

Messung der Lautheitssummation bei Normal- und Schwerhörnden

Jens Appell und Volker Hohmann

(Email: jens@medi.physik.uni-oldenburg.de; vh@medi.physik.uni-oldenburg.de)

AG Medizinische Physik, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg, D-26111 Oldenburg

Zusammenfassung

Das Phänomen, daß bei gleichem physikalischen Pegel Schalle größerer Frequenzbandbreite lauter beurteilt werden als Schalle geringerer Bandbreite, wird als Lautheitssummation bezeichnet. Der Effekt der Lautheitssummation ist bei Schwerhörnden in der Regel geringer als bei Normalhörenden [1, Fig. 5.5]. Für die Entwicklung und Anpassung von Hörgeräte-Algorithmen, die auf den Ausgleich der Lautheitswahrnehmung bei Schwerhörnden optimiert sind, ist es daher notwendig, die Lautheitssummation schnell und effektiv messen zu können. Während bislang eine Quantifizierung der Lautheitssum-

mation in aller Regel durch Lautheitsvergleichsmessungen durchgeführt wurde, wird in dieser Arbeit die Lautheitssummation bei Normal- und Schwerhörnden mit Hilfe der kategorialen **Lautheitsskalierung** bestimmt. Die Ergebnisse werden mit **Lautheitsmodellen** verglichen, von denen angenommen wird, daß sie anhand des Schallspektrums die Lautheit für Normal- und Schwerhörnde vorhersagen können. Dabei zeigt sich, daß die experimentellen Ergebnisse aus der Lautheitsskalierung sehr gut mit den Modellvorhersagen übereinstimmen.

Im Anschluß werden verschiedene Varianten von **Lautheitsvergleichsmessungen** zur Quantifizierung der Lautheitssummation vorgestellt. Die Ergebnisse zeigen, daß Lautheitsvergleichsmessungen sehr stark von den Versuchsbedingungen bestimmt werden und daß das Antwortverhalten der Versuchspersonen eventuell auch durch andere Parameter, wie beispielsweise die Lästigkeit, bestimmt werden.

Messung der Lautheitssummation durch Lautheitsskalierung

Bei der kategorialen Lautheitsskalierung wurde zunächst die empfundene Lautheit für Rauschsignale verschiedener Bandbreiten in Abhängigkeit vom Darbietungspegel gemessen. Es wurde gleichmäßig anregendes Rauschen (Uniform-Exciting-Noise, kurz: UEN) der Bandbreiten 1, 3, 5, 9 und 17 Bark (jeweils zentriert um 10 Bark) mit einer Dauer von 2 Sekunden verwendet. Jeder Stimulus wurde 14 mal monaural über Kopfhörer dargeboten und von den Probanden auf einer 11 stufigen Skala mit 7 Antwortkategorien beurteilt [2]. So ergeben sich je Stimulus 14 Meßpunkte, an die zwei im Übergang geglättete Geraden als Pegel-Lautheitsfunktion angepaßt wurden (Abb. 1) [3].

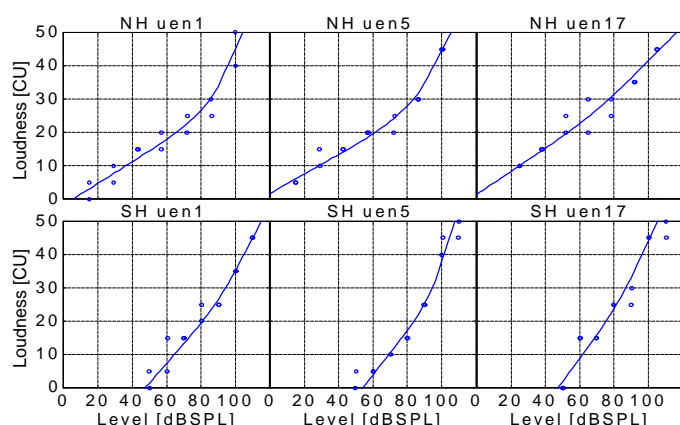


Abbildung 1: Pegel-Lautheitsfunktionen für eine monaurale Messung bei einer normalhörenden (oben) und einer schwerhörnden Versuchsperson (unten). Von links nach rechts dargestellt sind die Ergebnisse für die Bandbreiten 1, 5 und 17 Bark. Kreise beschreiben die Meßdaten, Linien die angepassten Pegel-Lautheitsfunktionen.

An den Messungen nahmen 6 Normalhörende und 6 sensorineural Schwerhörnde teil. Die Schwerhörnden hatten einen symmetrischen und interindividuell ähnlichen, mittelgradigen Hochton-Schrägabfall. In Tabelle 1 sind die Mittelwerte und Extremwerte der

Audiogrammdaten für die (homogene) Schwerhörndengruppe angegeben.

Anhand der individuell angepaßten Pegel-Lautheitsfunktionen wurde der Beitrag zur Lautheitssummation relativ zu dem 1 Bark breiten Rauschen (uen1) bei den Pegeln 40, 60 und 80 dB SPL bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 als Medianwerte (Kreuze) für die Normal- (links) und Schwerhörnden (rechts) dargestellt. In Übereinstimmung Launer [1, Fig. 5.5] ergeben die Messungen bei Schwerhörnden eine geringere Lautheitssummation als bei Normalhörenden. Die Ergebnisse der Normalhörenden stimmen quantitativ mit Daten aus der Literatur überein [4 ; 1, Fig. 5.4].

| Frequenz [Hz] | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| Minimum [dBHL] | 15 | 30 | 35 | 30 | 45 | 50 |
| Mittelwert [dBHL] | 27,5 | 37,1 | 43,8 | 53,3 | 58,3 | 60,4 |
| Maximum [dBHL] | 40 | 50 | 60 | 75 | 75 | 80 |

Tabelle 1: Mittelwerte und Extremwerte aus den Audiogrammen der schwerhörnden Probanden.

Vorhersage der Lautheitssummation durch Lautheitsmodelle

Als Vergleich zu den Messungen wurde die Lautheitssummation mit den Lautheitsmodellen von Launer [1, Kap. 7.3.2] und Moore [5] für die verschiedenen Signale berechnet. Beide Modelle stellen eine Erweiterung des Lautheitsmodells nach Zwicker [6, Kap. 8.7] für Schwerhörnde dar. Dabei wird die veränderte Hörschwelle und die Aufteilung der Lautheitsfunktion dadurch modelliert, daß in die Berechnung der spezifischen Lautheit zwei frequenzabhängige, individuell angepaßte Parameter eingehen (2 Komponenten Ansatz). Während in dem Modell nach Launer diese Parameter iterativ an die Daten einer (schmalbandig durchgeführten) Hörfeldskalierung angepaßt werden, können in dem Modell nach Moore beide Parameter in vereinfachender Weise aus dem Hörverlust berechnet werden. Dabei wird der Hörverlust zu 80% einem Verlust an äußeren und zu 20% einem Verlust an inneren Haarzellen zugeschrieben.

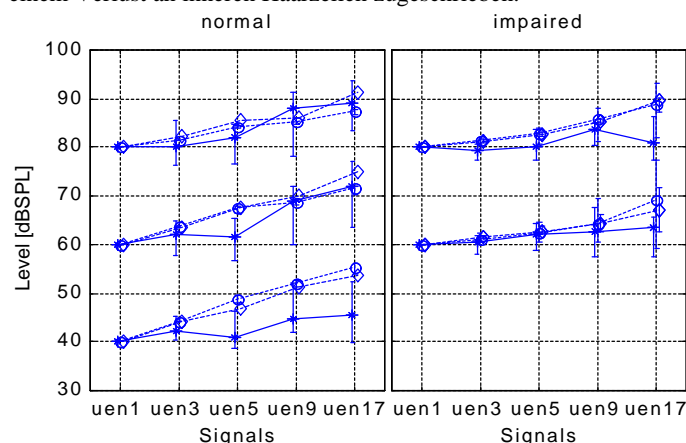


Abbildung 2: Medianwerte der Lautheitssummation für Signale verschiedener Bandbreite relativ zu einem 1 Bark breiten Rauschen (uen1) bei 40, 60 und 80 dB SPL; Normalhörende (links) und Schwerhörnde (rechts). Dargestellt ist jeweils die aus der Lautheitsskalierung bestimmte Lautheitssummation (durchgezogene Linien, Sterne), sowie die Modellvorhersagen nach Launer (gepunktete Linien, Kreise) und nach Moore (gestrichelte Linien, Rauten). Die Fehlerbalken zeigen den Interquartilsbereich für jeweils 12 monaurale Messungen an 6 Probanden.

Vergleich zwischen Lautheitsskalierung und Modellvorhersage

Die von den Modellen vorhergesagte Lautheitssummation ist in Abbildung 2 mit Kreisen (Modell nach Launer) und Rauten (Modell nach Moore) zusammen mit den Ergebnissen der Lautheitsskalierung (Sterne) dargestellt. Beide Modelle zeigen untereinander eine gute Übereinstimmung in ihren Vorhersagen. Verglichen mit den Ergeb-

nissen der Lautheitsskalierung sagen die Modelldaten für die Schwerhöreren eine größere Lautheitssummutation vorher als tatsächlich gemessen wurde. Für die Normalhörenden ergeben sich dagegen bei mittleren und hohen Pegeln keine Unterschiede zwischen den Modellen und der Messung. Bei niedrigen Pegeln ergibt jedoch die Lautheitsskalierung eine geringere Lautheitssummutation als die Modelle vorhersagen. Möglicherweise ist dieser Unterschied auf einen Schwelleneffekt zurückzuführen. Da die Messungen mit Kopfhörer (Sennheiser HDA200) durchgeführt wurden, könnte der Okklusionseffekt zu einer Erhöhung der Hörschwelle geführt haben.

Messung der Lautheitssummutation durch Lautheitsvergleich

Zur direkten Bestimmung der Lautheitssummutation wurden Lautheitsvergleichsmessungen mit einem adaptiven 2-AFC Verfahren durchgeführt. Den Probanden wurde jeweils ein Referenz- und ein Testsignal mit einer Unterbrechung von 500 Millisekunden monaural über Kopfhörer dargeboten. Dabei wurden die oben beschriebenen UEN-Signale verwendet. Die Probanden sollten angeben, welches der zwei Signale als lauter wahrgenommen wurde („1“ oder „2“). Wurde dabei das Testsignal angegeben, so wurde dies vor der nächsten Darbietung im Pegel verkleinert - andernfalls vergrößert. Die Startpegeldifferenz zwischen Test- und Referenzsignal wurde zufällig zwischen -15 und 15 dB gewählt. Während einer Orientierungsphase wurde die Schrittweite immer dann verkleinert, wenn das Testsignal als lauter bzw. leiser beurteilt wurde als das Referenzsignal, bei der vorherigen Darbietung aber als lauter bzw. leiser (Wendepunkt). Dabei wurden die Schrittweiten 10, 5, 2 und 1 dB angenommen. Während der folgenden Meßphase (Schrittweite konstant 1 dB) wurde aus 4 Wendepunkten der Medianwert bestimmt, der die Lautheitssummutation zwischen Referenz- und Testsignal beschreibt. Jede Messung wurde zweimal durchgeführt.

Bei den Messungen wurden drei Meßkonfigurationen gewählt:

1. Variation der Bandbreite des Referenzsignals (Abbildung 3)
2. Variation der Darbietungsreihenfolge (Abbildung 4)
3. Variation des Referenzsignalpegels (Abbildung 5)

Der Referenzsignalpegel betrug in den Meßkonfigurationen 1 und 2 75 dB SPL. In den Meßkonfigurationen 1 und 3 wurde jeweils zuerst das Referenz- und dann das Testsignal dargeboten und es wurde erst die Messung für ein Testsignal beendet, bevor mit dem nächsten Testsignal gemessen wurde (lineare Darbietungsreihenfolge).

An jeder dieser Messungen nahmen jeweils 6 Normalhörende teil, wobei die Messungen getrennt für das linke und das rechte Ohr durchgeführt wurden.

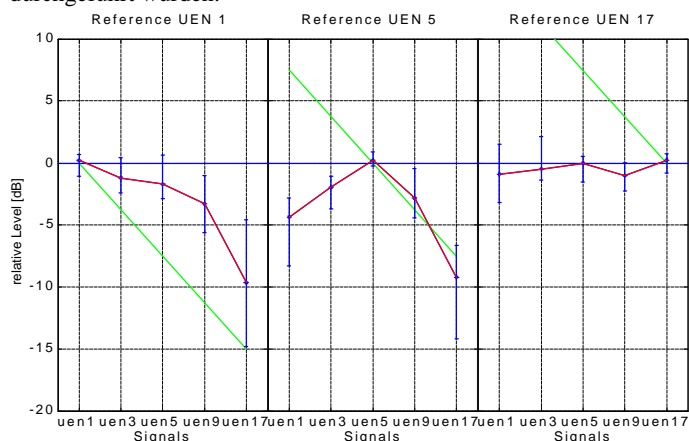


Abbildung 3: Lautheitsvergleichsmessungen bei Verwendung der Referenzsignalbandbreiten 1 (links), 5 (mitte) und 17 Bark (rechts). Der Pegel des Referenzsignals betrug 75 dB SPL. Über der Bandbreite der Testsignale ist jeweils die relative Pegeldifferenz zwischen Test- und Referenzsignal aufgetragen. Die Fehlerbalken zeigen den Interquartilsbereich für jeweils 24 monaurale Messungen mit Normalhörenden (6 Probanden * 2 Ohren * 2 Messungen). Die eingezeichneten Geraden zeigen grob die oben beschriebenen Modellvorhersagen.

Abbildung 3 zeigt, daß die Wahl der Referenzsignalbandbreite einen großen Einfluß auf die Ergebnisse hat. Die Modellvorhersage (einge-

zeichnete Geraden) wird nur für eine Referenzsignalbandbreite von 1 Bark näherungsweise erreicht. In den anderen Situationen tendieren die Probanden dazu, das Testsignal gegenüber dem Referenzsignal leiser einzustellen, als erwartet. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sich Test- und Referenzsignal in ihrer Bandbreite stark unterscheiden. Dies Ergebnis ist unabhängig von der Darbietungsreihenfolge (Abbildung 4). Sowohl die lineare als auch die zufällige Darbietungsreihenfolge (Verwürfelung der Reihenfolge von Referenz- und Testsignal, sowie zwischen den Messungen für ein Testsignal) liefern hier die gleichen Ergebnisse. Abbildung 5 zeigt dagegen, daß bei einem Darbietungspegel von 50 dB SPL (Abb. 4, rechts) die gemessene Lautheitssummutation eher den Modellvorhersagen entspricht als bei einem Darbietungspegel von 75 dB SPL (Abb. 4, links). Es ist daher nicht auszuschließen, daß Lautheitsvergleichsmessungen durch andere Größen, wie etwa die Lästigkeit oder die Alltagserfahrung [7, Kap. 7] beeinflusst werden. Dies scheint insbesondere dann der Fall zu sein, wenn stark unterschiedliche Signale miteinander verglichen werden.

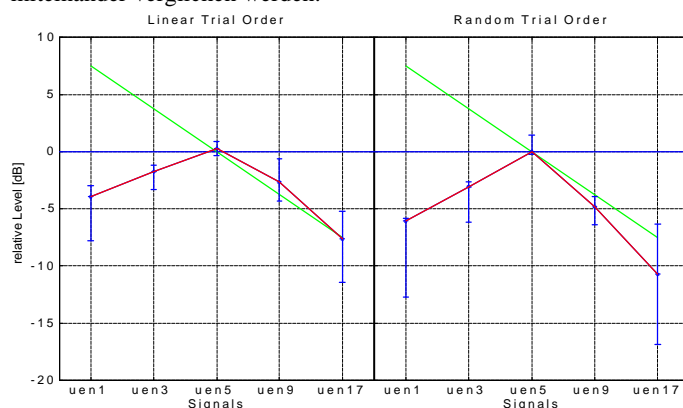


Abbildung 4: Lautheitsvergleichsmessungen bei Darbietung in linearer Reihenfolge (links) und bei zufälliger Reihenfolge (rechts). Die Referenzsignalbandbreite betrug 5 Bark. Darstellung wie in Abbildung 3.

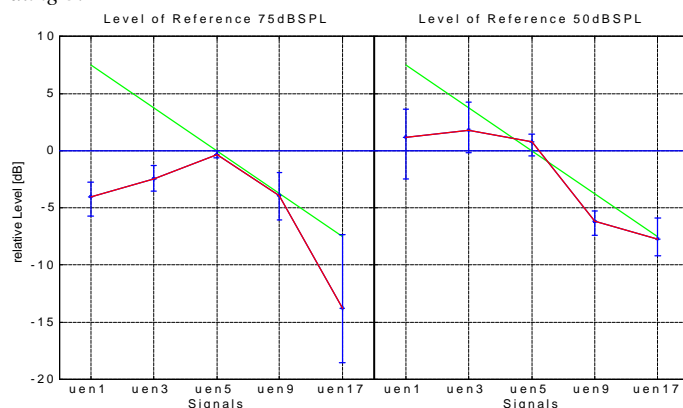


Abbildung 5: Lautheitsvergleichsmessungen für Referenzsignalpegel von 75 dB SPL (links) und 50 dB SPL (rechts). Die Referenzsignalbandbreite betrug 5 Bark. Darstellung wie in Abbildung 3.

Literatur

- [1] Launer, S. (1995): *Loudness Perception in Listeners with Sensorineural Hearing Impairment*, Dissertation, Carl-von-Ossietzky Univ. Oldenburg.
- [2] Hohmann, V., Kollmeier, B. (1996): *Weiterentwicklung und klinischer Einsatz der Hörflächenskalierung*. *Audiologische Akustik* 34, 48-59.
- [3] Brand, T., Hohmann, V. Kollmeier, B. (1998): *Krümmung der Lautheitsfunktion in Abhängigkeit von der Bandbreite des Signals bei Normal- und Schwerhöreren*. *Fortschritte der Akustik - DAGA 98 DEGA e.V.*, Oldenburg.
- [4] Zwicker, E., Flotrup, G. and Stevens, S. (1957): *Critical bandwidth in loudness summation*. *J. Acoust. Soc. Am.* 29, 548-557.
- [5] Moore, B. C. J., Glasberg, B. R., Vickers, D. A. (1995): *Factors influencing loudness perception in people with cochlear hearing loss*. In: *Psychoacoustics, Speech and Hearing Aids*, Edited by B. Kollmeier, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., ISBN 9-810-22561-X.
- [6] Zwicker, E., Fast, H. (1990): *Psychoacoustics, Facts and Models*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-52600-5

[7] Poulton, E. C. (1989): *Biases in quantifying judgments*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, New Jersey.