

Verkürzung der trueLOUDNESS Anpassmethode zur binauralen breitbandigen Lautheitsnormalisierung in Hörgeräten

L.C. Suck^{1,2}, L. Hartog¹, S.D. Ewert², V. Hohmann², D. Oetting¹

¹HörTech gGmbH, Oldenburg

²Universität Oldenburg, Oldenburg

Schlüsselwörter: Hörgeräteanpassung, Lautheit, Lautheitsskalierung

1. Einleitung

Die individuelle Lautheitswahrnehmung spielt eine entscheidende Rolle bei der Anpassung von Hörgeräten. Neben der schmalbandigen Lautheitswahrnehmung hat die binaurale breitbandige Lautheitswahrnehmung einen hohen Einfluss auf die individuellen Verstärkungswerte, die zu einer Normalisierung der Lautheitswahrnehmung führen. Durch große Unterschiede in der binauralen breitbandigen Lautheitswahrnehmung können Probanden mit ähnlichen Audiogrammen sehr unterschiedliche Verstärkungswerte benötigen. Das lautheitsbasierte Anpassverfahren trueLOUDNESS [1,2] berücksichtigt die binaurale breitbandige Lautheitswahrnehmung. Es konnte gezeigt werden, dass mit diesen Einstellungen der Verstärkungswerte ein normales Lautheitsempfinden mit Hörgeräten erreicht wurde [3].

Für den Einsatz der bestehenden trueLOUDNESS Methode in der Praxis ist die Messdauer von 30-40 min noch deutlich zu hoch. Neben den schmalbandigen Lautheitsfunktionen an sechs Mittenfrequenzen (250, 500, 1.000, 2.000, 4.000, 6.000 Hz) auf der rechten und linken Seite wird auch die Lautheitsfunktion eines binaural breitbandigen Signals mit schmalbandigem Lautheitsausgleich [3] für die Berechnung benötigt. Die Methode wird als 6F Methode bezeichnet, da die schmalbandigen Lautheitsfunktionen an allen sechs Frequenzen gemessen werden.

Das Ziel dieser Arbeit war es eine schnelle trueLOUDNESS Methode zu entwickeln, die mit einer kürzeren Messzeit im Vergleich zur 6F Methode zu ähnlichen Verstärkungsvorhersagen führt. Da ein Großteil der Messzeit auf die Bestimmung der schmalbandigen Lautheitsfunktionen verwendet wird, würde eine Methode das größte Einsparpotential bieten, in der die schmalbandigen Lautheitsfunktionen schneller bestimmt werden können.

2. Entwicklung schneller trueLOUDNESS Methoden

Um eine schnelle Methode zur Bestimmung der schmalbandigen Lautheitsfunktionen zu entwickeln, wurde ein bestehender Datensatz mit schmalbandigen Lautheitsfunktionen an sechs Mittenfrequenzen von N=26 normalhörenden Probanden sowie N=130 Probanden mit symmetrischen, altersbedingtem Hörverlust verwendet [3]. Damit sollen verschiedene Ansätze zur schnellen Bestimmung der schmalbandigen Lautheitsfunktion bewertet werden. Es wurden fehlerhafte Datensätze aus dem Datensatz entfernt. Für die Bestimmung der fehlerhaften Datensätze wurden folgende Kriterien angewendet: 1) Unterschiede von mehr als 25 dB zwischen Hörschwelle aus dem Audiogramm und Hörschwelle aus der Lautheitsfunktion 2) wahrgenommenen Antworten 25 dB unterhalb der Hörschwelle 3) Weniger als 10 Messpunkte (Abbruch der Lautheitsskalierung). Insgesamt wurden 56 Lautheitsfunktionen von 1560 vorhandenen Lautheitsfunktionen aus dem Datensatz entfernt.

2.1. Methode

Es wurden zwei verschiedene Ansätze für eine schnelle Methode zur Bestimmung der schmalbandigen Lautheitsfunktionen verfolgt:

Schätzung der schmalbandigen Lautheitsfunktionen durch die audiometrische Hörschwelle (0F Methode)

Für jede der sechs Frequenzen wurden die mittleren schmalbandigen Lautheitsfunktionen in Abhängigkeit der Hörschwelle aus dem vorliegenden Datensatz berechnet. Dazu wurden für alle Hörschwellen zwischen -10 und 100 dB HL mit einer 5 dB Schrittweite der Median der Pegel der Lautheitsfunktion bei den Lautheiten 5, 15, 25, 35 und 45 CU berechnet. Es wurde ein Toleranzbereich von ± 5 dB berücksichtigt, sodass z.B. für die Bestimmung der Lautheitsfunktion für eine Hörschwelle von 40 dB HL alle Probanden mit einer Hörschwelle von 35, 40 und 45 dB HL berücksichtigt wurden. Bei weniger als 5 Probanden wurde kein Median berechnet. Mit den fünf berechneten Pegeln wurde eine Lautheitsfunktion mit der BX Methode [4] berechnet, die als mittlere Lautheitsfunktion bei der Frequenz und bei dem Hörverlust angenommen wird. Die Methode wird als 0F Methode bezeichnet, da keine schmalbandigen Lautheitsfunktionen gemessen wird.

Schätzung der schmalbandigen Lautheitsfunktionen durch Messung der Lautheitsfunktion an einer oder zwei Mittenfrequenzen (1F und 2F Methode)

Hierzu wurde ermittelt bei welchen Frequenzen die Lautheitsfunktionen eine hohe Vorhersagekraft auf die Lautheitsfunktionen an den anderen Frequenzen haben. Mit der Messung der Lautheitsfunktion an einer oder

zwei Frequenzen soll eine Einteilung in unempfindlich, normal oder empfindlich für die Wahl der zu schätzenden Lautheitsfunktionen erfolgen. Hierfür wurden pro Frequenz bei einer gegebenen Hörschwelle drei verschiedene Lautheitsfunktionen bestimmt: unempfindlich, normal oder empfindlich. Mit Hilfe einer Korrelationsanalyse wurden die Abhängigkeiten zwischen den sechs Mittenfrequenzen analysiert, um zu entscheiden, welche Frequenz am geeignetsten für die Eingruppierung und damit für die Messung ist. Für die Korrelationsanalyse wurden die Pegeldifferenzen zwischen der gemessenen schmalbandigen Lautheitsfunktionen und der mittleren Lautheitsfunktion berechnet. So bedeuten positive Werte stets eine Abweichung in Richtung unempfindlicher, negative Werte zeigen eine empfindlichere gemessene Lautheitsfunktion im Vergleich zur mittleren Lautheitsfunktion an.

Zusätzlich wurden Grenzlautheitsfunktionen definiert, die bei der jeweiligen Frequenz zur Einteilung in die unterschiedlichen Kategorien genutzt werden. Die Methode wird als 1F bzw. 2F Methode bezeichnet, da die schmalbandige Lautheitsfunktionen an einer oder zwei Frequenzen gemessen werden. Mit der Annahme von 2min für die Bestimmung einer Lautheitsfunktion liegt die zusätzliche Messzeit für die 1F Methode bei 4 min (rechtes + linkes Ohr) und bei 8 min für die 2F Methode.

2.2. Ergebnisse

Die Ergebnisse für die Berechnung der mittleren Pegel in Abhängigkeit vom Hörverlust sind in Abb. 1a zu sehen. Die Mediane für die mittleren Pegel bei 5, 15, 25, 35 und 45 CU zeigen eine gewisse Streuung, sodass durch eine linearen Regressionsgerade die Daten zusätzlich geglättet wurden (gestrichelte Linien). Mit Hilfe der berechneten Geraden wurden die mittleren Lautheitsfunktionen für die Hörschwellen berechnet (Abb. 1b). Die mittlere schmalbandige Lautheitsfunktion kann nun mit der Angabe der Hörschwelle und der Frequenz ermittelt werden.

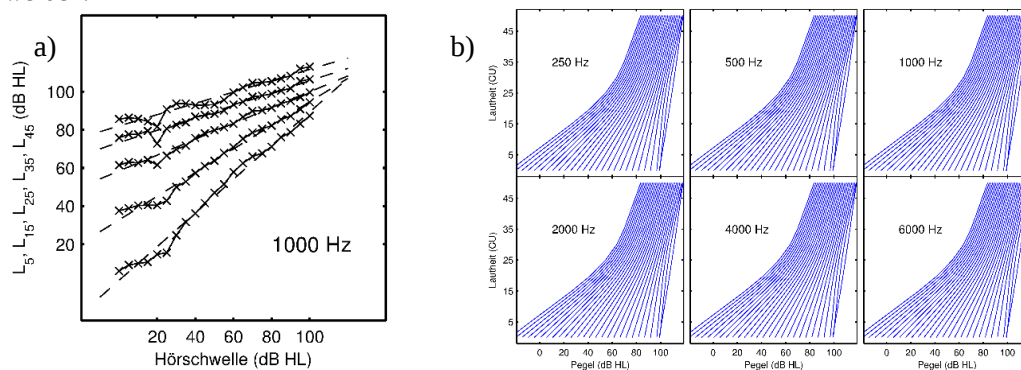


Abb. 1: a) Darstellung der Median Werte aus der Lautheitsfunktionen über der Hörschwelle. b) Abgeleitete mittlere Lautheitsfunktionen für alle sechs Mittenfrequenzen in Abhängigkeit der Hörschwelle (von -10 bis 100 dB in 5 dB Schritten).

Die 1F und 2F Methoden versuchen auf Grund einer oder zwei Lautheitsskalierungsmessungen einen Probanden in unempfindlich, normal oder empfindlich einzugruppieren. Dazu wurde eine Korrelationsanalyse der Pegel der Lautheitsfunktion durchgeführt. Für die Pegelauswertung wurde 35 CU ("laut") gewählt, da dieser Wert die höchsten Korrelationen zwischen den Frequenzen zeigte. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse für 35 CU sind in Tabelle 1 dargestellt. Dabei zeigte sich, dass benachbarte Frequenzen eine höhere Korrelation haben als weiter entfernte Frequenzen. Deshalb eignen sich die Randfrequenzen von 250 und 6.000 Hz nicht für die Verwendung bei einer schnellen Methode. Die höchsten Korrelationen zu den anderen Frequenzen weisen 1 kHz und 2 kHz auf, sodass beide für die 1F Methode geeignet sind. Für die 2F Methode eignen sich die Frequenzen 500 und 4.000 Hz am besten, da 500 Hz im unteren Frequenzbereich und 4 kHz im oberen Frequenzbereich hohe Korrelationen zeigen.

Um die Methoden miteinander vergleichen zu können, wurden diese auf dem bestehenden Datensatz simuliert. Für die 1F Methode wurde angenommen, dass die Lautheitsfunktion bei 1 bzw. 2 kHz gemessen wurde. Für die Grenzlautheitsfunktionen wurde angenommen, dass 50% der Probanden als "normal" klassifiziert werden sollen. Die Grenzen für die empfindlichen Probanden werden durch die Grenzlautheitsfunktion bestimmt, die mit den 25er Perzentilen der Pegel für 35 CU ermittelt wurden (analog wie in Abb. 1). Die unempfindlichen Probanden werden durch die Grenzlautheitsfunktion definiert, die mit Hilfe der 75er Perzentile der Pegel berechnet wurde. Die Eingruppierung der Probanden erfolgte bei dem Vergleich der individuellen Lautheitsfunktion bei 35 CU mit den berechneten Grenzfunktionen. Wird ein Proband als „empfindlich“ eingestuft, wird die mittlere Lautheitsfunktion der empfindlichen Probanden für alle Frequenzen angenommen. Bei „normal“ und „empfindlich“ die entsprechenden mittleren Funktionen. Bei der 2F Methode definiert die Lautheitsfunktion bei 500 Hz die Eingruppierung bei den Frequenzen 250 und 1 kHz und die Lautheitsfunktion bei 4 kHz die Eingruppierung bei 2 und 6 kHz.

	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	6 kHz
250 Hz	1	0,80	0,71	0,53	0,42	0,40
500 Hz	0,80	1	0,75	0,56	0,45	0,45
1 kHz	0,71	0,75	1	0,57	0,51	0,49
2 kHz	0,53	0,56	0,57	1	0,60	0,57
4 kHz	0,42	0,45	0,51	0,60	1	0,67
6 kHz	0,40	0,45	0,49	0,57	0,67	1

Tabelle 1: Korrelationsanalyse für die Pegel der Lautheitsfunktion bei 35 CU. Angegeben ist der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman.

Methode	Median (dB)	Interquartilsabstand (dB)
0F	0,07	8,40
1F (1 kHz)	0,14	7,43
1F (2 kHz)	-0,40	7,50
2F	-0,00	6,71
Optimum	0,18	4,43

Tabelle 2: Median und der Interquartilsabstand der Pegeldifferenzen zwischen der geschätzten Lautheitsfunktion und der gemessenen Lautheitsfunktion aus der Simulation der Methoden auf den bestehenden Daten.

Für den Vergleich der Methoden untereinander wurde der Abstand der geschätzten Lautheitsfunktionen und der gemessenen Lautheitsfunktionen bei den verbleibenden Frequenzen für 15, 25 und 35 CU ausgewertet. Der Median und der Interquartilsabstand sind in Tabelle 1b angegeben. Als Vergleich einer optimalen Eingruppierung ist die Eingruppierung bei jeder Frequenz vorgenommen worden, sodass dies den Abstand zwischen der richtigen geschätzten Lautheitsfunktion und der gemessenen Lautheitsfunktion darstellt. Die hörschwellenbasierte Methode 0F schneidet mit 8,4 dB Interquartilsabstand am schlechtesten ab, wohingegen die 2F Methode einen deutlich geringeren Interquartilsabstand von 6,7 dB zeigt. Die Methoden 0F, 1F bei 1 kHz und die 2F Methode wurde für die Evaluation mit Probanden ausgewählt.

3. Evaluation der schnellen trueLOUDNESS Methoden

3.1. Methode

Zur Evaluation der Methoden wurden 18 schwerhörenden Versuchspersonen mit den Methoden vermessen. Die Probanden waren im Mittel 70 Jahre alt, 5 waren weiblich und 13 männlich. Es lag ein symmetrischer Altershörverlust vor und der mittlere Hörverlust gemittelt über 500, 1000, 2000 und 4000 Hz lag zwischen 20 und 50 dB HL. Die Probanden haben im 1. Termin die 6F trueLOUDNESS Methode gemessen, damit die vorhergesagten Verstärkungswerte aus den schnellen Methoden mit der vollen trueLOUDNESS Methode verglichen werden können. Im zweiten Termin wurden die unterschiedlichen Methoden zur schnellen Bestimmung der schmalbandigen Lautheitsfunktionen gemessen. Zusätzliche wurde bei allen Methoden auch das breitbandige IFnoise Signal mit schmalbandigem Lautheitsausgleich gemessen. Der schmalbandige Lautheitsausgleich für das Signal wurde auf Grund der geschätzten Lautheitsfunktionen berechnet. Mit Hilfe dieser Messung wurden die Verstärkungswerte für das IFnoise bei 50, 65, und 80 dB berechnet. Die Auswertung erfolgte indem die Verstärkungswerte aus den schnellen Methoden mit denen der 6F Methode verglichen wurden. Der Differenz an jeder Frequenz wurde bestimmt und der Interquartilsabstand berechnet. Ein Proband wurde von der Analyse ausgeschlossen, da ungewöhnlich große Unterschiede von mehr als 20 dB zwischen den schmalbandigen Lautheitsfunktionen an dem ersten und zweiten Termin aufgetreten sind.

3.2. Ergebnisse

Die Verstärkungswerte der schnellen trueLOUDNESS Methoden 0F, 1F, 2F im Vergleich zur ausführlichen 6F trueLOUDNESS Methode für einen Probanden sind beispielhaft in Abb. 2a für einen Eingangspegel von 65 dB dargestellt. Die Differenzen zwischen der 6F und den schnellen trueLOUDNESS Methoden wurden an jeder Frequenz in dB für die Eingangspegel 50, 65 und 80 dB SPL berechnet. Die Differenzen sind in Abb. 2b als Boxplots dargestellt. Man erkennt, dass alle drei schnellen Methoden einen ähnlichen Interquartilsabstand zeigen: Die Ergebnisse der 0F Methode zeigen einen Interquartilsabstand von 7,8 dB, die 1F Methode von 8,3 dB und die 2F Methode von 6,8 dB. Es zeigen sich keine bzw. nur geringe Vorteile durch die Messung und Eingruppierung der schmalbandigen Lautheitsfunktionen an einer oder an zwei Frequenzen gegenüber der reinen Hörschwellen-basierten Methode 0F. Die Verbesserung der Genauigkeit liegt bei einem 1 dB kleineren Interquartilsabstand bei der Verstärkungsvorhersage durch die 2F Methode im Vergleich zur 0F Methode. Die zusätzliche Messzeit für die 2F Methode gegenüber der 0F Methode beträgt ca. 8 min.

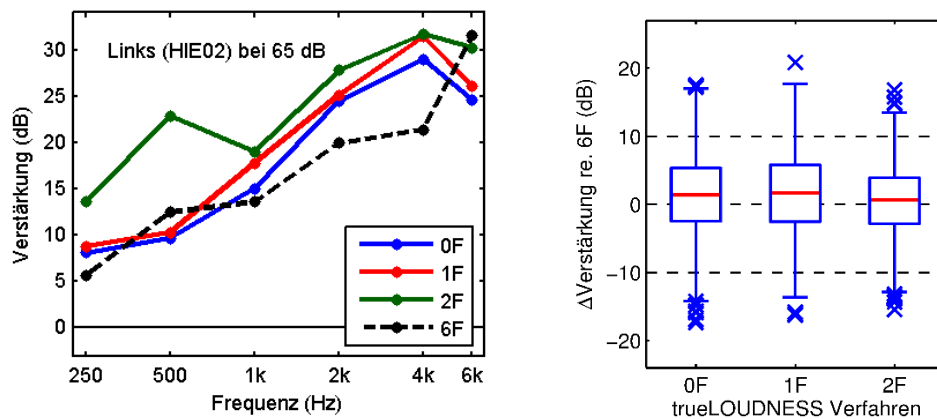


Abb 2: a) Darstellung der berechneten Verstärkung für das IFnoise bei 65 dB für einen Probanden (HIE02). Der Abstand an jeder Frequenz zu den Verstärkungswerten aus der 6F trueLOUDNESS Methode (gestrichelte schwarze Linie) wird berechnet und ausgewertet. b) Boxplot der Differenzen zu der 6F Methode ausgewertet für die Verstärkungswerte bei 50, 65 und 80 dB SPL an den sechs Mittenfrequenzen für die drei schnellen Methoden.

4. Zusammenfassung

In dieser Studie wurden Methoden bei denen keine, eine oder zwei Lautheitsfunktionen pro Ohr gemessen wurden, um die für die trueLOUDNESS Verstärkungsberechnung benötigten schmalbandigen Lautheitsfunktionen zu schätzen, entwickelt und miteinander verglichen. Für die Verstärkungsberechnung nach trueLOUDNESS wird eine binaurale breitbandige Messung durchgeführt, bei der ein Lautheitsausgleich mit Hilfe der schmalbandigen Lautheitsfunktionen angewendet wird. Die entwickelte Methode, bei der eine oder zwei Lautheitsfunktion pro Ohr zusätzlich gemessen wurde, zeigte Vorteile (geringerer Interquartilsabstand, Tabelle 2) in der Simulation bei der Schätzung der schmalbandigen Lautheitsfunktionen im Vergleich zur hörschwellenbasierten Methode 0F, bei der keine zusätzliche Lautheitsfunktion gemessen wurde. Die Analyse der Verstärkungswerte bei der Evaluationsmessung mit Probanden zeigte jedoch nur geringe Vorteile für die Methode bei der zwei Frequenzen gemessen werden im Vergleich zur hörschwellenbasierten Methode. Die investierte Messzeit von ca. 8 min pro Proband für die zusätzlichen Messungen der schmalbandigen Lautheitsfunktionen hatte nur einen geringen Mehrwert für die Genauigkeit der Verstärkungsvorhersage für 50, 65 und 80 dB SPL nach trueLOUDNESS. Die hörschwellenbasierte Methode 0F scheint ein geeigneter Kandidat für den Einsatz der trueLOUDNESS Methode in der Praxis, da nur die Hörschwelle aus dem Audiogramm als Eingabeparameter benötigt wird und eine binaurale breitbandige Lautheitsskalierung mit schmalbandigem Lautheitsausgleich die trueLOUDNESS Verstärkungswerte gut vorhersagt.

5. Literatur

- [1] Oetting, D., Hohmann V., Appell, J.-E., Kollmeier B., Ewert S. D. (2016) Spectral and binaural loudness summation in hearing-impaired listeners. *Hearing Research*, 335, 179-192.
- [2] Oetting, D., Hohmann V., Appell, J.-E., Kollmeier B., Ewert S. D. (2018) Restoring perceived loudness for listeners with hearing loss. *Ear and hearing*, 39(4), 664-678.
- [3] Oetting, D., Bach, J.-H., Krueger, M., Vormann, M., Schulte, M., Meis, M. (2020). Subjective loudness ratings of vehicle noise with the hearing aid fitting methods NAL-NL2 and trueLOUDNESS. *Proceedings of the International Symposium on Auditory and Audiological Research*, 7, 289 - 296.
- [4] Oetting, D., Brand, T., Ewert, S. D. (2014). Optimized loudness-function estimation for categorical loudness scaling data. *Hearing Research*, 316, 16-27.