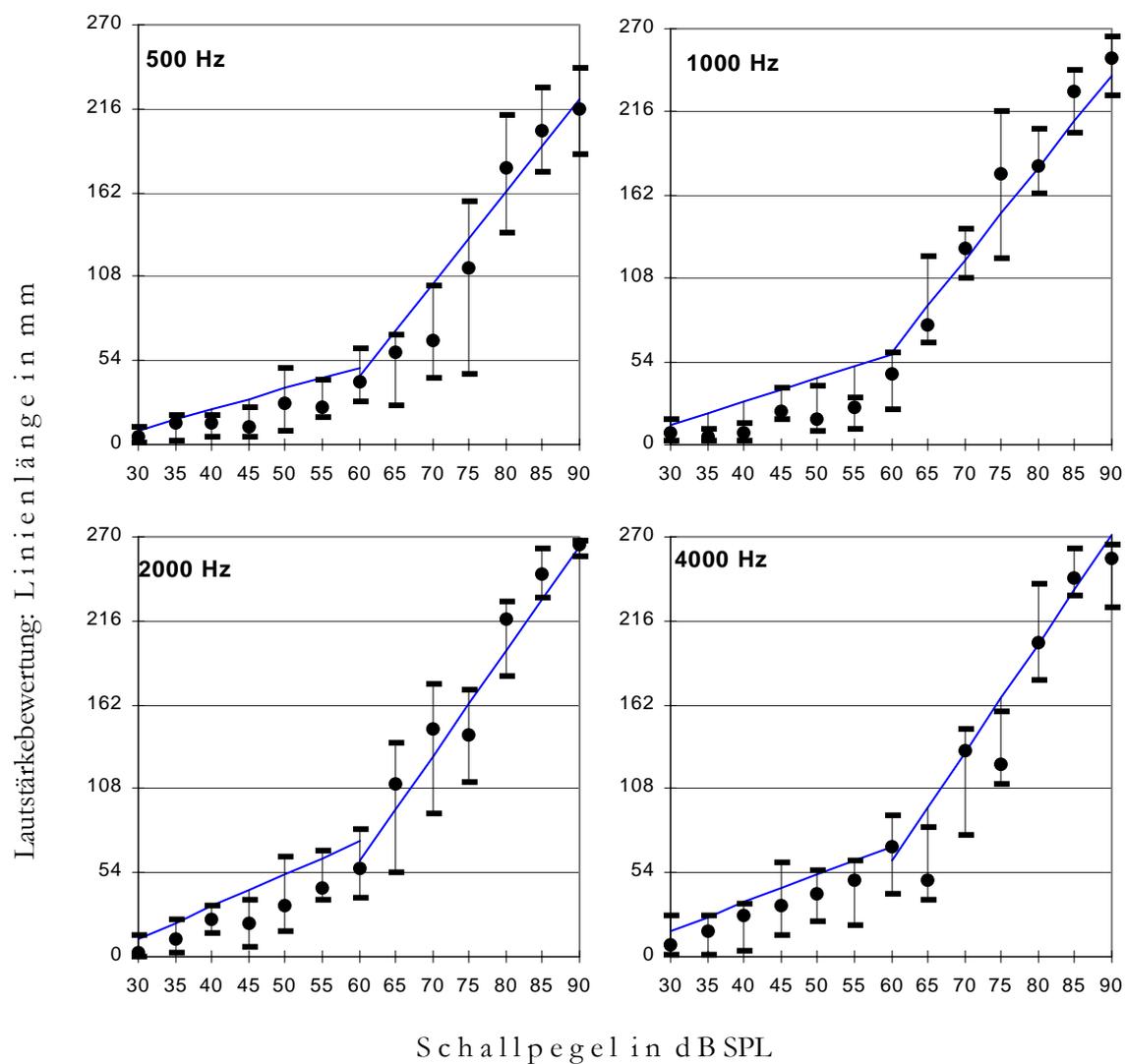


Abb. 15: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linielänge“ bei 15 Patienten mit Tinnitus. Mediane und Interquartilbereiche in mm Linielänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

Fallbeispiel:

Der Patient C. E., geb. 16.10.1942, leidet unter einem Tinnitus des Gehörs der rechten Seite. Der Gehörgang des linken Ohres wurde für die Untersuchung im Hörfeld mit der Silikonabdruckmasse verschlossen.

Im Tonaudiogramm zeigt der Patient eine Hörschwelle von 20 dB HL bei 500 Hz, von 15 dB HL bei 1000 Hz, von 30 dB HL bei 2000 Hz und von 40 dB HL bei 4000 Hz.

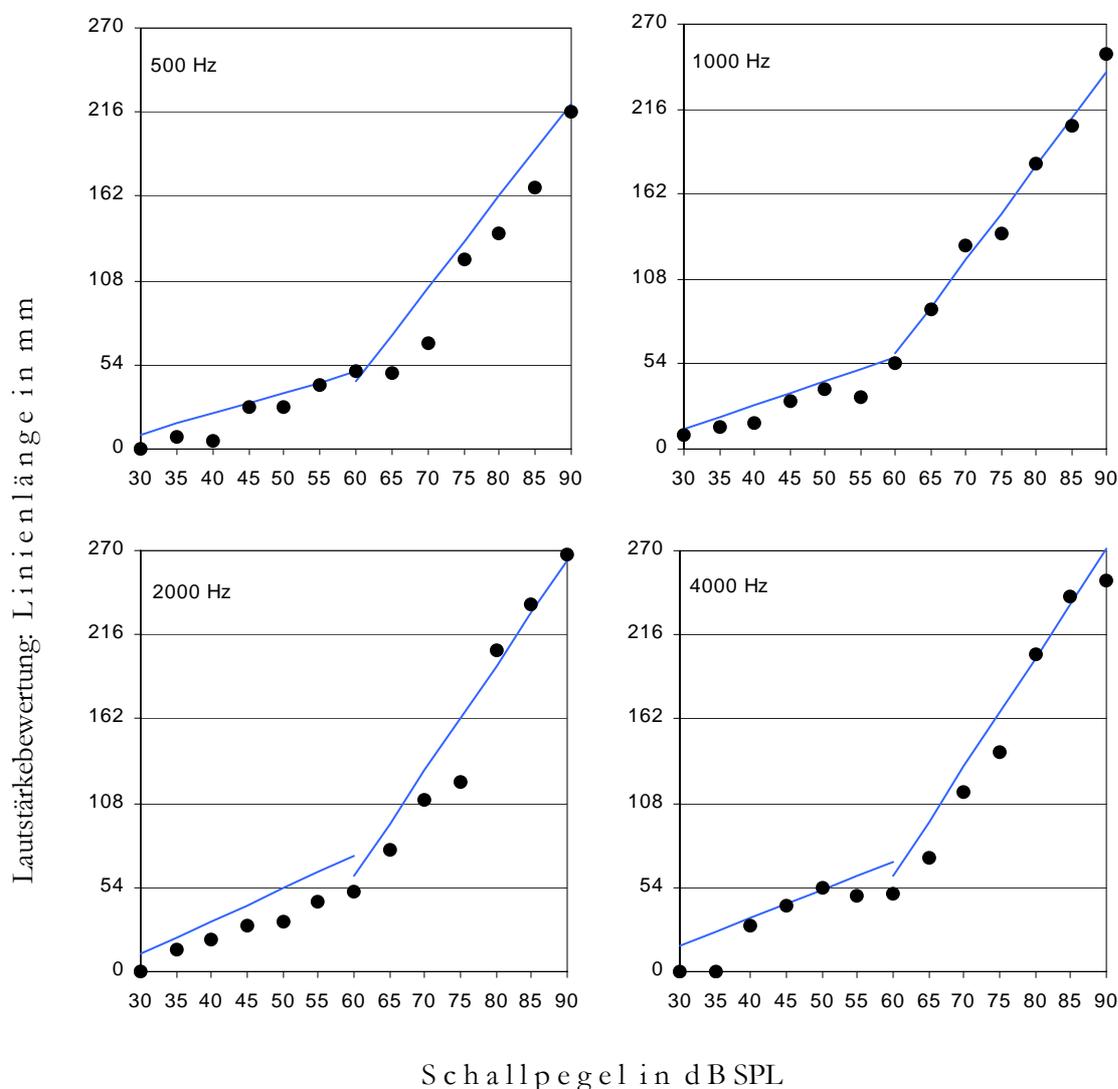


Abb. 16: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ bei einem Patienten mit Tinnitus (Patient C.E.). Lautstärkebewertungen in mm Linienlänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

Insgesamt zeigt die Pegellautheitsfunktion des Tinnitus-Patienten eine gute Übereinstimmung mit den Werten der Bezugsgerade. Im 500 Hz-Bereich liegen seine Bewertung eher unterhalb der Normkurve. Bei 1000 Hz decken sich die Werte nahezu mit der Bezugsgerade der Normalhörenden. Die Mittenfrequenzen 2000 Hz und 4000 Hz werden bis 75 dB leiser eingeschätzt als es die Normalhörenden tun, ab 80 dB ungefähr gleich laut.

Bei den Patienten mit Tinnitus würde man in den hohen Frequenzen eine Hyperakusis, das heißt eine Überempfindlichkeit bei lauten Tönen erwarten. In der Diskussion wird der Lautheitsausgleich der schwerhörigen Patienten näher betrachtet.

3.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse Schwerhöriger

Die mit der „Methode der Linienlänge“ erfassten Lautstärkebewertungen der Patienten bringen gute Einsicht in den individuellen Restdynamikbereich des Schwerhörigen. Es lassen sich Hörschwelle und der überschwellige Lautheitsaufbau, sowie eine eventuell vorliegende Hyperakusis einfach und schnell bestimmen.

Die über Patientengruppen gemittelten Bewertungen zeigen abhängig von der Art der Schwerhörigkeit große Schwankungen, so erreichen beispielsweise die Interquartilbereiche bei den Schalleitungsschwerhörigen Werte bis 120 mmLL. Dies entspricht fast der Hälfte der Skaliertablettlänge (270 mmLL). Auch der Versuch, die Linienlängenbewertungen über den „Sensation Level“ darzustellen und damit eine Vereinheitlichung der Ergebnisse zu erzielen, führte nicht zum Erfolg. In der Vergleichsstudie von Kopf, welcher die „Methode der Linienlänge“ an 91 Normalhörenden Probanden untersuchte, war die Streuung der Lautstärkebeurteilung jedoch weit geringer.

Das wirft Fragen nach der Ursache hierfür auf. Ist die Messmethode bei Schwerhörigen etwa nicht anwendbar, weil die Methode eine geringe Reproduzierbarkeit aufweist? Liegt das Problem in der fehlenden Unterteilung des Skaliertablets? Hängen die Bewertungen von der geprüften Mittenfrequenz des Terzrauschens ab? Oder variiert die überschwellige Bewertung bei den Schwerhörigen aufgrund der unterschiedlichen Hörstörungen zu stark und ist deswegen eine Mittelung der Ergebnisse nicht sinnvoll?

Um der Ursache der großen Streuungen auf den Grund zu gehen, wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, um Aussagen zur Reproduzierbarkeit der „Methode der Linienlänge“ bei Schwerhörigen zu gewinnen.

3.3 Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit

Die mit der „Methode Linienlänge“ ermittelten Lautstärkebewertungen (Abschnitt 3.2), zeigen teilweise eine breite Streuung vor allem in den mittleren Pegelbereichen. Dieses Ergebnis soll durch eine weitere Untersuchung näher überprüft werden, um Aussagen zur Reproduzierbarkeit der Methode bei Schwerhörigen zu erhalten. Sind die Patienten etwa in ihrer Bewertung ungenauer, als die jungen, gesunden Versuchspersonen in der Studie zur Hörflächenskalierung bei Normalhörenden (Kopf 2004)?

Insgesamt nahmen 15 Patienten an der Untersuchung zur Reproduzierbarkeit teil. Sie wurden nach der Art ihrer Schwerhörigkeit vor der Untersuchung in Gruppen unterteilt. Drei der Patienten litten an einer Innenohrhohton Schwerhörigkeit, sechs an einer pancochleären Innenohrschwerhörigkeit und sechs an einer Schalleitungsschwerhörigkeit. Untersucht wurden die Mittenfrequenzen 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz. Die Patienten bekamen viermal in Folge die 13 Pegel einer Mittenfrequenz präsentiert. Welche Mittenfrequenz getestet wurde, wählte der Untersucher anhand des Tonaudiogramms aus. Kriterium war die stärkste Ausprägung der Schwerhörigkeit, jedoch sollte die Hörschwelle nicht schlechter als 60 dB sein. Acht Patienten bekamen die Schalle eines

Mittelfrequenzbereiches vier mal hintereinander vorgespielt. Ein Patient wiederholte die beiden Mittelfrequenzen 500 Hz und 1000 Hz viermal. Sechs Patienten beurteilten alle vier Mittelfrequenzbereiche, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz, in vierfacher Wiederholung. Der Versuchsaufbau entsprach ansonsten dem der vorhergehenden Untersuchungen (siehe Abschnitt 2).

Da das Ausmaß und die Art der Schwerhörigkeiten individuell stark unterschiedlich war, schien es nicht sinnvoll eine gemittelte Diagrammdarstellung aus Median und Interquartilen zu erstellen. Im folgenden werden die Ergebnisse der Patienten einzeln aufgeführt. Dargestellt ist die Standardabweichung der vier Versuchsdurchgänge geordnet nach Art der Schwerhörigkeit. Pro Schwerhörigkeit werden drei Patientenbeispiele aufgeführt. Zu beachten ist, dass die Skalierung der Y-Achse wegen der geringeren Werte der Standardabweichung im Vergleich zu den Absolutwerten der Ergebnisse im Abschnitt 3.2, auf 60 mmLL statt bisher 270 mmLL geändert wurde, um eine übersichtlichere Diagrammdarstellung zu erhalten.

3.3.1 Innenohrhochtonschwerhörigkeit

A Patient S.A., geb. 13.11.1943, beidseitige Innenohrhochtonschwerhörigkeit im Tonaudiogramm bis 2000 Hz 10 dB, bei 4000 Hz 50 dB Hörverlust. In die Messung ging das Gehör beider Seiten ein, Tonaudiogramm und Untersuchung vom 24.08.2000.

B Patient G.S., geb. 22.06.1956, beidseitige Innenohrhochtonschwerhörigkeit von 30 dB bei 4000 Hz. Beidseitige Messung, Tonaudiogramm und Untersuchung vom 29.08.2000.

C Patient S.F., geb. 30.01.1940. beidseitige Innenohrhochtonschwerhörigkeit von 50 dB bei 4000 Hz. Beidseitige Messung, Tonaudiogramm und Untersuchung vom 29.08.2000.

Standardabweichung Linienlänge in mm

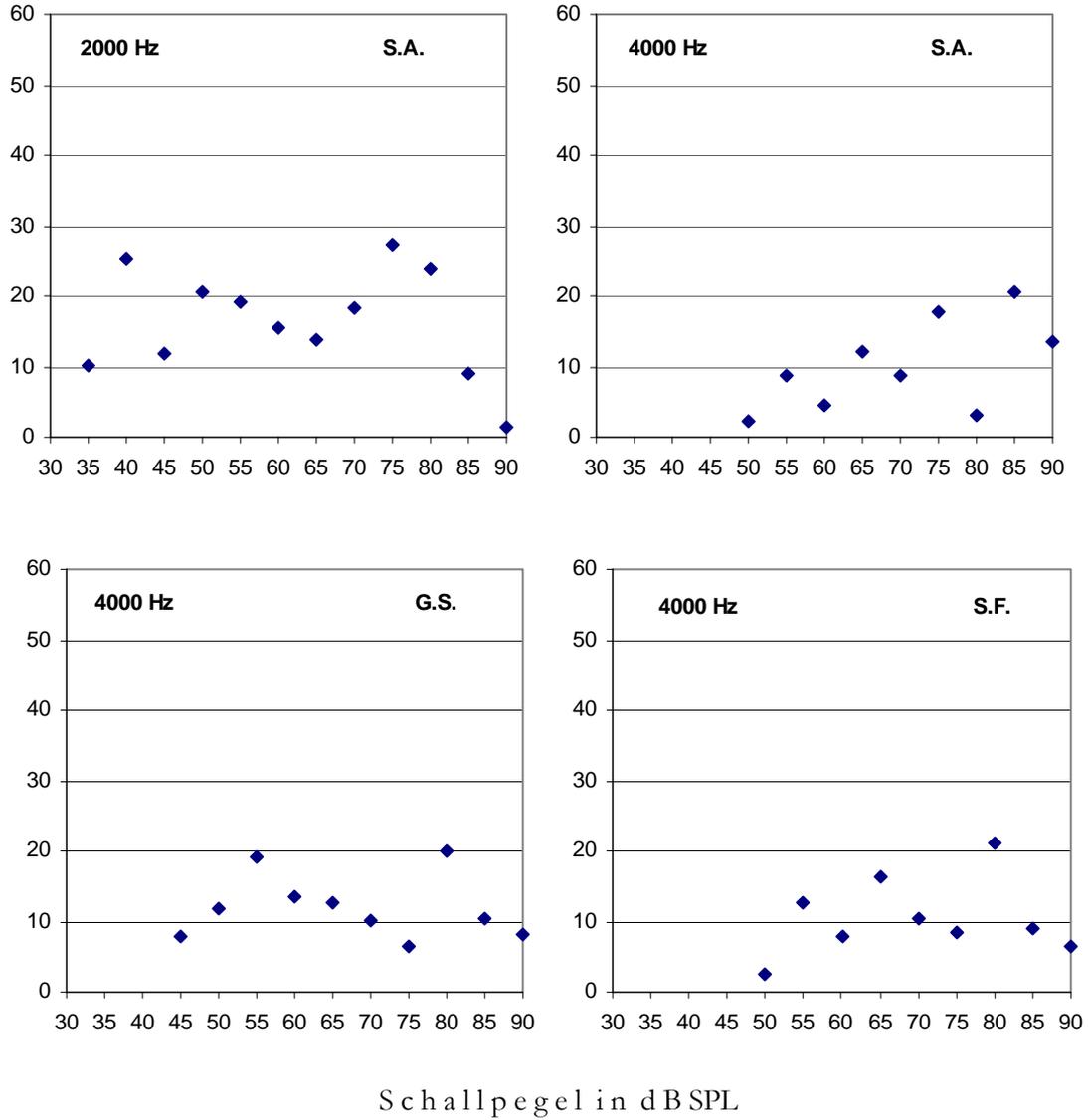


Abb. 17: Standardabweichung der Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ von vier Versuchsdurchgängen bei Patienten mit Innenohrhochtonschwerhörigkeit bei 2000 Hz und 4000 Hz, Freifeldarbeit bei Terzrauschen mit angegebenen Mittenfrequenzen.

3.3.2 pancochleäre Innenohrschwerhörigkeit

A Patient N.U.; geb. 28.09.1958, pancochleäre Innenohrschwerhörigkeit beidseits von 30-70 dB.

Beidseitige Messung, Tonaudiogramm und Untersuchung vom 26.08.2000.

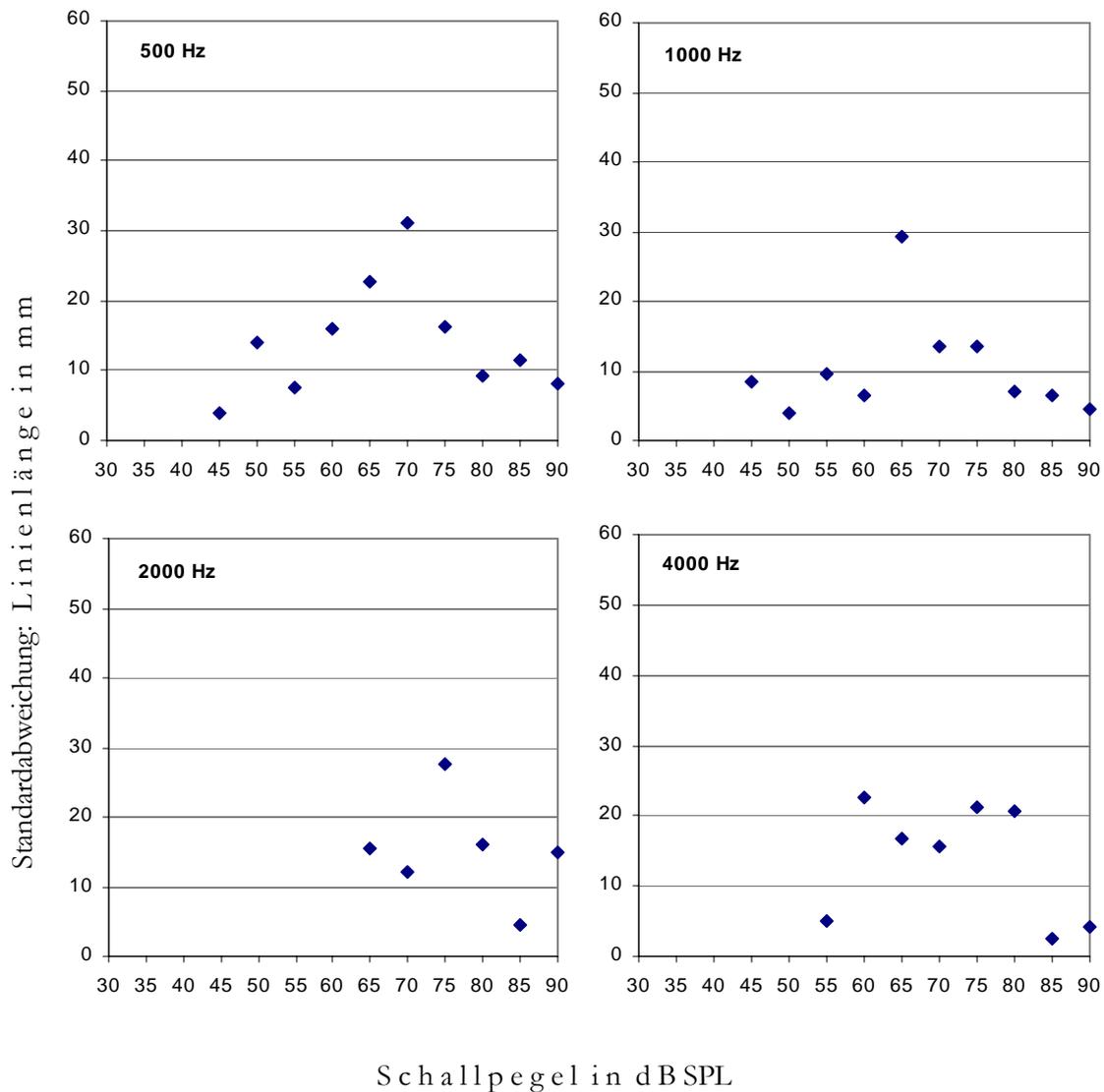


Abb. 18: Standardabweichung der Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linielänge“ von vier Versuchsdurchgänge eines Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit bei 500, 1000, 2000 und 4000 Hz, Freifelddarbietung bei Terzrauschen mit angegebenen Mittenfrequenzen.

B Patient W.H., geb. 07.03.1937, pancochleäre Innenohrschwerhörigkeit beidseits, bei 1000 Hz von 40 dB, bei 2000 Hz von 60 dB. Beidseitige Messung, Tonaudiogramm und Untersuchung vom 31.08.2000.

C Patient P.J., geb. 19.05.1926, pancochleäre Innenohrschwerhörigkeit links von 50 dB. Der Gehörgang des rechten Ohres wurde mit Silikonabdruckmasse ausgegossen, Tonaudiogramm und Untersuchung vom 25.08.2000.

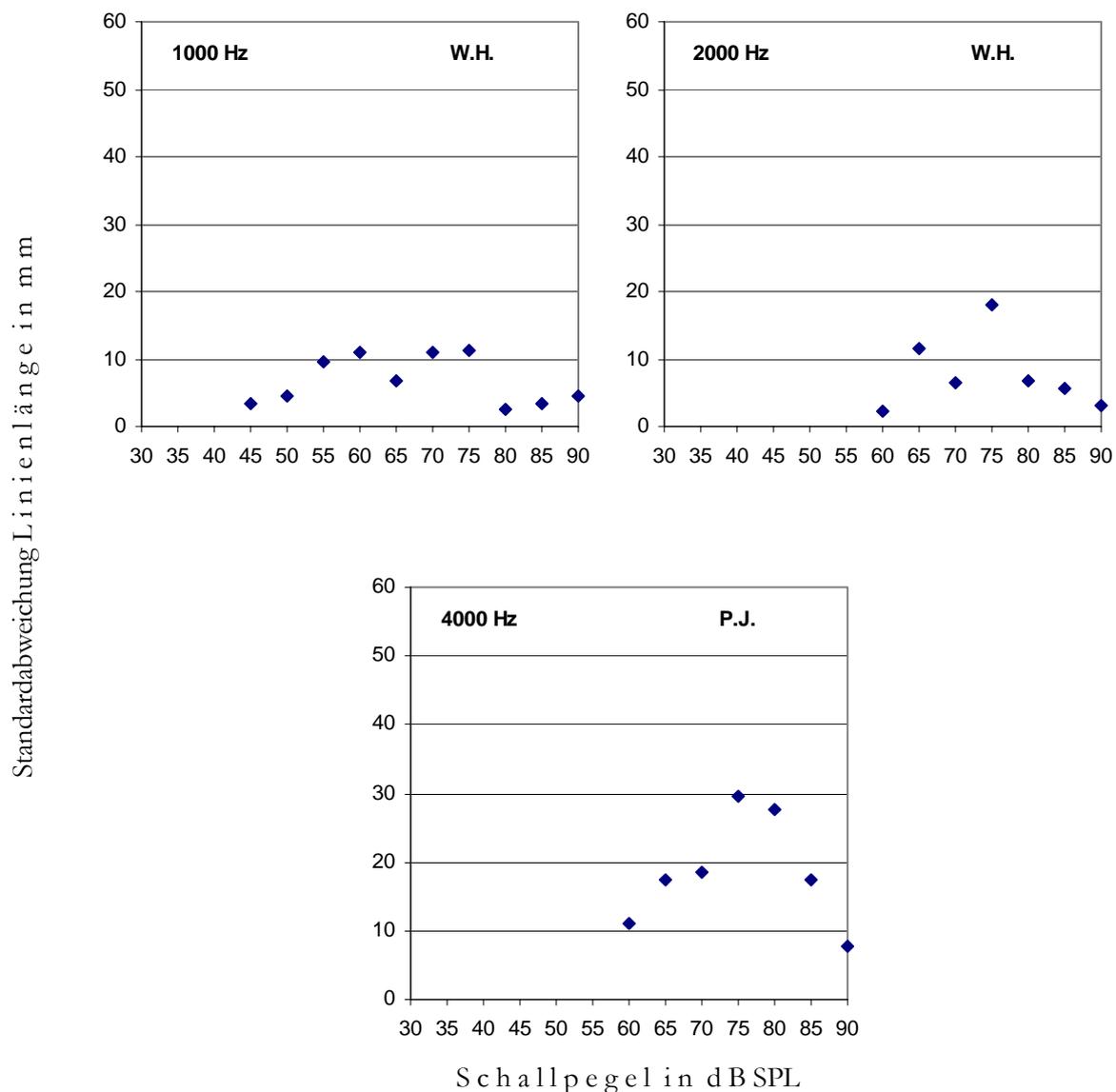


Abb. 19: Standardabweichung der Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ von vier Versuchsdurchgänge eines Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit bei 1000 und 2000 Hz, Freifeldarbeitung bei Terzrauschen mit angegebenen Mittenfrequenzen.

3.3.3 Schalleitungsschwerhörigkeit

A Patient B.M., geb. 28.06.1957, Schalleitungsschwerhörigkeit links, bei 500 und 1000 Hz von 60 dB.

Der Gehörgang des rechten Ohres wurde mit Silikonabdruckmasse ausgegossen, Tonaudiogramm und Untersuchung vom 29.08.2000.

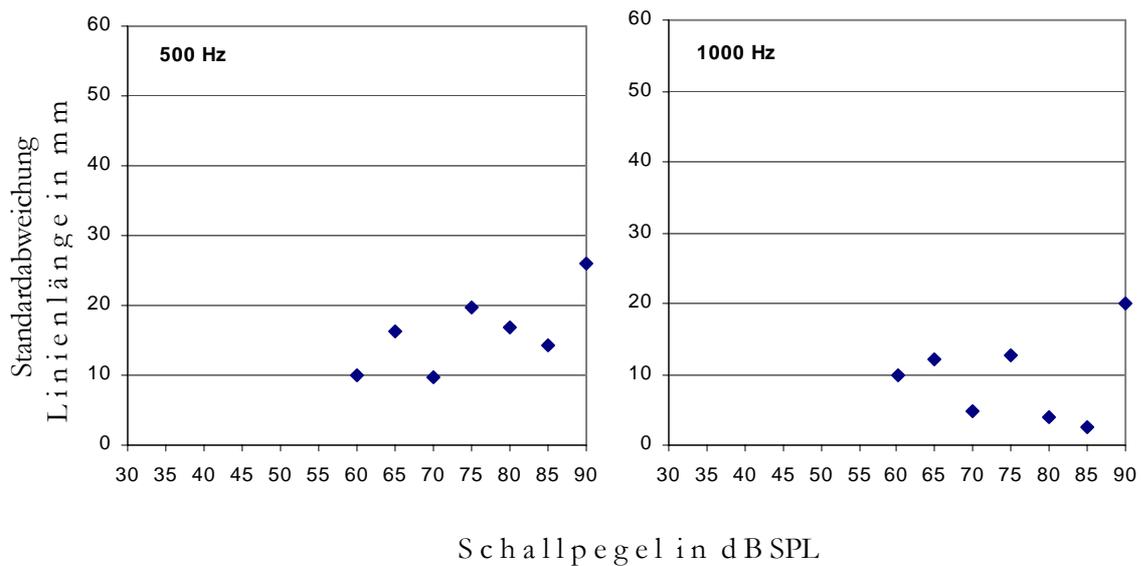


Abb. 20: Standardabweichung der Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ von vier Versuchsdurchgänge eines Patienten mit Schalleitungsschwerhörigkeit links bei 500 und 1000 Hz, Freifelddarbietung bei Terzrauschen mit angegebenen Mittenfrequenzen.

B Patient K.D., geb. 15.05.1979, Schalleitungsschwerhörigkeit links von 30-50 dB. Der Gehörgang des rechten Ohres wurde mit Silikonabdruckmasse ausgegossen, Tonaudiogramm und Untersuchung vom 24.08.2000.

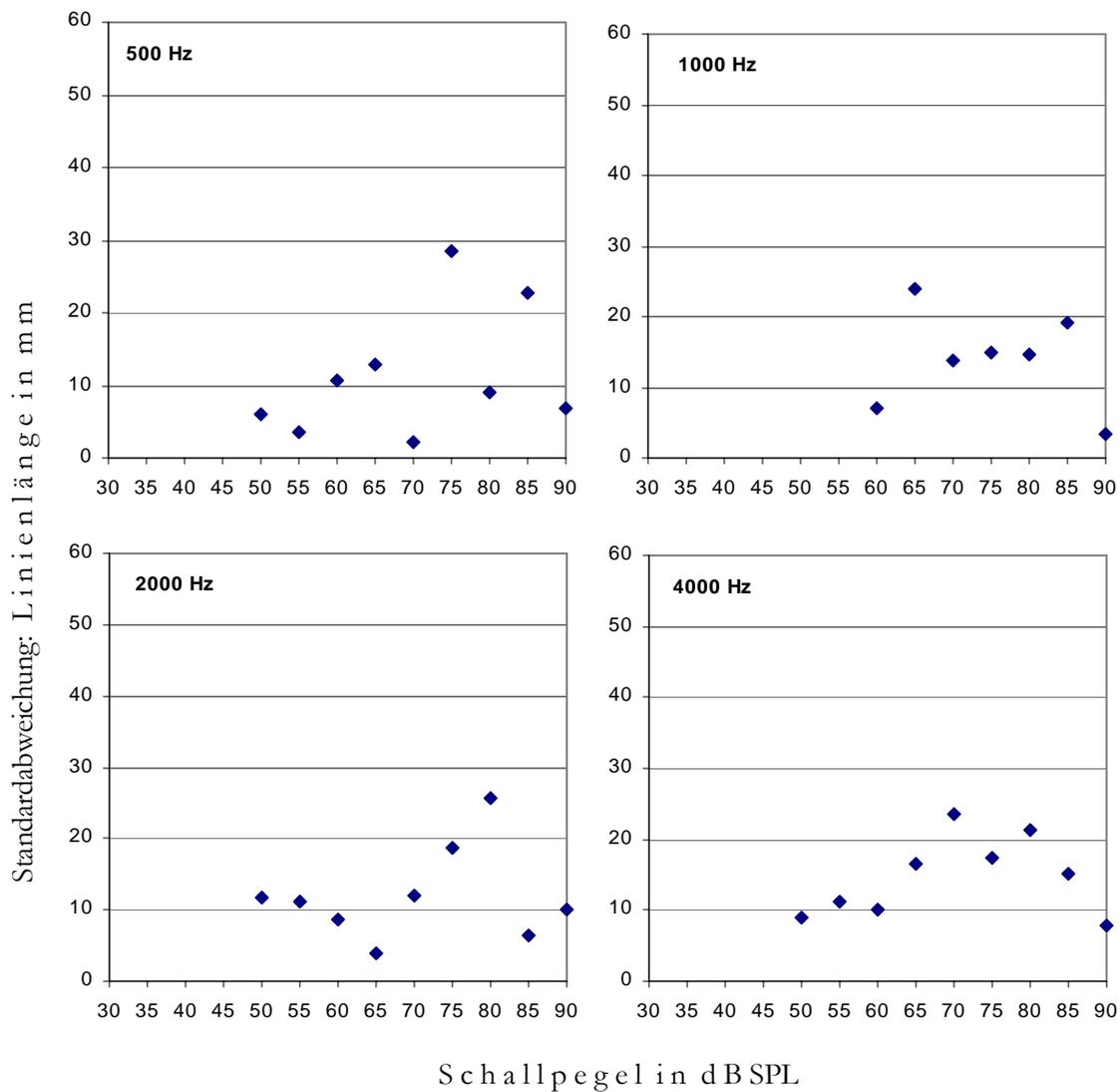


Abb. 21: Standardabweichung der Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linielänge“ von vier Versuchsdurchgänge eines Patienten mit Schalleitungsschwerhörigkeit links bei 500, 1000, 2000 und 4000 Hz, Freifelddarbietung bei Terzrauschen mit angegebenen Mittenfrequenzen.

C Patient S.E., geb. 17.04.1944, Schallleitungsschwerhörigkeit beidseits von 30-60 dB. Beidseitige Messung, Tonaudiogramm vom 17.07.2000, Untersuchung am 24.08.2000.

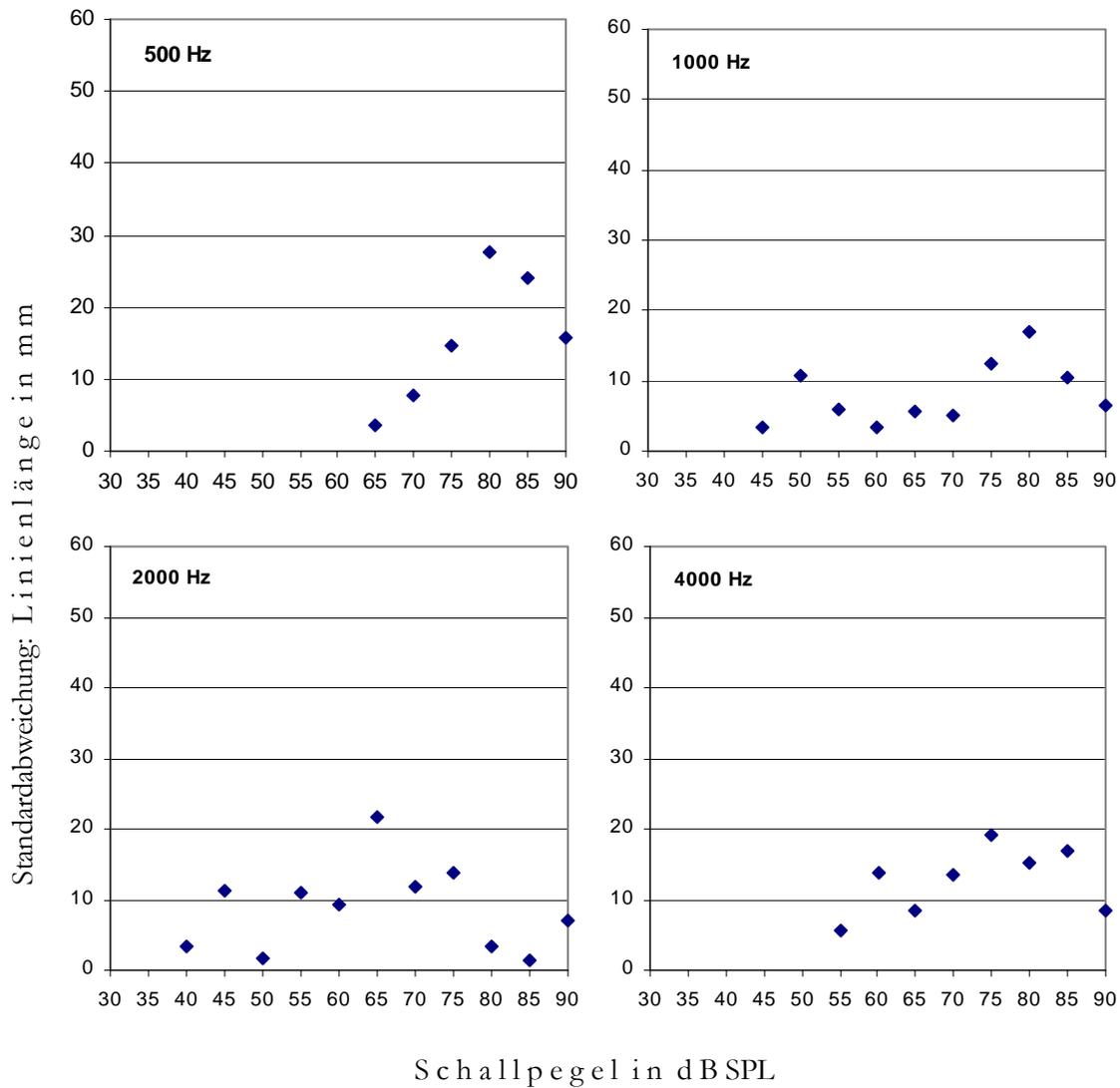


Abb. 22: Standardabweichung der Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ von vier Versuchsdurchgänge eines Patienten mit Schallleitungsschwerhörigkeit links bei 500, 1000, 2000 und 4000 Hz, Freifeldarbeit bei Terzrauschen mit angegebenen Mittenfrequenzen.

Aus den Abbildungen 17 bis 22 ist ersichtlich, dass die Standardabweichung bei vier Versuchswiederholungen nie größer als 30 mm ist. Für ein psychoakustisches Verfahren ist dieser Wert als gering zu bezeichnen. Das Verfahren zur Hörflächenskalierung nach der „Methode der Linienlänge“ zeichnet sich demnach durch eine hohe Reproduzierbarkeit aus.

Die große Varianz der Lautstärkebewertungen der zusammengefassten Patientengruppen (Abschnitt 3.2) ist somit nicht auf eine Ungenauigkeit der Patienten im Umgang mit dem Skaliertablett oder anderen Verfahrensfehlern zurückzuführen. Die Patienten bewerten für ein psychoakustisches Verfahren sehr genau. Sie treffen auf einer unbeschrifteten Skala von 270 mm Länge bei einem Geräusch gleicher Pegelstärke den Punkt mit einer Standardabweichung von höchstens 30 mm wieder. Dies ist eine für ein psychoakustisches Verfahren mit ungeübten Versuchspersonen ausreichende Genauigkeit. In der Studie zur „Methode der Linienlänge“ an Normalhörenden ergab sich aus den Pegellautheitsbewertungen der Probanden eine Standardabweichung bis 28 mmLL (Kopf 2004). Diese unterscheidet sich somit kaum von den Bewertungen durch die Schwerhörigen.

In Abbildung 23 ist für jede Mittenfrequenz noch einmal der Mittelwert der Standardabweichung mit Median und Interquartilbereich pro Patient dargestellt. Auch hier liegen die Abweichungen nicht über 30 mmLL. Auch die geprüfte Mittenfrequenz hat also keinen Einfluss auf die große Streuung der Ergebnisse der gemittelten Lautstärkebewertung unter 3.2. Dies wird aus der Diagrammdarstellung in Abbildung 23 ersichtlich.

Ursache für die großen Spannweiten der Interquartilbereiche in den zusammengefassten Ergebnissen der Schwerhörigen ist somit die Mittelung der Ergebnisse von Patienten mit unterschiedlicher Ausprägung der Schwerhörigkeit. Während zum Beispiel ein Patient eine Innenohrhochtonschwerhörigkeit von 30 dB bei einer Mittenfrequenz von 4000 Hz hat, leidet ein anderer bei der gleichen Mittenfrequenz unter einem Hörverlust von 60 dB. Werden die Lautstärkebewertungen der beiden Patienten gemittelt, ergibt sich somit eine weitaus größere Streuung der Ergebnisse als bei Vorliegen eines möglichst gleichen individuellen Hörverlust.

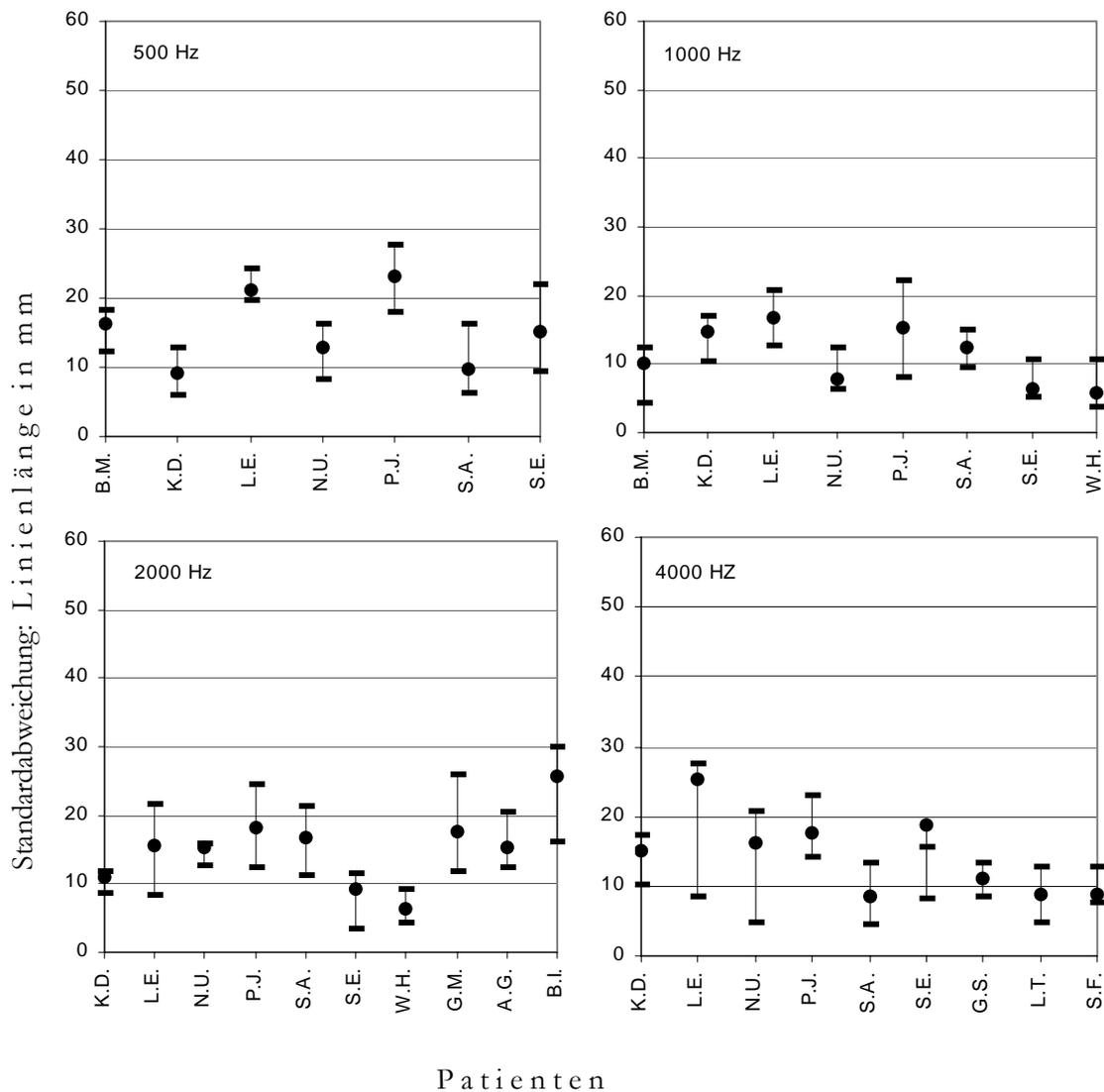


Abb. 23: Median und Interquartilbereich der mittleren Standardabweichung der Lautstärkebewertung, ermittelt mit der „Methode der Linielänge“ an 15 Schwerhörigen, geordnet nach den vier Mittenfrequenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Hz. Einem Punkt auf der X-Achse ist je ein Patient zugeordnet.

Auf die Anwendung der „Methode der Linielänge“ im klinischen Alltag hat diese Beobachtung jedoch keinen Einfluss. In der praktischen Anwendung wird immer nur das Ergebnis der Hörfeldaudiometrie eines einzelnen Patienten begutachtet und zur Hörgeräteanpassung herangezogen. Wie die Fallbeispiele unter 3.2 zeigen kann der Untersucher schnell den Restdynamikbereich des Schwerhörigen erfassen und die nötige Kompression für das Hörgerät in Anlehnung an die Werte der Normalhörenden daraus errechnen.

4 DISKUSSION

Obwohl Verfahren zur direkten Lautheitseinschätzung bereits in den fünfziger Jahren von Stevens vorgeschlagen wurden (Stevens 1956), beginnen sie sich erst heute mit der Einführung moderner Hörgeräte in der Audiologie im Rahmen der vergleichenden Hörgeräteanpassung zu etablieren.

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation der TU München wurde in der Klinik für HNO – Heilkunde der LMU München eine neue Methode zur audiologischen Registrierung der Pegellautheitsfunktion entwickelt (Gottschling et al. 1998). Diese dient der Erfassung der Lautheitswahrnehmung und wurde als „Methode der Linienlänge“ bezeichnet. In der vorliegenden Arbeit wurden erstmals schwerhörige Patienten mit der „Methode der Linienlänge“ untersucht.

Im Gegensatz zu bestehenden Verfahren gibt die „Methode der Linienlänge“ den Patienten bzw. den Versuchspersonen zur Hörfeldskalierung keine kategoriale Einteilung vor. In allen vorangegangenen Untersuchungen der Lautheitswahrnehmung wurde eine gewisse Zahl von Lautheitskategorien (zum Beispiel: “sehr leise” - “leise” - “mittel” - “laut” - “sehr laut”) als Antwortmöglichkeit vorgegeben, in welche Geräusche eingeordnet werden sollten. Eine Einteilung in Kategorien wurde bei der Methode der Linienlänge nicht angewendet, da in Vorarbeiten nachgewiesen werden konnte, dass die Beeinflussung durch Kategorien zu einer Anwohpfung an den vorgegebenen Kategorien führte (Baumann et al. 1997). Aufgabe der vorgelegten Arbeit war es, die neue Methode bei Schwerhörigen auf Eignung zu untersuchen. Es wurde die Lautstärkeempfindung von Patienten mit Schalleitungsschwerhörigkeit, panchochleärer Innenohrschwerhörigkeit, Innenohrhochtonschwerhörigkeit und Tinnitus mit der „Methode der Linienlänge“ untersucht und dabei 120 Messungen zur Bestimmung der Lautheitswahrnehmung durchgeführt. Bei einigen Patienten wurde die Untersuchung mehrmals wiederholt. Einige Patienten wurden einseitig, andere beidseitig gemessen.

Für die Lautheitsskalierung mit der „Methode der Linienlänge“ wurde ein eigens für die Untersuchung entwickelter, computergesteuerter Messplatz verwendet (Abb. 2, S.12). Auf einem Skaliertablett mit berührungssensitiver Streifenskala wurde die Lautheitsempfindung von Patienten durch Fingerdruck

registriert (Abb. 3, S.13). Die Aufgabe des Patienten war es, seine Lautheitsempfindung durch Berührung der Streifenskala mit dem Zeigefinger auf dem Skaliertablett anzugeben. Die Skalierung erfolgte für 52 Schallsignale, je 13 Schallpegel zwischen 30 und 90 dB der Mittenfrequenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Hz. Die Ergebnisse jeder Frequenz wurden in ein Diagramm eingetragen.

Die Versuchsbedingungen wurden so definiert, dass mögliche zufällige und systematische Fehler minimiert sind. Die Apparatur wurde regelmäßig kalibriert, um Messfehler weitestgehend auszuschließen. Die Auswahl und Anzahl der Patienten wurde so gewählt, dass sie den allgemeinen üblichen statistischen Anforderungen an eine solche Arbeit entsprach. Die Schwerhörigkeit der Patienten wurde durch die Audiologieabteilung des Universitätsklinikums Großhadern mittels Tonaudiogramm und überschwelligem Testverfahren exakt ermittelt. Bei Vorliegen eines Tinnitus wurde dieser bestimmt und maskiert.

4.1 Vorversuch zum Ausschluss von Vertäubungsfehlern

Nicht alle Patienten haben eine symmetrische Schwerhörigkeit. Die Vertäubung des besserhörenden Ohres ist bei Verwendung von Kopfhörern ein übliches Verfahren in der Audiologie, kann jedoch im freien Schallfeld zu einer veränderten Lautheitsbewertung führen, da Summationseffekte auftreten. Aus diesem Grund war es erforderlich, eine Maßnahme zur Ausschaltung des besserhörenden Ohres zu entwickeln. Um die Wirksamkeit des Ohrverschlusses und mögliche Effekte des einohrigen Hörens auf die Lautheitsempfindung zu klären, wurden Untersuchungen mit Normalhörenden durchgeführt. Wir verwendeten zum Ohrverschluss eine selbsthärtende Silikonabdruckmasse, welche flüssig in den äußeren Gehörgang appliziert wurde und nach einigen Minuten so verhärtete, dass der Gehörgang damit abgedichtet war. An sechs Normalhörenden wurden in den vier Frequenzen (500, 1000, 2000 und 4000 Hz) jeweils mit beidseits offenen, einseitig verschlossenen und beidseitig verschlossenen Ohren die Lautheitswahrnehmung geprüft.

Die Ergebnisse zeigen kaum Unterschiede zwischen beidseits offenem und einseitig verschlossenem Gehörgang, jedoch wie erwartet eine deutliche Differenz der Lautheitsempfindung zwischen beidseits offenem und beidseits verschlossenem Gehörgang. Die durch die Silikonmasse eingebrachte Dämpfung

betrug bei 500 Hz 10 dB, bei 1000 Hz 15 dB, bei 2000 Hz 15 dB und bei 4000 Hz 25 dB (Abb. 4, S.18).

Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass die von uns verwendete Methode des Ohrverschlusses bei unsymmetrischem Hörvermögen bis 40 dB Seitendifferenz eingesetzt werden kann.

Unsere Dämpfungsergebnisse sind vergleichbar mit den Untersuchungen von Fletscher und Munson (1933), Marks (1978), Reynolds und Stevens (1960), Scharf und Fishken (1970) sowie Christen (1980), welche die binaurale Lautheitssummation von Sinustönen oder Geräuschen untersuchten und keinen Unterschied in der mon- und binauralen Lautheitswahrnehmung feststellten. Diese Versuche wurden wie in unserer Klinik an normalhörenden Probanden vorgenommen. Untersuchungen an Schwerhörigen ergaben keinen signifikanten Unterschied zwischen der binauralen Lautheitssummation der Schwerhörigen und der Normalhörenden (Hawkins et al. 1987, Dermody und Byrne 1975, Hall und Harvey 1985)

In Übereinstimmung mit der Literatur führt unser Verfahren des Ohrverschlusses mit Silikon bis zu einer Seitendifferenz des Gehörs von ca. 40 dB zu einer ausreichenden Dämpfung des nicht geprüften, besser hörenden Ohres und kann somit auch bei Schwerhörigen mit seitendifferentem Hörvermögen eingesetzt werden.

4.2 Reproduzierbarkeit

Voruntersuchungen an Normalhörenden haben gezeigt, dass intraindividuelle Schwankungen bei der Lautheitsskalierung mit der „Methode der Linienlänge“ auftreten können. Diese sind jedoch gering und entsprechen den Schwankungen anderer psychoakustischer Testverfahren, auch der Lautheitsskalierung mit dem Würzburger Hörfeld (Baumann et al. 1997). Im Rahmen der vorgestellten Untersuchung wurde die intraindividuelle Streuung an 15 schwerhörigen Patienten ermittelt, bei denen die Untersuchung viermal in jeder Frequenz durchgeführt wurde. Es zeigte sich, dass die intraindividuelle Streuung mit einer Schwankung von höchstens 30 mmLL für ein psychoakustisches Testverfahren relativ gering ist. Somit kann die Methode im Rahmen der audiologischen Untersuchung sinnvoll angewendet werden.

Zur Reproduzierbarkeit der „Methode der Linienlänge“ wurden von Kopf bereits Versuchsreihen an Normalhörenden durchgeführt (Kopf 2004). Er fand heraus, dass die Schwankungen, verglichen mit

der „Methode Würzburger Hörfeld“, in etwa deckungsgleich waren. Die Normalhörenden hatten in beiden Studien eine intraindividuelle Schwankung von höchstens 28 mmLL. Diese lag damit knapp unter derjenigen der Schwerhörigen.

Die gemittelten Ergebnisse aus den Untersuchungen mit der „Methode der Linienlänge“ an Schwerhörigen zeigten abhängig von der Art der Hörstörung einen verschieden großen Interquartilbereich. Während das Pancochleäre- und Tinnitus-Patientenkollektiv einen geringen Interquartilbereich aufwiesen, fanden sich bei Hochton- und Schalleitungsschwerhörigen größere Interquartilbereiche (Abbildungen 8 (S. 28), 11 (S. 35), 13 (S. 40) und 15 (S. 45)). Die Ursache der großen Interquartilbereiche ergibt sich aus der Mittelung der Ergebnisse von Patienten mit unterschiedlicher Ausprägung der Schwerhörigkeit in den verschiedenen Frequenzen. Für die klinische Eignung der „Methode der Linienlänge“ ausschlaggebend ist jedoch nicht die interindividuelle, sondern die intraindividuelle Reproduzierbarkeit.

4.3 Bestimmung der Hörschwelle

Die Methodik der Wahl zur Bestimmung der Hörschwelle ist das Tonaudiogramm über Kopfhörer. Mit der „Methode der Linienlänge“ ist es ebenfalls möglich die Hörschwelle zu ermitteln. Da die Untersuchung im freien Schallfeld durchgeführt wird, muss allerdings zur getrenntohrigen Ermittlung das besser hörende Ohr gedämpft werden. Wie die Voruntersuchungen ergeben haben ist dies mit Silikonverschluss möglich. Wir konnten feststellen, dass die Hörschwellenbestimmung mit der „Methode der Linienlänge“ vergleichbar ist mit der Hörschwellenbestimmung durch das Tonaudiogramm. Der niedrigste Wiedergabepegel beträgt 30 dB SPL. Es konnten deshalb Schwerhörigkeiten ab 35 dB erfasst werden. Zum Vergleich verwendeten wir den Median der gemittelten Werte. Wie die Gegenüberstellung zeigt (siehe Tab. 10, S.62), stimmt diese mit der tonaudiometrischen Hörschwelle in etwa überein.

Art der Schwerhörigkeit	Hörschwelle bei 500 Hz	Hörschwelle bei 1000 Hz	Hörschwelle bei 2000 Hz	Hörschwelle bei 4000 Hz
	Median in dB	Median in dB	Median in dB	Median in dB
Innenhochtonschwerhörigkeit				55 dB/58 dB
panch. Innenohrschwerhörigkeit	45 dB/40 dB	45 dB/40 dB	40 dB/40 dB	50 dB/50 dB
Schallleitungsschwerhörigkeit (Luftleitung)	50 dB/55 dB	55 dB/58 dB	55 dB/60 dB	65 dB/65 dB

Tab. 10: Median der Hörschwelle ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ im Vergleich zum Tonaudiogramm.

4.4 Rekrutmenteffekt

Das Vorliegen eines Rekrutmenteffektes lässt sich aus dem Verlauf der individuellen Pegellautheitsfunktion eines Patienten leicht diagnostizieren. Im folgenden werden die Lautheitsbewertung eines Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit und Rekrutment mit den Ergebnissen eines Patienten mit Schallleitungsschwerhörigkeit bei 2000 Hz verglichen (Abb. 25, S63). In den niedrigen und mittleren Pegelbereichen liegen die Lautstärkebewertungen bei beiden Patienten deutlich unter der Bezugsgeraden. Bei höheren Pegeln kommt es bei dem Patienten mit Innenohrschwerhörigkeit zwischen 75 dB und 80 dB zu einem Sprung in der Lautheitsbewertung und damit zu einem Lautheitsausgleich im Sinne eines Rekrutments. Die Lautheitsbewertungen zwischen 80 dB und 90 dB liegen annähernd auf der Bezugsgeraden der Normalhörenden und sogar darüber. Die Lautheitsbewertung des Patienten mit Schallleitungsschwerhörigkeit verläuft dagegen konstant unterhalb der Bezugsgeraden und nähert sich dieser nicht an. Die Diagnose eines Rekrutments lässt

sich somit schnell und einfach mit einem Blick aus dem Verlauf der individuellen Pegellautheitsfunktion eines Patienten diagnostizieren.

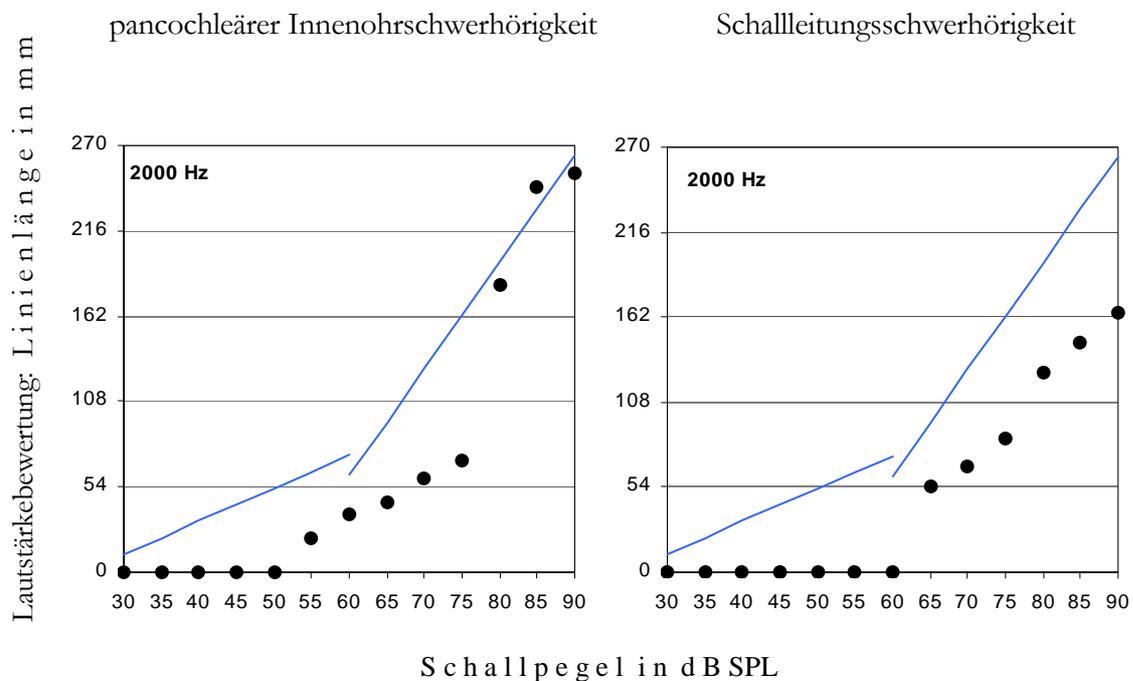


Abb. 25: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linienlänge“ bei einem Patienten mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit (links) im Vergleich zu einem Patienten mit Schalleitungsschwerhörigkeit (rechts). Lautstärkebeurteilungen in mm Linienlänge gegen den Pegel in dB SPL. Die Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

In Übereinstimmung mit den Untersuchungsergebnissen von Kießling und Mitarbeiter konnten wir nachweisen, dass die „Methode der Linienlänge“ ein sicherer Rekrutmentnachweis ist (Kießling et al. 1996).

4.5 Hörgeräteanpassung und -überprüfung

Mit der aus einer Hörfeldskalierung gewonnenen Pegellautheitsfunktion kann nicht nur die Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle bestimmt werden, sondern auch das überschwellige Anwachsen der Lautheitsempfindung. Somit sind die Daten, die aus der „Methode der Linienlänge“ gewonnen werden, für eine Hörgeräte-Anpassung ungleich wertvoller als die der Reintonaudiometrie.

Der frequenz- und pegelabhängige Lautheitsverlust, sowie der Dynamikbereich können einfach und schnell im Vergleich mit Bezugsgeraden von Normalhörenden ermittelt werden. Die Bestimmung des Hörverlustes, sowie der benötigten akustischen Verstärkung (Insertion gain) sind aus dem Untersuchungsergebnis ableitbar. Aus dem überschwelligen Anwachsen der Lautstärkebewertung lassen sich Parameter zur Einstellung der Hörgerätekompression bestimmen. Die Unbehaglichkeitsschwelle kann festgelegt werden und somit das Einsetzen der Spitzenbeschneidung (PC: Peak Clipping). Die Zone des angenehmen Hörens kann besser herausgearbeitet werden und der nötige Kompressionsfaktor leicht bestimmt werden.

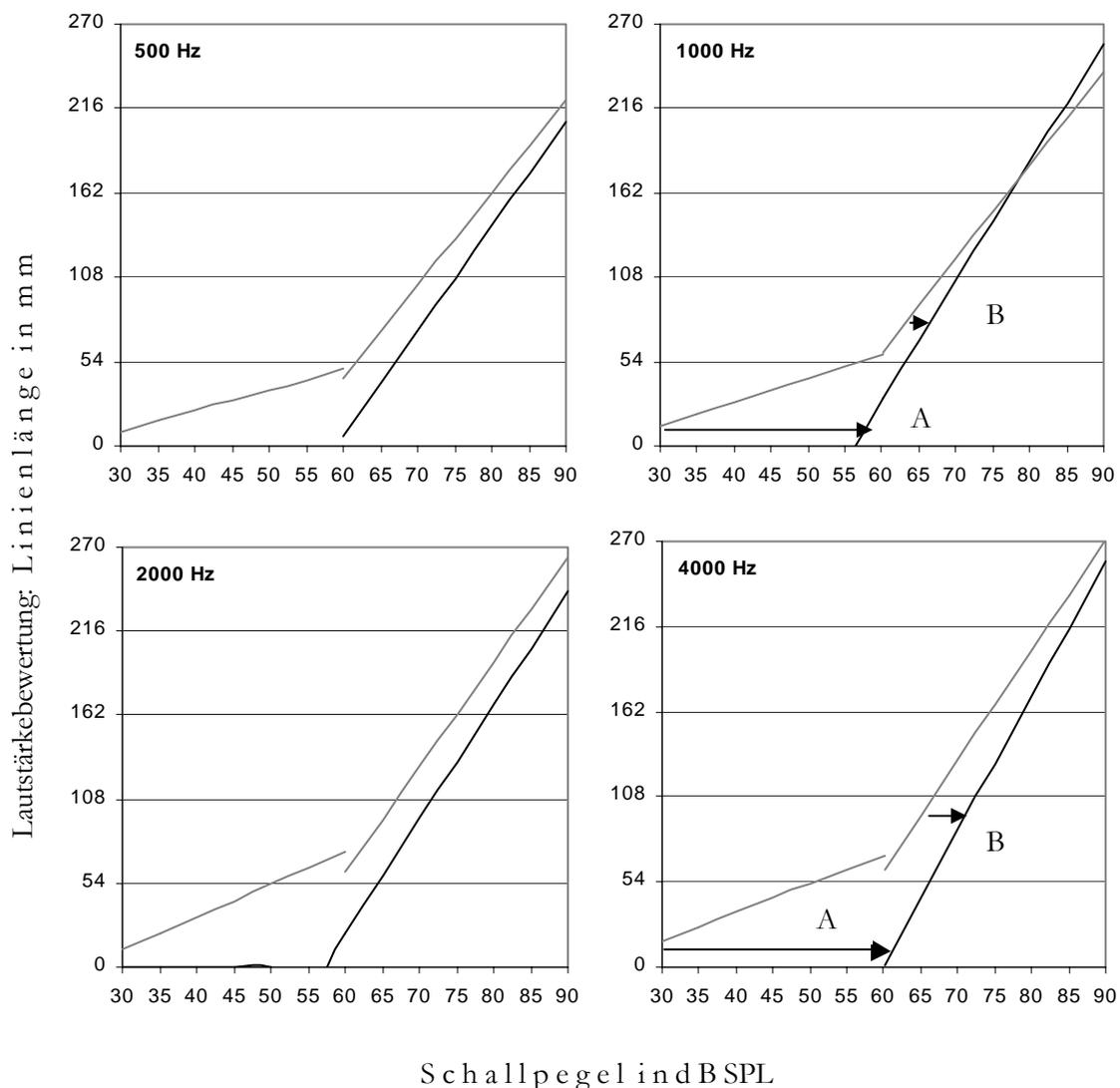


Abb. 25: Lautstärkebewertung ermittelt mit der „Methode der Linielänge“ bei einem Patienten (Patient H.S) mit pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit. Lineare Regression der Lautstärkebewertung in mm Linielänge gegen den Pegel in dB SPL (schwarz). Die grauen Geraden zeigen die aus den Bewertungen Normalhörender hervorgegangenen Bezugsgeraden an (Kopf 2004).

Die Hörschwelle des Patienten beträgt bei der Mittenfrequenz des SBR Signales 1000 Hz 57 dB, dargestellt durch den Pfeil A. Der Lautheitsverlust wird durch die Differenz zwischen der Lautheitsfunktion der Normalhörenden (grau) und der des Schwerhörigen (schwarz) dargestellt. Eine gut eingestellte Hörhilfe sollte diesen Lautheitsverlust ausgleichen.

Bei einem Schallsignal im Frequenzbereich von 1000 Hz mit einem Eingangsschallpegel von 65 dB darf das Hörgerät jedoch nur noch 5 dB verstärken (Pfeil B), um den erforderlichen Ausgangsschallpegel von 70 dB zu erzeugen. Durch die Verstärkung von 5 dB wird erreicht, dass der Schwerhörige unter Verwendung des Hörgerätes bei einem Eingangsschallpegel von 65 dB die gleiche Lautheitsempfindung erhält, wie ein Normalhörender. Bei einem Eingangsschallpegel von 80 dB ist bei obigem Patienten wegen des Lautheitsausgleich keine Verstärkung mehr notwendig.

Aus dem mit der „Methode der Linienlänge“ ermittelten Hörfeld kann man zur Wiederherstellung der normalen Lautstärkeempfindung sowohl die Verstärkung als auch den Ausgangsschallpegel des Hörgerätes bei jedem beliebigen Eingangsschallpegel für die untersuchte Mittenfrequenz ableiten. Der individuelle Lautheitsausgleich kann mit der „Methode der Linienlänge“ somit exakt festgelegt werden.

Die „Methode der Linienlänge“ eignet sich nicht nur für die Hörgeräteanpassung, sondern ebenso gut für die Überprüfung der Hörereinstellungen. Hierbei wird die Lautheitsskalierung mit angepasstem Hörgerät durchzuführen. Das individuelle Ergebnis lässt sich gut mit den Bezugsgeraden der Normalhörenden vergleichen und macht Abweichungen somit direkt sichtbar.

4.6 Differenzierung Schalleitungs- und Schallempfindungsschwerhörigkeit

Aus dem Verlauf der Pegellautheitsfunktion kann abgeschätzt werden, ob ein Innenohr- oder eine Schalleitungsschwerhörigkeit vorliegt. Abbildung 27 (S.66) stellt die, an die mittlere Lautheitsbewertung angepasste lineare Regression der Gruppe der Schalleitungsschwerhörigkeiten (links) und der Innenohrhohtonsschwerhörigkeiten (rechts) bei 4000 Hz vergleichend nebeneinander

dar. Bei Innenohr- oder Schalleitungsschwerhörigen verläuft die Pegellautheitsfunktion bei gering- bis mittelgradigen тонаudiometrischen Hörverlusten im Pegelbereich unterhalb 60 dB deutlich unter der Bezugskurve.

Während bei der Schalleitungsschwerhörigkeit oberhalb 60 dB Schallpegel keine Annäherung erfolgt, kommt es bei der Innenohrschwerhörigkeit zu einem Erreichen der Bezugsgeraden.

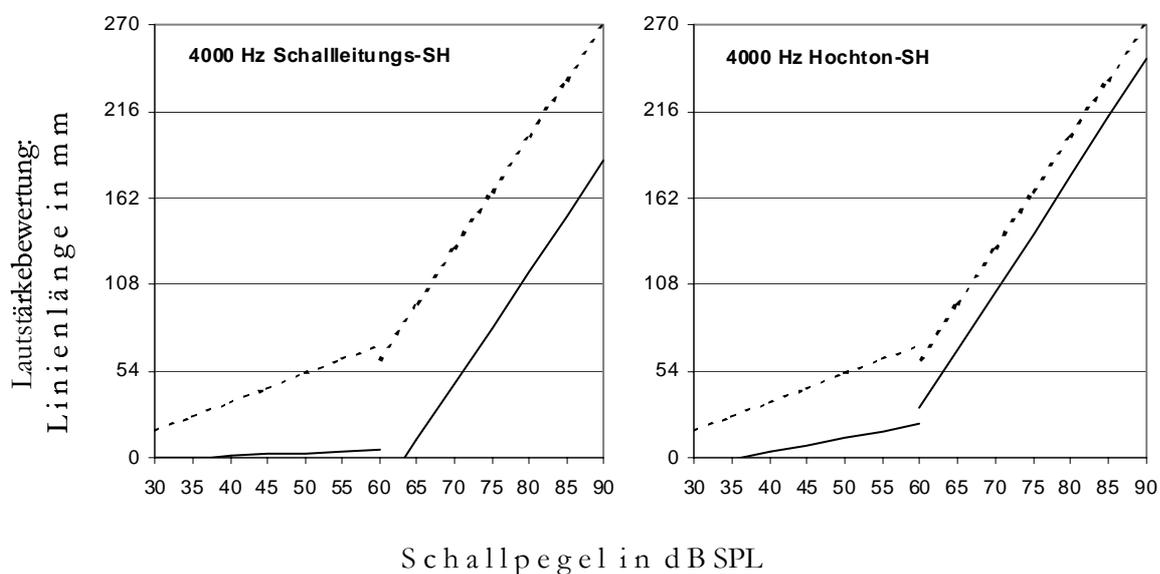


Abb. 27: Vergleich der Geraden erstellt aus der linearen Regression der Lautheitsbewertung bei Schwerhörigen (durchgezogen) und Normalhörenden (gestrichelt). Dargestellt sind Schalleitungsschwerhörigkeiten (links) und Innenohrhochtonschwerhörigkeiten (rechts) bei 4000 Hz.

4.7 Tinnitus

Die Gruppenergebnisse des Patientenkollektivs mit der Diagnose Tinnitus zeigten keine Hinweise für das Vorliegen einer Innenohrhochtonschwerhörigkeit (rechts) Hyperakusis (Abbildungen 15 und 16, S45f). Vereinzelt konnten zwar Ansätze für über der Bezugsgerade liegende Bewertungen gefunden werden, jedoch zeigten die mittleren Bewertungen nicht den vermuteten Hyperakusis-Effekt.

4.8 Schlussfolgerungen und der Gewinn für die Audiometrie

Spätestens nachdem nichtlineare und mehrkanalige Hörgeräte in großem Stil am Markt eingeführt worden sind, setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass eine differenzierte Anpassung dieser wie auch zukünftiger Gerätegenerationen mit herkömmlichen Verfahren nicht mehr möglich ist (Kießling und Schubert 2000). Das Würzburger Hörfeld wurde als Methode zur Anpassung und Überprüfung von mehrkanaligen Hörgeräten erschaffen, zeigte jedoch noch Mängel in der klinischen Anwendbarkeit aufgrund von Anwohnhäufungen an vorgegebenen Kategorien. In der vorliegenden Arbeit wurde versucht eine verbesserte Ausführung mit der „Methode der Linienlänge“ zu entwickeln. Auf die Einteilung in Kategorien auf dem Skaliertablett wurde verzichtet und somit eine kontinuierliche Hörfeldskalierung ermöglicht. Die Ergebnisse durch das Verfahren der Lautheitsskalierung mit der „Methode der Linienlänge“ zeigen eine gute Anwendbarkeit der Methode im klinischen Alltag. Aufgrund leichter Durchführung, geringen Aufwandes und hoher Reproduzierbarkeit bietet dieses Verfahren eine neue Grundlage zur Auswahl, Einstellung und Überprüfung von Hörgeräten. Durch die „Methode der Linienlänge“ erhält der HNO-Arzt einen sehr individuellen Eindruck vom Gehör seines Patienten. Die diagrammähnliche Darstellung der Messwerte bietet ihm und dem medizinischen Assistenzpersonal eine schnelle und übersichtliche Auswertung der Ergebnisse.

Der gesamte Restdynamikbereich eines Schwerhörigen ist durch Bestimmung der Hörschwelle, der Unbehaglichkeitsschwelle und des Lautheitsanstieges mit der „Methode der Linienlänge“ bei geringem Zeitaufwand einzusehen. Hieraus lassen sich für den HNO-Arzt Rückschlüsse für die Auswahl, Einstellung und Überprüfung eines Hörgerätes ermitteln.

Es ist zu erwarten, dass die neu entwickelte „Methode der Linienlänge“ in Zukunft herkömmliche Verfahren in der Hörgeräteanpassung und Überprüfung ersetzen wird.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war es, den Verlauf der Lautheitsfunktion schwerhöriger Menschen aufzudecken, um die Hörgeräte-Anpassung zu verbessern. Hierzu wurde von uns eine neu entwickelte Lautheitsskalierung nach der „Methode der Linienlänge“ eingesetzt. Der Vorteil dieses neuen Verfahrens liegt in einer freien und direkten Bewertung präsentierter Schallsignale in Form von Linienlängenangaben an einer kontinuierlichen Skala zwischen den zwei Kardinalpunkten „extrem leise“ und „extrem laut“.

Da die meisten unserer schwerhörigen Patienten eine asymmetrische Schwerhörigkeit aufwiesen, war es erforderlich in einem Vorversuch den Unterschied zwischen monauralem und binauralem Lautheits-eindruck zu untersuchen. Es nahmen sechs normalhörende Probanden, zuerst ohne Ohrverschluss, dann mit einseitigem und schließlich mit beidseitigem Ohrverschluss durch eine Silikonabdruckmasse, an der Untersuchung bei dreimaliger Wiederholung teil. Die Ergebnisse zeigten hinsichtlich der Lautheitswahrnehmung eine sehr geringe Differenz ohne und mit einseitigem Ohrverschluss bis 40 dB Hörverlust.

Das neue Verfahren zeigt eine hohe Reproduzierbarkeit auf, wie durch viermaliges Wiederholen an Schwerhörigen geprüft wurde. Die ermittelte Standardabweichung der vier Versuchsdurchgänge war nie größer als 30 mm Linienlänge bezogen auf eine Gesamtlinielänge von 270 mm. Damit zeigt die „Methode der Linienlänge“ eine sehr gute Reproduzierbarkeit.

In 120 Versuchsdurchläufen wurden an 75 Schwerhörigen die Lautheitsfunktionen verschiedener Arten von Schwerhörigkeiten untersucht. Diese gliederten sich in Patienten mit Innenohrhochtonschwerhörigkeit, pancochleärer Innenohrschwerhörigkeit, Schalleitungsschwerhörige und Patienten mit Tinnitus ohne Hörverlust. In Abhängigkeit von der Art der Schwerhörigkeit zeigten die Pegellautheitsfunktionen unterschiedliche Verläufe. Die innenohrschwerhörigen Patienten zeigten einen deutlich eingeschränkten Restdynamikbereich, aber auch interindividuelle Unterschiede bei gleichem Hörverlust.

Man kann aus den Pegellautheitsfunktionen direkt ablesen, welche Hörgeräteverstärkung bei den einzelnen Frequenzbereichen ab einer gewissen Lautstärke erforderlich ist. Auch die Kompression kann in den einzelnen Frequenzen individuell eingestellt werden. Die beim Tinnitus immer wieder beklagte Hyperakusis konnten wir nicht feststellen (Abb. 15, S. 45).

Die einfache Durchführung der Untersuchung, der geringe Zeitaufwand und die hohe Reproduzierbarkeit der „Methode der Linienlänge“ machen sie zu einer attraktiven Ergänzung in der modernen Hörgeräteanpassung und Überprüfung.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- Allen JB, Hall JL, Jeng PS (1990) *Loudness growth in half-octave bands (LGOB)-a procedure for the assessment of loudness*. J Acoust Soc Am 88:745-753
- Baumann U, Stemplinger I, Arnold B, Schorn K (1997) *Bezugskurven für die Hörflächenskalierung in der klinischen Anwendung*. Laryngo Rhino Otol 76:458-465
- Berger KW, Hagberg EN, Rane RL (1989) *Prescription of hearing aids: Rationale, Procedure and Results, 5th ed.*. Herald Publishing House Kent, Ohio
- Byrne D, Dillon H (1986) *The National Acoustic Laboratories (NAL) New procedure for selecting the gain and frequency response of a hearing aid*. Ear and Hear. 7:257-265
- Christen R (1980) *Binaural summation at the most comfortable loudness level*. Austral J of Audiol 2:92-98
- Cox RM, Alexander GC, Taylor IM, Gray G (1997) *The contour test of loudness perception*. Ear Hear 18:388-400
- Dermody P, Byrne D (1975) *Loudness summation with binaural hearing aids*. Scandinavian Audiology 4:23-28
- DIN 45 627 (1991) *Audigramm-Formblatt für Reintonaudiometer*. Deutsches Institut für Normierung. Beuth-Vertrieb GMBH, Berlin 30 und Köln.
- DIN 45 630 (1967) *Audigramm-Formblatt für Reintonaudiometer*. Deutsches Institut für Normierung. Beuth-Vertrieb GMBH, Berlin 30 und Köln.
- Fletscher H, Munson W (1933) *Loudness, its definition, measurement and calculation*. J Acoust Soc Am 5:82-108
- Gottschling G, Schmid W, Fastl H (1998) *Vergleich psychoakustischer Methoden zur Skalierung der Lautstärke: 1. Grundlagen*, in: Sill A (ed) Fortschritte der Akustik - DAGA 1998. Oldenburg, DEGA eV , 476-477
- Hall J, Harvey A (1985) *Diotic loudness summation in normal and impaired hearing*. Speech and Hearing Research 28:445-448
- Hawkins DB, Walden B, Montgomery A, Prosek R (1987) *Binaural Loudness Summation in the Hearing Impaired*. Speech and Hearing Research 30:37-43
- Heil- und Hilfsmittelrichtlinien, Fassung vom 14. 02.1995, veröffentlicht im Bundesanzeiger vom 31.05.1995, F Hörhilfen 62.2
- Hellbrück J (1993) *Hören – Physiologie, Psychologie und Pathologie*. Hogrefe, Göttingen S195ff
- Hellbrück J, Moser LM (1985) *Hörgeräteaudiometrie: ein computer-unterstütztes psychologisches Verfahren zur Hörgeräteanpassung*. Psychol Beiträge 27:478-493
- Heller O (1985) *Hörfeldaudiometrie mit dem Verfahren der Kategorienunterteilung (KU)*. Psychol Beiträge 27:478-493
- Hellmann RP, Zwislocki JJ (1968) *Loudness determination at low sound frequencies*. J Acoust Soc Am 43:60-64

- Keidser G, Seymour J, Dillon H, Grant F, Byrne D (1999) *An efficient, adaptive method of measuring loudness growth functions*. Scand Audiol 28:3-14
- Keller F (1980a) *Hörgeräteanpassung*. In Geers VJ, Keller F, Löwe A, Plath P: Technische Hilfe bei der Rehabilitation Hörgeschädigter. Springer, Berlin , 97-153
- Keller F (1980b) *Hörgeräte-Charakteristiken*. In Geers VJ, Keller F, Löwe A, Plath P: Technische Hilfe bei der Rehabilitation Hörgeschädigter. Springer, Berlin , 67-92
- Keller F (1988) *Der Löwensprung bei der Hörgeräteanpassung*. Hörakustik 11:4-11, 2:28-33
- Kießling J (1978) *Die Dynamik des Stapediusreflexes und dessen Bedeutung für die Hörgeräteanpassung*. Laryngo Rhino Otol 57:823-829
- Kießling J, Kollmeier B, Diller G (1997) *Versorgung und Rehabilitation mit Hörgeräten*. 1. Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart
- Kießling J, Pfreimer C, Schubert M (1996) *Rekrutmentnachweis – Kategorial- Lautheitsskalierung und klassische überschwellige Audiometrie im Vergleich*. Laryngo Rhino Otol 75:10-17
- Kießling J, Schubert M (1995) *Ein adaptives Verfahren zur Hörgeräteanpassung mittels Lautheitsskalierung (ScalAdapt)*. Hörakustik 3:4-15
- Kießling J, Schubert M (2000) *Ein Zug setzt sich in Bewegung*. Hörakustik 2:5-14
- Kießling J, Schubert M, Wagner I (1994) *Lautheitsskalierung*. HNO 42:350-357
- Kollmeier B (1997) *Klinische Diagnostik mit der Lautheitsskalierung*. In: Kollmeier B (ed) Hörflächenskalierung – Grundlagen und Anwendung in der kategorialen Lautheitsskalierung für Hördiagnostik und Hörgeräteversorgung. Median, Heidelberg , 167-189
- Kollmeier B, Hornig S, Schönfeld R. (1997) *Beziehung zwischen Sprachaudiometrie und kategorialer Lautheitsskalierung*. Median Verlag , 181-189
- Kopf C (2004) *Hörflächenskalierung mit der „Methode der Linienlänge“ an Normalhörenden*. Dissertation Universität München
- Launer S (1995) *Modelling loudness perception in sensorineural hearing-impairment*. Dissertation Universität Oldenburg
- Lehnhardt E (1996) *Praxis der Audiometrie*. 7. Auflage. Thieme Verlag, Stuttgart
- Marks L (1978) *Binaural Summation of the Loudness of pure tones*. J Acoust Soc Am 64:107-113
- McCandless GA, Lyregaard PE (1983) *Prescription of gain / output (POGO) for hearing aids*. Hear.Instr. 34:16-21
- Moore BC, Johnson JS, Clark TM (1992) *Evaluation of a dual channel full dynamic range compression system for people with sensorineural hearing loss*. Ear Hear 13:349-370
- Pascoe DP (1985) *Hearing aid evaluation*. In: Katz J: Handbook of Clinical Audiology. 5 rd ed. Williams und Wilkins, Baltimore , 936-948
- Reynolds G, Stevens S (1960) *Binaural Summation of Loudness*. J Acoust Soc Am 32:1337-1344

- Richtberg W (1989) *Schwerhörigkeit als psycho-soziale Behinderung*. Audiol Akust 28:12-21
- Scharf B, Fishken D (1970) *Binaural Summation of Loudness: Reconsiderd*. Experimental Psychology 86:374-379
- Schnell R, Hill PB, Esser E (1999) *Methoden der empirischen Sozialforschung*. Oldenburg Verlag, München
- Schorn K (1994a) *Allgemeine Untersuchungen*. In: Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis, Band 1, Naumann HH et. al., Thieme-Verlag, Stgt., N.Y., 306-355
- Schorn K (1994b) *Hörgeräte*. In: Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis, Naumann HH et al., Thieme-Verlag, Stgt., N.Y., 812-834
- Stevens SS (1956) *On the psychophysical law*. Psychol Rev 64:153-181
- Stevens SS (1959) *On the validity of the loudness scale*. J Acoust Soc Am 31:995-1003
- von Wedel H, Meister H, Walger M (2000) *Untersuchung zur Hörflächenskalierung im Rahmen der Hörgeräteversorgung*. HNO 48:189-194
- Zelnik E (1982) *Hearing aid selection*. Hearing Aid J Part 1 35:32-38, Part 2 36:29-32
- Zwicker E, Fastl H (1990) *Psychoacoustic, Facts and Models*. Berlin, u.a. Springer Verlag

7 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

cu	categorical-unit
dB	Dezibel
dB HL	Dezibel Hearing Level/ Hörverlust
dB opt	Pegel bester Verständlichkeit
dB SL	Sensation Level
dB SPL	Dezibel Sound Pressure Level
m	Steigung
MCL	Most Comfortable Loudness
mmLL	Millimeter-Linienlänge
NAL	National Acoustic Laboratories
Pa	Pascal
POGO	Prescription of Gain Output
SISI	Short Increment Sensitivity Index
VAS	Visuelle Analogskala
WHF	Methode Würzburger Hörfeld

8 ANHANG

Darbietungsreihenfolge der Schallreize:

Schallreiz	Frequenz in Hz	Pegel in dB
1	1000	70
2	4000	50
3	500	85
4	2000	35
5	500	50
6	500	60
7	500	90
8	500	75
9	500	35
10	500	85
11	500	30
12	500	70
13	500	40
14	500	80
15	500	45
16	500	65
17	500	55
18	1000	65
19	1000	30
20	1000	50
21	1000	75
22	1000	45
23	1000	70
24	1000	90
25	1000	60
26	1000	40
27	1000	85
28	1000	35
29	1000	55
30	1000	80
31	2000	55
32	2000	80
33	2000	40
34	2000	65
35	2000	50
36	2000	70
37	2000	90
38	2000	60

39	2000	30
40	2000	85
41	2000	35
42	2000	45
43	2000	75
44	4000	70
45	4000	45
46	4000	80
47	4000	40
48	4000	85
49	4000	30
50	4000	60
51	4000	90
52	4000	50
53	4000	65
54	4000	55
55	4000	75
56	4000	35

Lebenslauf

Name: Christina Hiltensperger

Geburtsdatum: 14.10.1973

Geburtsort: München

Eltern: Dr. med. Hannelore Hiltensperger, geb. Tyroller,
Dr. med. Franz Hiltensperger

Familienstand: ledig

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung: 1980-1984 Grundschule Ebersberg
1984-1991 Gymnasium Schrobenhausen
1991-1993 Gisela Gymnasium München, Allgemeine Hochschulreife

Medizinstudium: WS 1993/94 Beginn des Studiums der Humanmedizin an der
Ludwig Maximilians-Universität München

WS 1995/96 Ärztliche Vorprüfung

WS 1996/97 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

WS 1998/99 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

30.Mai 2000 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

03/01-09/02 AiP in der chirurgischen Abteilung des
Kreiskrankenhauses Prien am Chiemsee und der Kinder-
und Jugendmedizin im Klinikum Traunstein

10/02-11/03 Assistenzärztin für Allgemeinmedizin im Klinikum
Traunstein mit Rotation in Pädiatrie, Urologie und
Kardiologie

Danksagung

Frau Prof. Dr. med. C. Schorn danke ich für die Möglichkeit zur Dissertation an der HNO-Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München und für die Überlassung des Themas, sowie für das immerwährende Interesse am Fortschritt der Arbeit und die stets freundliche Betreuung.

Weiterer Dank gebührt meinen Betreuern, Frau Dr. med. B. Arnold und Herrn Dr.-Ing. U. Baumann der HNO-Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München für die hervorragende Betreuung und Unterstützung bei all meinen Fragen und Problemen hinsichtlich dieser Doktorarbeit.

Außerdem danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Audiologieabteilung des Klinikums Großhadern für ihre hilfreiche und vielfältige Unterstützung.

Zu guter Letzt und dafür aber besonders herzlich, danke ich meinen Eltern und meiner Großmutter, die mich nicht nur bei dieser Arbeit, sondern während des gesamten Studiums unterstützten.

