

## Konsequenzen der binauralen Lautheitssummutation für die bilaterale Hörgeräteanpassung

Josef Chalupper<sup>1</sup>, Kristin Rohrseitz<sup>1</sup>, Uwe Baumann<sup>2</sup>, Ingeborg Stemplinger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siemens Audiologische Technik, 91058 Erlangen, Deutschland

<sup>2</sup> Klinikum der Universität München, 81377 München, Deutschland

### Einleitung

Wird derselbe Schall binaural und monaural dargeboten, so wird er in der Regel bei der binauralen Darbietung als lauter empfunden. Diesen Effekt bezeichnet als „binaurale Lautheitssummutation“. Psychometrisch quantifiziert wird die binaurale Lautheitssummutation typischerweise indem der Pegel der einer der beiden Darbietungsweisen so eingestellt wird, dass die binaurale Variante die gleiche Lautstärke hat wie die monaurale. Die gemessene Pegeländerung ist dann ein quantitatives Maß für die binaurale Lautheitssummutation. Falls das zentrale Hörsystem einfach die Intensitäten der Signale an beiden Ohren addieren würde, würde eine binaurale Lautheitssummutation von 3 dB resultieren. In [1] wird jedoch vorgeschlagen, die monauralen spezifischen Lautheiten zu addieren, was einen Effekt von etwa 10 dB bedeutet. Empirische Befunde deuten daraufhin, dass der Effekt stark von Versuchsmethode, Darbietungsweise (Kopfhörer, Freifeld), Art des Testschalls und Darbietungspegel abhängt. Für Rauschen berichten Zwicker und Fastl von etwa 6-8 dB bei Normalhörenden, wobei der Effekt mit zunehmendem Pegel abnimmt [2]. Nach einer Analyse aller bekannten Veröffentlichungen über die binaurale Lautheitssummutation bei Schwerhörigen kommt Dillon dagegen zum Schluß, dass die Lautheitssummutation mit zunehmendem Pegel zunimmt, und zwar von 3 dB bis auf etwa 8 dB bei sehr hohen Pegeln [3]. In einer sehr ausführlichen Studie stellen Hawkins et al. fest, dass sich Normal- und Schwerhörige hinsichtlich der binauralen Lautheitssummutation nicht unterscheiden [4]. Aus der Literatur lassen sich also keine eindeutigen Ergebnisse für die binaurale Lautheitssummutation bei Normal- und Schwerhörigen ableiten. Da darüberhinaus keine Messungen mit versorgten Schwerhörigen bekannt sind, ist nicht es möglich, die Konsequenzen der binauralen Lautheitssummutation für die bilaterale Hörgeräteanpassung ohne zusätzliche Hörversuche zu bestimmen. Im folgenden werden deshalb neue Messungen mit versorgten Schwerhörigen vorgestellt, die einerseits die Größe des Effekts in Abhängigkeit von Pegel und Frequenz schlabandiger Testschalle und andererseits die daraus folgende optimale Hörgeräteeinstellung untersuchen.

### Versuchsbeschreibung

An den Hörversuchen nahmen 20 Innenohrschwerhörige mit einem moderaten Hochtonhörverlust teil (mittlerer Hörverlust bei 500 Hz 30 dB HL, bei 4 kHz 65 dB HL). Zur Messung der binauralen Lautheitssummutation wurde die Methode der Linienlänge benutzt [5], während zur Bestimmung der optimalen Hörgeräteeinstellung, die

Probanden die dargebotenen Schalle bzw. Hörgeräteeinstellungen entsprechend ihrer subjektiven Präferenz in eine Reihenfolge bringen mußten („Ranking“). Alle Schalle wurden über Lautsprecher dargeboten. Als Testschalle wurden Terzrauschen mit 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz Mittenfrequenz, CCITT- Rauschen, ein Musikstück (Mozart: „Eine kleine Nachtmusik“) mit 80 dB SPL (RMS) und eine Strassenszene (stark befahrene Strasse, laut) mit 85 dB SPL (RMS) verwendet. Bei monauraler Darbietung wurde die nicht benutzte Otoplastik mit Knetmasse verstopft. Es wurden nur geschlossene Otoplastiken verwendet. Alle Probanden wurden mit einem sehr flexibel einstellbaren Hörgerät mit einer sehr hohen Eingangs- und Ausgangsdynamik (Siemens Triano S) versorgt. Die Hörgeräte wurden zunächst monaural entsprechend der Anpaßvorschrift „NAL-NL1“ angepaßt [3]. Danach wurden zwei verschiedene binaurale Korrekturen appliziert: (1) Verstärkungsreduzierung um 3 dB auf beiden Seiten („-3 dB“) und (2) pegelabhängige Verstärkungsreduzierung zwischen 3 dB und 8 dB gemäß NAL-NL1 [3] („NAL-NL1“). Insgesamt wurden 5 bilaterale „Versorgungsvarianten“ getestet: (1) Links (rechts verstopft), (2) Rechts (links verstopft), (3) Beidohrig ohne Korrektur („0 dB“), (4) „-3 dB“, (5) „NAL-NL1“.

### Ergebnisse

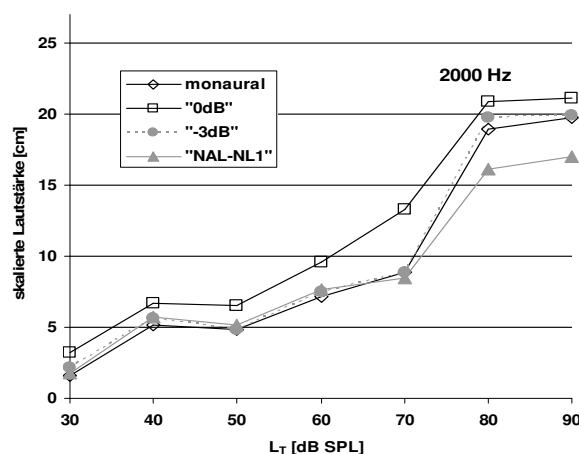


Abbildung 1: Lautstärke von Terzrauschen mit 2000 Hz Mittenfrequenz bei verschiedenen monauralen und binauralen Darbietungsweisen.

Die Lautstärke bei binauraler Darbietung ohne Korrektur („0dB“) ist für alle Pegel statistisch signifikant (T-Test,  $p < 0.05$ ) größer als bei monauraler (nur Ergebnisse für rechtes Ohr dargestellt) Darbietung (Abb.1). Mit zunehmendem Pegel ist weder eine Zunahme noch eine Abnahme der binauralen Lautheitssummutation feststellbar, eher scheint die

die Lautheitssumme bei mittleren Pegeln ein Maximum zu erreichen und zu niedrigeren und höheren Pegeln hin wieder abzunehmen. Um für ein Terzrauschen mit 60 dB SPL bei monauraler Darbietung dieselbe Lautstärke zu erreichen wie bei binauraler, ist ein Pegel von etwas mehr als 70 dB SPL nötig, während bei sehr hohen und sehr niedrigen Pegeln etwa 3 dB ausreichend sind. Dieser Befund wird durch die Ergebnisse mit Terzrauschen bei 1 kHz und 4 kHz und mit CCITT-Rauschen bestätigt. Bei Terzrauschen mit einer mittelfrequenz von 500 Hz dagegen, sind kaum noch Unterschiede zwischen monauraler und binauraler Versorgung nachweisbar. Erstaunlicherweise jedoch sind die Ergebnisse der binauralen Versorgung mit einer Korrektur von -3 dB ("3dB") praktisch identisch mit den monauralen Ergebnissen (kein signifikanter Unterschied!). Dies bedeutet, dass eine Korrektur von -3 dB ausreichend ist, um die binaurale Lautheitssumme bei der Hörgeräteanpassung zu berücksichtigen - obwohl bei direktem Vergleich zwischen monauraler und binauraler Versorgung Unterschiede bis zu 10 dB gemessen werden. Die binaurale Korrektur nach NAL-NL1 dagegen führt zu einer zu starken Verstärkungsreduktion bei hohen Pegeln.

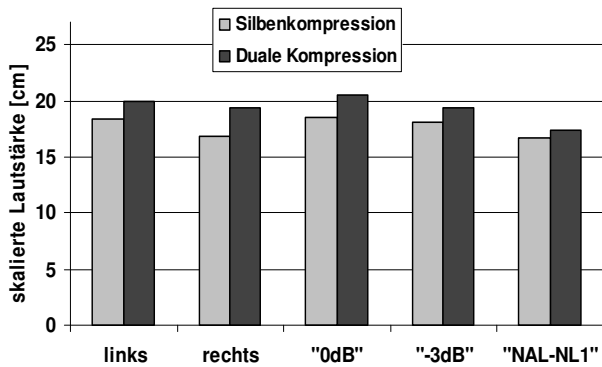


Abbildung 2: Lautstärke von Musik bei verschiedenen monauralen und binauralen Darbietungsweisen.

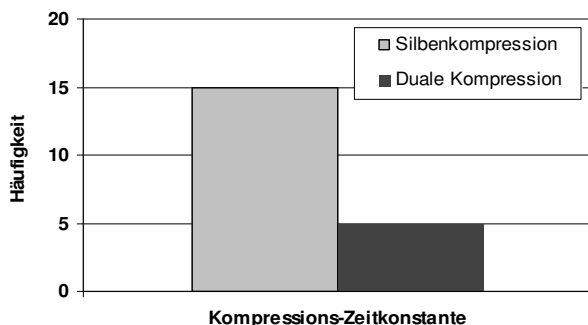


Abbildung 3: Präferenz der Einstellung von Kompressionszeitkonstanten bei Darbietung von Musik.

Im Gegensatz zu stationären Signalen spielen die Kompressionszeitkonstanten bei natürlichen, zeitvarianten Schallen eine wichtige Rolle. Wie in Abb.2. dargestellt, ist die Lautstärke mit sehr kurzen Zeitkonstanten („Silbenkompression“) deutlich geringer als mit sehr langen („Duale Kompression“). Ansonsten bestätigen auch die Experimente mit natürlichen, zeitvarianten Schallen die

Ergebnisse mit Terzrauschen: eine Korrektur um -3 dB ist ausreichend, um die binaurale Lautheitssumme zu kompensieren, die Korrektur nach NAL-NL1 führt zu einer leichten Überkompensation. Werden die Probanden nach den präferierten Zeitkonstanteneinstellungen gefragt, so entscheidet sich eine deutliche Mehrheit (75%) für Silbenkompression (Abb.3).

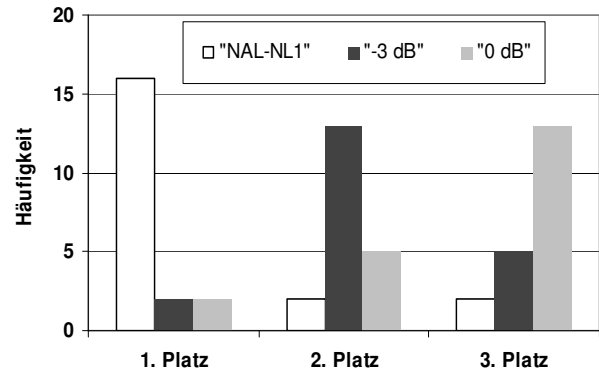


Abbildung 4: Präferenz verschiedener binauraler Korrekturen (Silbenkompression. Klangbeispiel: Strasse).

Die Ursache für die deutliche Präferenz der Silbenkompression ist wohl darin zu sehen, dass die verwendeten Testschalle relativ laut waren, und die Silbenkompression die Lautstärke deutlicher reduziert als die duale Kompression. Diese Vermutung wird gestützt durch die Ergebnisse, die in Abb.4 dargestellt sind. Obwohl die binaurale Korrektur nach NAL-NL1 zu einer Überkompensation der binauralen Lautheitssumme führt, wird diese Einstellung – die gleichzeitig die „leiseste“ ist – deutlich bevorzugt.

### Zusammenfassung

Mit einer Korrektur von -3 dB kann die binaurale Lautheitssumme bei einer bilateralen Hörgeräteversorgung ausgeglichen werden. Obwohl die binaurale Korrektur nach NAL-NL1 zu einer Überkompensation führt, wird diese bei natürlichen Schallen bevorzugt.

### Literatur

[1] Moore, B.C.J., Glasberg, B.R. and Baer, T., "A model for the prediction of thresholds, loudness and partial loudness", J. Audio Eng. Soc. 45: 224-240, 1997.

[2] Zwicker, E., Fastl, H., "Psychoacoustics: Facts and Models", 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1999.

[3] Dillon, H., "Hearing Aids", Thieme Medical Publishers, New York, 2001

[4] Hawkins, D.B., Prosek, R.A., Walden B.E., Montgomery, A.A., "Binaural loudness summation in the hearing impaired", J Speech Hear Res. 30(1),37-43, 1987.

[5] Baumann, U, Arnold, B, Schorn, K (1998) Vergleich psychoakustischer Methoden zur Skalierung der Lautstärke: II. Klinische Anwendungen. In: Sill, A (ed) Fortschritte der Akustik - DAGA '98, Oldenburg, DEGA e.V., 460-461