

# Methodenvergleich zwischen Lautheitsskalierung und Lautheitsvergleichsmessung am Beispiel von Messungen der Lautheitssummutation

Jens-E. Appell, Giso Th. Grimm, Jesko L. Verhey, Volker Hohmann

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

EMail: jens@medi.physik.uni-oldenburg.de, giso@medi.physik.uni-oldenburg.de, jesko@medi.physik.uni-oldenburg.de, vh@medi.physik.uni-oldenburg.de,

## Einführung

Das Phänomen, daß bei gleichem physikalischen Pegel Schalle größerer Frequenzbandbreite von Menschen als lauter beurteilt werden als Schalle mit geringerer Bandbreite, wird als Lautheitssummutation bezeichnet. Die Lautheitssummutation kann sowohl direkt durch Lautheitsvergleichsmessungen, als auch indirekt durch eine kategoriale Lautheitsskalierung ermittelt werden. Während sich in Lautheitsvergleichsmessungen die Lautheitssummutation direkt anhand des physikalischen Pegelunterschiedes zwischen zwei vom Probanden als gleich laut eingestellten Signalen ergibt, muß bei der Bestimmung der Lautheitssummutation mit Hilfe der Lautheitsskalierung dieser Pegelunterschied aus den Pegel-Lautheitsfunktionen berechnet werden. Dabei ist bislang nicht geklärt, ob beide Methoden auch zu den gleichen Ergebnissen führen.

Dieser Beitrag vergleicht zwei Methoden des Lautheitsvergleichs untereinander und setzt sie in Beziehung zu Lautheitssummutationsdaten, die mit Hilfe der Lautheitsskalierung gewonnen wurden. Dabei werden teilweise Daten gezeigt und Fragen beantwortet, die von Appell und Hohmann bei der DAGA 1998 [1] vorgestellt wurden.

### I.1 Methoden: Lautheitsvergleich

Die Lautheitsvergleichsmessungen wurden mit einem adaptiven 2-AFC Verfahren durchgeführt. Dabei wurde den Probanden jeweils ein Referenz- und ein Testsignal mit einer Unterbrechung von 500 Millisekunden über Kopfhörer dargeboten. Die Probanden sollten angeben, welches der zwei Signale als lauter wahrgenommen wurde ("1" oder "2"). Wurde dabei das Testsignal angegeben, so wurde dieses vor der nächsten Darbietung im Pegel verringert – andernfalls vergrößert. Während einer Orientierungsphase wurde die Schrittweite immer dann verkleinert, wenn das Testsignal als lauter/leiser beurteilt wurde als das Referenzsignal, bei der vorherigen Darbietung aber als leiser/lauter (Wendepunkt). Während der folgenden Meßphase wurden dann bei konstanter Schrittweite vier Wendepunkte bestimmt. Das Ergebnis (Meßpunkt) wurde aus dem Medianwert dieser Wendepunkte bestimmt.

Bezüglich der Darbietungsreihenfolge der Signalaare wurden zwei Meßparadigmen gewählt. Bei der Methode "linear" wurde zunächst ein Meßpunkt für ein Signalaar bestimmt, bevor mit der Messung des nächsten Signalaares fortgefahren wurde. Bei der Methode "interleaved" wurde nach der Darbietung eines Signalaares zufällig oder in geordneter Weise zunächst mit einem anderen Signalaar weiter gemessen, d.h. es wurden zur gleichen Zeit Daten für mehrere Meßpunkte aufgenommen. Ziel dieses Verfahrens ist es, ein bewußtes Verfolgen und Einregeln des Pegelverhältnisses zwischen Referenz- und Testsignal zu verhindern. Beide Meßparadigmen wurden mit 2 Meßaufbauten gemessen.

#### Meßaufbau 1:

- Messung mit UEN-Signalen (vgl. I.3)
- zufällige Wahl des Testsignalstartpegels zwischen  $-15$  und  $0$  dB, sowie  $0$  und  $15$  dB relativ zum Referenzsignalpegel (2 Meßpunkte)

- Pegelschrittweite in der Meßphase  $1$  dB
- monaurale Darbietung
- Abkürzung für das "lineare" Meßparadigma: "linear1"
- Abkürzung für das "interleaved" Meßparadigma: "inter1"

#### Meßaufbau 2:

- Messung mit LNN-Signalen (vgl. I.3)
- Testsignalstartpegel bei  $-10$ ,  $0$  und  $10$  dB relativ zum Referenzsignalpegel (3 Meßpunkte)
- Pegelschrittweite in der Meßphase  $2$  dB
- monaurale Darbietung bei "Inter2", diotische Darbietung bei "Linear2",
- Abkürzung für das "lineare" Meßparadigma: "linear2"
- Abkürzung für das "interleaved" Meßparadigma: "inter2"

### I.2 Methode: Lautheitsskalierung

Bei der kategorialen Lautheitsskalierung wurde die empfundene Lautheit für die in Abschnitt I.3 vorgestellten LNN-Rauschen in

Abhängigkeit vom Darbietungspegel von den Probanden auf einer 11 stufigen Skala mit 7 Antwortkategorien [3] beurteilt. Die Darbietung erfolgte monaural über Kopfhörer. Die Steuerung des Darbietungspegels erfolgte adaptiv [4]. An die Meßdaten wurden die [5] vorgestellten Pegel-Lautheitsfunktion angepaßt, aus denen die Lautheitssummutation zwischen zwei Signalen für eine gegebene Lautstärke berechnet wurden.

### I.3 Verwendete Signale

Bei den Messungen wurden zwei Typen von Rauschsignalen verschiedener Bandbreiten verwendet.

UEN-Signale:

- Gleichmäßig anregendes Rauschen (uniform exciting noise) mit Gaußscher Amplitudenstatistik.
- Mittenfrequenz [Bark/Hz]:  $10.5/ca.1300$
- Bandbreiten [Bark/Hz]:  $1/210, 3/640, 5/1080, 9/2070, 17/5100$
- Dauer: zwei Sekunden

LNN-Signale:

- Ausschnitte aus Weißem Rauschen mit Glättung der Einhüllenden (einfach iteriertes LowNoiseNoise [6]).
- Mittenfrequenz [Bark/Hz]:  $ca.10.5/1300$
- Bandbreiten [Bark/Hz]:  $0.7/200, 1.3/400, 2.7/800, 5.2/1600, 9.5/3200, 14.9/6400$
- Dauer: eine Sekunde

### I.4 Probanden

An allen Messungen nahmen normalhörende Probanden mit ausgiebiger Erfahrung in psychoakustischen Experimenten teil. Das Alter der Probanden lag zwischen 26 und 33 Jahren. Die Anzahl der Probanden innerhalb der Gruppen betrug in Gruppe A 3, in Gruppe B 3, in Gruppe C 4 und in Gruppe D 6 Probanden.

## II Einfluß der Methode

Die in Abbildung 1 dargestellten Iso-Lautheitskurven zeigen gleichermaßen bei allen Methoden für die Probandengruppe A eine um etwa  $10$  dB geringere Lautheitssummutation im Vergleich zu Gruppe B. Der absolute Betrag der Lautheitssummutation, sowie der Verlauf der Lautheitssummutation über der Bandbreite hängt dagegen stark von der verwendeten Methode ab. Insbesondere zeigt sich, daß die Lautheitsvergleichsmessungen eine größere Summutation messen als die Lautheitsskalierung.

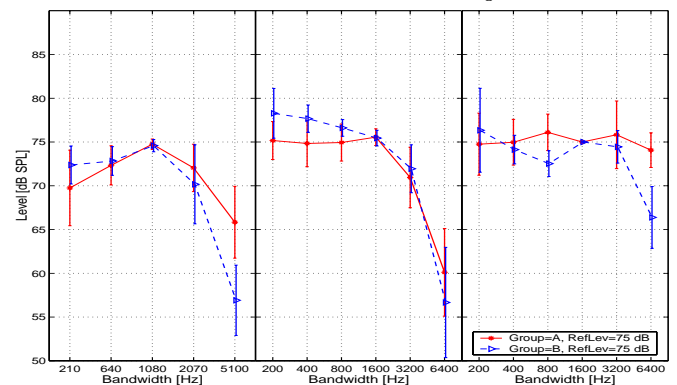


Abb.1 Über der Bandbreite der Signale sind jeweils die gemittelten Pegel mit Standardabweichung aufgetragen, die zur gleichen empfundenen Lautheit führen (Iso-Lautheitskurven). Die Lautheitssummutation kann dabei als Pegeldifferenz zwischen jeweils zwei Signalen abgelesen werden. Dargestellt sind die Ergebnisse der Methoden "Linear1" (Links) und "Inter2" (Mitte), sowie der Lautheitsskalierung (Rechts) für zwei Probandengruppen, die während der Messungen ein unterschiedliches Antwortverhalten gezeigt haben. (Gruppe A, Linien/Sterne; Gruppe B, gestrichelte Linien/Dreiecke). Die Daten wurden für einen Referenzsignalpegel von  $75$  dB SPL bei den Bandbreiten  $1080$  (Links),  $1600$  (Mitte) und  $1600$  Hz (Rechts) aufgenommen.

## III Vergleich "Interleaved" vs. "Linear"

Abbildung 2 zeigt, daß die Methoden "interleaved" und "linear" für den jeweiligen Meßaufbau und die jeweilige Probandengruppe etwa die gleichen Ergebnisse liefern.

#### IV Einfluß von Referenzsignalbandbreite und Pegel

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Iso-Lautheitskurven für die Methoden "linear1" und "inter2" für jeweils 3 Referenzsignalbandbreiten. Die "lineare" Methode (Abb. 3) wurde dabei ohne Pegelausgleich durchgeführt. Bei der "interleaved" Methode (Abb. 4) wurde dagegen der Pegel des Referenzsignals so gewählt, daß er die aus der Literatur (siehe z.B. [2]) zu erwartende Lautheitssummutation gerade ausgleicht.

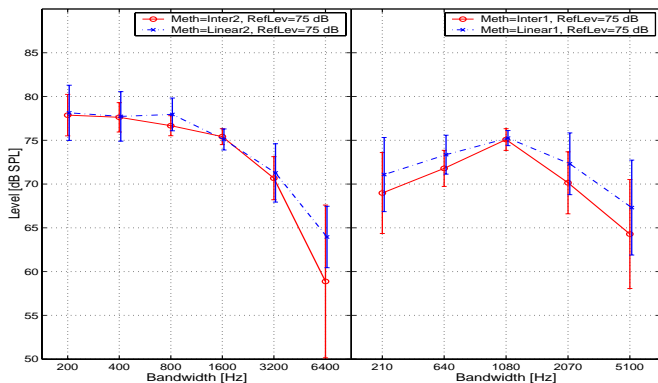


Abb. 2 Vergleich zwischen den Methoden "interleaved" (Linien/Kreise) und der "linear" (strich-punktiert/Kreuz). Linkes Bild für Meßaufbau 2 und Probandengruppe C, rechtes Bild für Meßaufbau 1 und Probandengruppe D.

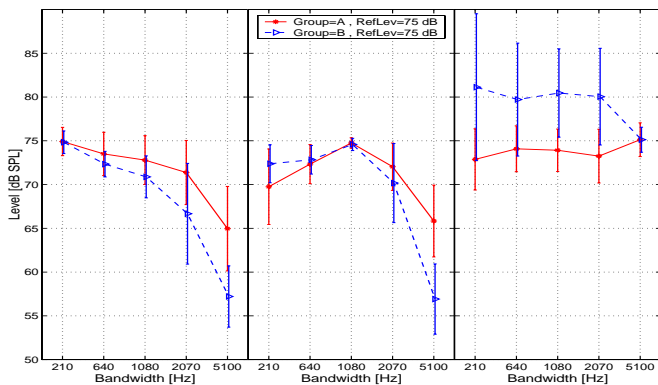


Abb. 3 Einfluß von Referenzsignalbandbreite und -pegel für die Methode "Linear1". Von Links nach rechts wurden folgende Referenzsignalbandbreiten verwendet: 210, 1080 und 5100 Hz, jeweils bei 75 dB SPL. (Ansonsten Darstellung wie in Abb. 1)

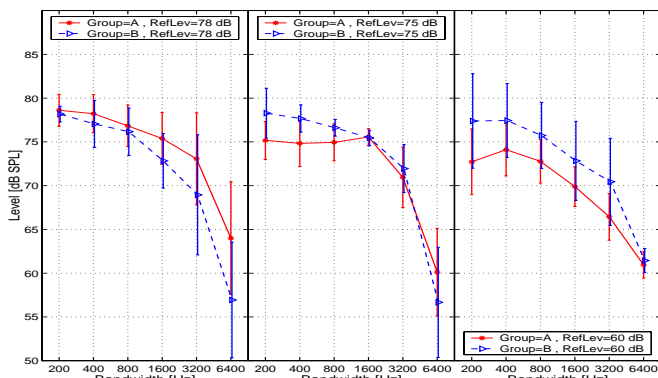


Abb. 4 Einfluß von Referenzsignalbandbreite und -pegel für die Methode "Inter2". Von Links nach rechts wurden folgende Bandbreiten und Pegel verwendet: 200 Hz bei 78 dB SPL, 1600 Hz bei 75 dB SPL und 6400 Hz bei 60 dB SPL. (Ansonsten Darstellung wie in Abb. 1)

Während Abbildung 3 eine starke Abhängigkeit des Ergebnisses von der Referenzbandbreite zeigt, ist diese in Abbildung 4 wesentlich geringer. Da aber bereits in Abschnitt III gezeigt wurde, daß die Darbietungsreihenfolge ("linear" oder "interleaved") nur einen sehr geringen Einfluß auf die Ergebnisse hat, muß hier davon ausgegangen werden, daß die Wahl des Referenzsignalpegels die Ergebnisse stark beeinflusst. Insbesondere unterscheiden sich die Abbildungen 3 und 4 dort, wo der Pegelunterschied zwischen den Referenzsignalen am Größten ist (jeweils rechtes Bild). Dieser Pegel-effekt ist besonders deutlich bei Gruppe A und zeigt sich in Abbildung 3 daran, daß die Meßkurven so verlaufen, als wären sie bei der Bandbreite des Referenzsignals "aufgehängt".

Die Ergebnisse zeigen, daß Lautheitsvergleichsmessungen praktisch unabhängig von der Wahl der Referenzsignalbandbreite sind, sofern gleichzeitig ein geeigneter Pegelausgleich in Höhe der erwarteten Lautheitssummutation vorgenommen wird.

Abbildung 5 zeigt nun, daß zumindest bei der Untersuchung individueller Daten, die dabei anzunehmende Größe der zu erwarteten Lautheitssummutation individuell bestimmt werden sollte<sup>1</sup>. Während der bei den Messungen eingestellte Pegelausgleich für den Probanden *cr* (Gruppe A, geringe Lautheitssummutation), bereits etwas zu groß war (Reihenfolge der Kurven in der Reihenfolge der Referenzsignalpegel), ist der Pegelausgleich bei Proband *ju* (Gruppe A, große Lautheitssummutation) nicht groß genug gewesen (Reihenfolge der Kurven umgekehrt zur Reihenfolge der Referenzsignalpegel), so daß die individuellen Ergebnisse keine Unabhängigkeit von der Wahl der Referenzsignalbandbreite zeigen. Erst im Mittel (vgl. Abb. 4) stimmen die Ergebnisse überein.

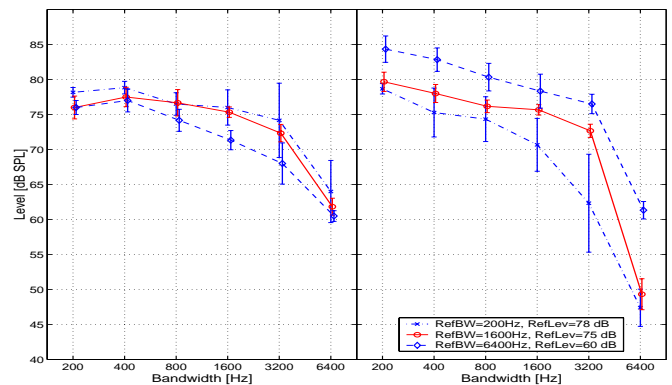


Abb. 5 Iso-Lautheitskurven für jeweils einen Probanden aus der Gruppe A (links) und der Gruppe B (rechts) gemessen nach der Methode "Inter2". Die Messung wurde bei den Referenzbandbreiten 200 (strich-punktiert/Sterne), 1600 (Linien/Kreise) und 6400 Hz (gestrichelt/Rauten) – jeweils mit Pegelausgleich durchgeführt (vgl. Abb. 4).

#### V Zusammenfassung

Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse zur Lautheitswahrnehmung zeigen, daß deutliche individuelle Wahrnehmungsunterschiede nachweisbar sind und daß – zumindest bei den hier vorgestellten Meßmethoden – die Meßmethode einen geringeren Einfluß hat. Darüber hinaus wurde gezeigt, daß bei Messungen, die bei hohen Pegeln durchgeführt werden, deutliche Pegel-effekte auftreten. Es wurde gezeigt, daß die individuelle Akzeptanz für große Lautstärken die Ergebnisse beeinflusst. Damit bestätigt diese Arbeit die in [1] gemachte Annahme über den hohen Stellenwert individueller Präferenzen im Rahmen von Lautheitsvergleichsexperimenten.

Neben diesen Ergebnissen zeigen sich beim Vergleich der Methode des Lautheitsvergleichs mit der Methode der Lautheitsskalierung deutliche Unterschiede. Insgesamt fällt der beobachtete Lautheitssummutationseffekt bei der Lautheitsskalierung wesentlich geringer aus, verglichen mit der Methode des Lautheitsvergleichs. Die individuellen Unterschiede (hier zwischen den Probandengruppen A und B) werden jedoch mit beiden Verfahren ähnlich wiedergegeben.

#### Literatur

- [1] J.-E. Appell und V. Hohmann: *Messung der Lautheitssummutation bei Normal- und Schwerhörigen*, In *Fortschritte der Akustik*, DAGA'98, Bad Honnef, DPG-Verlag, 1998.
- [2] E. Zwicker und H. Fastl: *Psychoacoustics - Facts and Models*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-52600-5, 1990
- [3] V. Hohmann und B. Kollmeier: *Weiterentwicklung und klinischer Einsatz der Hörfeldskalierung*, In *Audiologische Akustik* **34**(2), 1995.
- [4] T. Brand, V. Hohmann und B. Kollmeier: *Meßgenauigkeit der (adaptiven) kategorialen Hörfächenskalierung*, In *Fortschritte der Akustik*, DAGA'97, Bad Honnef, DPG-Verlag, 1997.
- [5] T. Brand, V. Hohmann und B. Kollmeier: *Krümmung der Lautheitsfunktion in Abhängigkeit von der Bandbreite des Signals bei Normal- und Schwerhörigen*, In *Fortschritte der Akustik*, DAGA'98, Bad Honnef, DPG-Verlag, 1998.
- [6] A. Kohrausch *et al.*: *Detection of tones in low-noise noise: Further evidence for the role of envelope fluctuations*, *Acustica united with acta acustica* **83**, 1997.

<sup>1</sup>Da dies wiederum iterativ mit Hilfe von Lautheitsvergleichsmessungen durchgeführt werden muß, sofern man keine zusätzlichen Annahmen über den Ausgang der Messung machen will, erhöht dieses Vorgehen den Meßaufwand allerdings beträchtlich.