

# Binaurale breitbandige lautheitsbasierte Anpassung trueLOUDNESS im Vergleich zu NAL-NL2

Dirk Oetting<sup>1,3,5</sup>, Sanja Rennebeck<sup>2,4</sup>, Bianca Wiercinski<sup>4,5</sup>, Michael Schulte<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>HörTech, Oldenburg, <sup>2</sup>Hörzentrum Oldenburg, <sup>3</sup>Projektgruppe für Hör-, Sprach- und Audiotechnologie des Fraunhofer-Instituts für Digitale Medientechnologie, Oldenburg, <sup>4</sup>Medizinische Physik, Universität Oldenburg, <sup>5</sup>Cluster of Excellence Hearing4all, Oldenburg,

**Schlüsselwörter: Lautheit, Lautheitssummation, binaurale Hörgeräteanpassung**

## Einleitung

Die Lautheitswahrnehmung spielt bei der Hörgeräteanpassung eine wichtige Rolle. Werden Verstärkungswerte in einem Hörgerät so eingestellt, dass die Lautheitswahrnehmung für schmalbandige Signale wiederhergestellt wird, zeigen sich große inter-individuelle Unterschiede bei der Lautheitswahrnehmung für binaurale breitbandige Signale (Oetting et al., 2016a). Werden die Verstärkungswerte in einem Kompressor für eine normale binaurale breitbandige Lautheitswahrnehmung eingestellt (Oetting et al. 2016b), ergeben sich große Verstärkungsunterschiede für Probanden mit vergleichbaren audiometrischen Hörverlusten. Diese Werte unterscheiden sich dabei teilweise erheblich im Vergleich von Verstärkungswerten aus schwellenbasierten Verfahren wie NAL-NL2, bei denen für vergleichbare Audiogramme auch vergleichbare Verstärkungswerte vorhergesagt werden. Die Verstärkungsvorhersage für die Lautheitsnormalisierung von binauralen breitbandigen Signalen wird als trueLOUDNESS Verfahren bezeichnet. Die bisherige Evaluation der Verstärkungsvorhersage nach trueLOUDNESS wurde mit einer simulierten Hörgeräteversorgung über Kopfhörer durchgeführt. Im Rahmen dieser Arbeit wird verglichen, wie eine Anpassung nach trueLOUDNESS von realen Hörgeräten im Vergleich zur NAL-NL2 in Bezug auf die versorgte Lautheitswahrnehmung und die versorgte Sprachverständlichkeit zu bewerten ist.

## Methoden

Es wurden Daten von 19 Probanden (Alter zwischen 53 und 82 Jahren, Ø 72 Jahre) mit unterschiedlichen Hörverlusten erhoben. In Abb. 1a) sind die mittleren Audiogramme der Probanden dargestellt. Der mittlere Hörverlust gemittelt über die Frequenzen 500, 1000, 2000 und 4000 Hz lag zwischen 22,5 und 60 dB HL (Ø 37,7 dB HL). Insgesamt wurden die Probanden zu drei Terminen eingeladen. Im ersten Termin wurden das Audiogramm und Lautheitsskalierungsmessungen für das trueLOUDNESS Verfahren über Kopfhörer (Sennheiser HDA200) durchgeführt. Nach der Aufnahme der schmalbandigen monauralen Lautheitsfunktionen an den Mittenfrequenzen 250, 500, 1000, 2000, 4000 und 6000 Hz wurde ein schmalbandiger Lautheitsausgleich simuliert und die Lautheitsfunktionen für Signale mit unterschiedlicher Bandbreite in den Bedingungen rechts, links und binaural ermittelt. Dabei wurden die gleichen Testsignale wie in Oetting et al. 2016a verwendet. Neben gleichmäßig anregendem Rauschen (uniformly-exciting noise) mit Bandbreiten von 1, 5 und 17 Bark wurde ein stationäres sprachsimulierendes Rauschen (IFnoise, Holube et al. 2008) verwendet. Für die Anpassung der Hörgeräte wurden die Verstärkungswerte des binauralen bandbreiten-adaptiven Dynamikkompessors für das binaurale IFnoise (stationäres Sprachrauschen, Bandbreite 9.3 Bark) bei den Pegeln 50, 65 und 80 dB SPL extrahiert (Oetting et al. 2017). Mit diesen Werten wurde die individuelle Hörgeräteanpassung nach trueLOUDNESS mit der Anpasssoftware der Hörgeräte durchgeführt. Die Ankopplung erfolgte mit Closed Domes. Zusatzfunktionen wurden ausgeschaltet und die Richtcharakteristik auf omnidirektional geschaltet. Die Anpassung nach NAL-NL2 erfolgte nach der jeweiligen Erfahrung der Probanden (Erstbenutzer oder erfahrener Hörgeräteträger) mit einem Verstärkungs-Ziel von 100%. An zwei weiteren Terminen wurde je eine Anpassung der Hörgeräte mit trueLOUDNESS und mit NAL-NL2 vorgenommen. Dabei wurde die Reihenfolge der Anpassungen randomisiert. Es erfolgte keine weitere Feinanpassung der Verstärkungswerte. Neben versorgten Lautheitsskalierungsmessungen von schmal- und breitbandigen Signalen im Freifeld wurden auch Sprachverständlichkeitsmessungen mit dem Oldenburger Satztest bei 45 und 65 dB Störschallpegeln durchgeführt. Ermittelt wurde der Signal-Rauschabstand, der zu 50 % Sprachverständlichkeit führt (speech reception threshold, SRT). Zusätzlich wurde der Fragebogen zu Klangvorlieben und Hörgewohnheiten (Sound Preference and Hearing Habits Questionnaire, SPHQ, Meis et al. 2016) eingesetzt, um einen möglichen Zusammenhang zwischen Klangtypen und der Verstärkungsvorhersage nach trueLOUDNESS zu untersuchen.

## Ergebnisse

In Abb. 1b) sind die mittleren Verstärkungswerte für einen binauralen breitbandigen Lautheitsausgleich nach trueLOUDNESS für das linke Ohr über dem mittleren Hörverlust aufgetragen. Für Probanden mit einem ähnlichen mittleren Hörverlust ergeben sich auf Grund der unterschiedlichen binauralen breitbandigen Lautheitssummation erhebliche Unterschiede zwischen den Verstärkungswerten.

Für Proband 6 mit einem mittleren Hörverlust von 36,2 dB HL ergibt sich eine benötigte mittlere Verstärkung von 17,5 dB, wohingegen für die Probanden 11 und 16 mit einem ähnlichen mittleren Hörverlust (33,5 bzw. 41,2 dB HL) die trueLOUDNESS-Verstärkungswerte 0 dB betragen und damit keine zusätzliche Verstärkung für einen Lautheitsausgleich notwendig ist. Für Proband 2 ergeben sich nach trueLOUDNESS aufgrund einer erhöhten Lautheitsempfindlichkeit für schmalbandige Signale sogar negative Werte für einen binauralen breitbandigen Lautheitsausgleich.

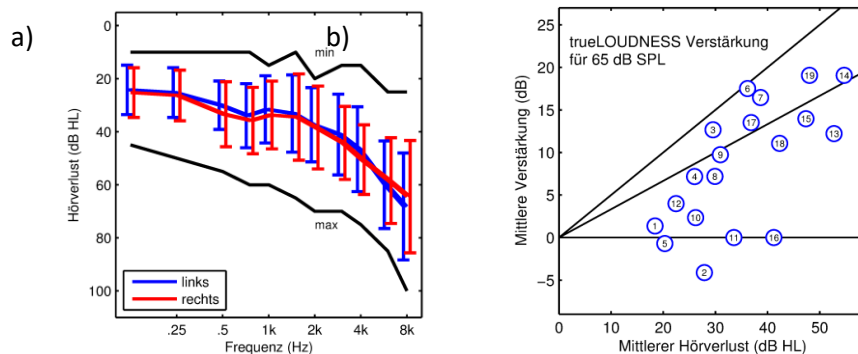


Abb. 1: a) Mittelwerte und Standardabweichung der Hörschwellen der 19 Probanden für das linke und rechte Ohr. Die schwarzen Linien zeigen die minimalen und maximalen Werte für den Hörverlust der Probanden an. b) Mittlere trueLOUDNESS Verstärkungswerte für das linke Ohr aufgetragen über dem mittleren Hörverlust. Die obere ansteigende schwarze Linie entspricht der halben Hörverlustverstärkung (half-gain rule) die untere ansteigende schwarze Linie entspricht einer 1/3 Verstärkung des Hörverlustes (one-third gain rule).

In Abb. 2 sind die Ergebnisse der mit trueLOUDNESS und NAL-NL2 versorgten Lautheitsskalierungsmessungen für das schmalbandige UEN1 (links) und das breitbandige IFnoise (rechts) im Freifeld dargestellt. Beide Anpassverfahren zeigen Lautheitskurven, die für mittlere Lautheit (25 CU) um die schwarz gestrichelte Referenzkurve liegen. Für NAL-NL2 sieht man eine leichte Verschiebung der Lautheitsfunktionen nach rechts zu höheren Pegeln, was sich in höheren Mittelwerten ausdrückt. Die mittlere Abweichung bei 25 CU für trueLOUDNESS betrug 0,9 dB für das UEN1 und 1,3 dB für das IFnoise. Für NAL-NL2 lag die mittlere Abweichung für 25 CU bei 2,0 dB für das UEN1 und bei 3,8 dB für das IFnoise. Dieser Effekt war aber nicht signifikant (ANOVA;  $F(1,18)=2,8$ ;  $p = 0,11$ ). Der Proband mit der empfindlichsten Lautheitsfunktion (rote Linie in Abb. 2) war Proband 2, für den bereits negative Verstärkungswerte mit der trueLOUDNESS Anpassung vorhergesagt wurden.

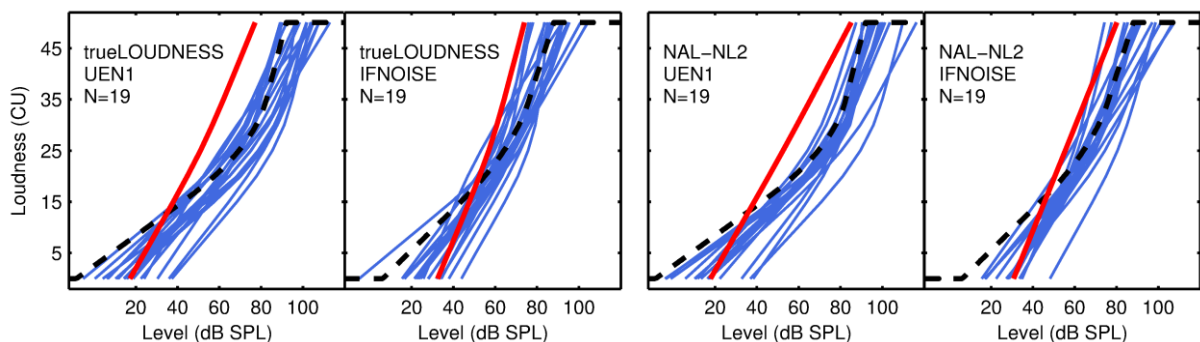


Abb. 2: Versorgte Lautheitsfunktionen der 19 Probanden für trueLOUDNESS und NAL-NL2. Gemessen wurde mit binauraler Versorgung das schmalbandige UEN1 und das breitbandige IFnoise. Die schwarze Linie zeigt die Referenzdaten von Normalhörenden und die rote Linie zeigt die Ergebnisse von Proband 2.

In Abb. 3 sind die SRT-Werte der Sprachverständlichkeitsmessungen mit dem OLSA bei 65 und 45 dB SPL Störschallpegel dargestellt. Bei 65 dB zeigen beide Anpassmethoden schmale Interquartilbereiche zwischen -4,8 und -3,3 dB. Bei 45 dB Störschallpegel ist der Interquartilbereich für die Anpassung nach NAL-NL2 deutlich größer als für 65 dB und liegt zwischen -2,5 und 0,2 dB. Fünf Probanden (26%) zeigen SRTs oberhalb von 0 dB. Mit der Anpassung trueLOUDNESS liegt der Interquartilbereich zwischen -2,6 und -1,1 dB und nur für drei Probanden (Kreuze in Abb. 3) wurden Werte oberhalb von 0 dB gemessen.

Eine Zwei-Wege-ANOVA wurde mit den SRT Werten und den Faktoren Pegel (65 und 45 dB) und Anpassung (trueLOUDNESS und NAL-NL2) durchgeführt. Der Haupteffekt für den Pegel war mit  $p < 0,001$  signifikant ( $F(1,18)=30,0$ ) während der Haupteffekt für die Anpassung nicht signifikant war ( $F(1,18)=1,0$ ,  $p=0,33$ ). Es gab eine signifikante Interaktion zwischen dem Pegel und der Anpassung ( $F(1,18)=4,9$ ,  $p=0,04$ ). Die Pegeländerung von 65 auf 45 dB hat für trueLOUDNESS eine andere Auswirkung als für NAL-NL2. Für 65 dB sind die Ergebnisse für NAL-NL2 im Mittel um 0,1 dB besser als für trueLOUDNESS wohingegen für 45 dB die Ergebnisse für trueLOUDNESS um 0,5 dB besser sind als für NAL-NL2. Die Unterschiede sind im Post-Hoc-Test nicht signifikant ( $p=0,33$  für 65 dB und  $p=0,1$  für 45 dB).

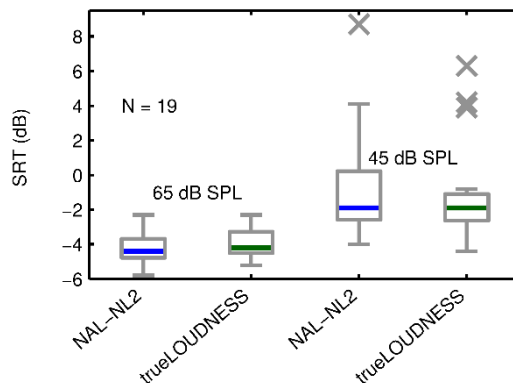


Abb. 3: Versorgte Sprachverständlichkeitsmessungen der 19 Probanden für trueLOUDNESS und NAL-NL2. Gemessen wurde der SRT mit binauraler Versorgung nach NAL-NL2 und trueLOUDNESS bei 65 und 45 dB SPL Störschallpegel.

Für die Korrelationsanalyse mit dem SPHQ Fragebogen wurden die mittleren Verstärkungswerte von trueLOUDNESS für 80 dB SPL für das linke Ohr herangezogen. Abb. 4 zeigt die Korrelation zwischen der Geräusch-Empfindlichkeit aus dem SPHQ Fragebogen (F3-Werte) und der mittleren trueLOUDNESS Verstärkungsvorhersage für binaurale breitbandige Signale bei 80 dB SPL. Die F3-Werte entsprechen der Summe der Antworten von drei Fragen (Nr. 4, 8 und 12) bezüglich der Geräuschempfindlichkeit. Es wurde keine signifikante Korrelation mit den trueLOUDNESS Daten gefunden. Eine Korrelationsanalyse mit den Einzelfragen zeigt eine signifikante Korrelation zwischen den trueLOUDNESS Verstärkungswerten und der Frage Nr. 12 „Ich bin geräuschempfindlich.“ mit  $r = 0.5$  ( $p = 0.04$ ). Dabei wäre ein negativer Wert für  $r$  erwartet worden, da eine erhöhte Geräuschempfindlichkeit zu einer geringeren Verstärkung mit trueLOUDNESS führen sollte. Alle anderen Fragen, die laute Situationen adressieren, zeigten keine signifikante Korrelation mit den trueLOUDNESS-Verstärkungswerten (Fragen Nr. 4, 7, 8, 16, 20)

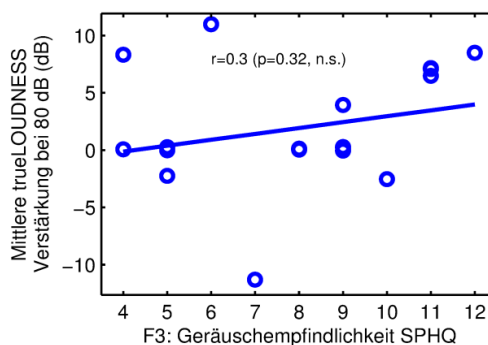


Abb. 4: Zusammenhang zwischen dem F3 Wert (Geräuschempfindlichkeit) aus dem SPHQ Fragebogen (x-Achse) und der mittleren Verstärkung nach trueLOUDNESS für ein 80 dB SPL Eingangssignal (y-Achse). Die Regressionsanalyse zeigt keine signifikante Korrelation.

## Diskussion

Bei der Einstellung der Verstärkungswerte über die Hörgeräteanpassungssoftware können nur Werte für Sprachpegel bei 50, 65 und 80 dB SPL übernommen werden. Damit steht statt des typischen Dynamikbereich von etwa 100 dB eines Normalhörenden nur ein kleiner Bereich von 30 dB für die Anpassung zur Verfügung. Verstärkungswerte unterhalb von 50 dB entsprechen typischerweise den Verstärkungswerten bei 50 dB SPL, bis die Expansionsstufe des Hörgeräts die Verstärkungswerte reduziert, um internes Rauschen zu unterdrücken. Deshalb sind die Werte bei einer Lautheitskalibrierung unterhalb von 50 dB SPL und oberhalb von 80 dB SPL durch die Extrapolation der Fitting-Software bestimmt.

In Abb. 2 entspricht dies ungefähr den Bereichen zwischen 0 und 15 CU und oberhalb von 35 CU. Abweichungen in den Lautheitsfunktionen können somit auch durch die angewendete Extrapolation der Fitting-Software entstehen.

Bei der Messung der versorgten Lautheitsfunktionen kann man im Gruppenmittel keinen eindeutigen Vorteil von trueLOUDNESS gegenüber NAL-NL2 erkennen. Für Proband 2, bei dem mit trueLOUDNESS bereits für 65 dB SPL negative Verstärkungswerte ermittelt wurden, deuten die Lautheitsfunktionen in Abb. 2 auf eine Überkompensation des Hörverlustes hin. Da die Anpasssoftware keine Eingabe von negativen Verstärkungswerten erlaubte, war die minimale Verstärkung auf 0 dB limitiert und somit für Proband 2 höher als von trueLOUDNESS vorhergesagt. Hier müsste eine Versorgung gewählt werden, die eine Dämpfung durch negative Verstärkungswerte ermöglicht.

Die Sprachverständlichkeitsmessungen andererseits zeigen keinen Vorteil für NAL-NL2 gegenüber trueLOUDNESS, obwohl NAL-NL2 im Gegensatz zu trueLOUDNESS auf maximale Sprachverständlichkeit optimiert ist. Die trueLOUDNESS-Anpassung wurde bisher auf normale binaurale breitbandige Lautheit optimiert und hatte bisher nicht den Fokus einer maximalen Sprachverständlichkeit. Bei 45 dB liegen die SRT Werte für trueLOUDNESS nur in 3 Fällen oberhalb von 0 dB. Diese drei Probanden 13, 14 und 15 gehören zu der Gruppe mit dem höchsten Hörverlust (mittlerer Hörverlust größer als 45 dB HL, siehe Abb. 1b). Hier muss das Berechnungsverfahren von trueLOUDNESS für die Ermittlung der binauralen breitbandigen Verstärkungswerte für höhere Hörverluste angepasst werden. Aus den Sprachverständlichkeitsergebnissen für 65 dB wird deutlich, dass die Probanden bei höheren Pegeln eine deutlich bessere Sprachverständlichkeit zeigen.

### Zusammenfassung

Ein Vorteil der Hörgeräteanpassung mit trueLOUDNESS im Vergleich zu NAL-NL2 konnte durch die versorgten Lautheitsskalierungsmessungen im Freifeld nicht gezeigt werden. Die Hörgeräteanpassung trueLOUDNESS liefert ähnliche Sprachverständlichkeitswerte wie das etablierte Verfahren NAL-NL2, obwohl trueLOUDNESS bisher nicht auf Sprachverständlichkeit optimiert wurde. Bei 45 dB war die mittlere Sprachverständlichkeitsschwelle für trueLOUDNESS um 0,5 dB verringert als für NAL-NL2. Der Effekt war zwar nicht signifikant, aber die geringe Streuung der SRT Werte für trueLOUDNESS deutet darauf hin, dass mit einer Anpassung der Verstärkungsvorhersage für höhere Hörverluste eine bessere Sprachverständlichkeit im Vergleich zu NAL-NL2 erreicht werden kann.

Dieses Projekt wurde gefördert von der Forschungsgemeinschaft deutscher Hörgeräteakustiker.

### Literatur

- Holube, I., Blab, S., Fürsen, K., Gürtler, S., Katrin, M., Nguyen, D., Taesler, S., Meisenbacher, K., 2008. Einfluss des Störgeräuschs und der Testmethode auf die Sprachverständlichkeitsschwelle von jüngeren und älteren Normalhörenden. DGA, Kiel, Germany.
- Meis, M., Huber, R., Fischer, R. L., Schulte, M., Spilski, J., & Meister, H. (2016). Development and psychometric properties of the sound preference and hearing habits questionnaire (SP-HHQ). *International journal of audiology*, 1-12.
- Oetting, D., Hohmann V., Appell, J.-E., Kollmeier B., Ewert S. D. (2017) Restoring perceived loudness for listeners with hearing loss, *Ear&Hearing*, DOI: 10.1097/AUD.0000000000000521, Published ahead of print
- Oetting, D., Hohmann V., Appell, J.-E., Kollmeier B., Ewert S. D. (2016a) Spectral and binaural loudness summation in hearing-impaired listeners. *Hearing Research* 335, 179-192.
- Oetting, D., Hohmann V., Appell, J.-E., Kollmeier B., Ewert S. D. (2016b). Bandbreitenabhängige Dynamikkompression zur binauralen Lautheitskompensation in Schwerhörigen. 19. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Audiologie (DGA), Hannover.