



## Hörsystemtechnologien

# Teil 1: Anpassalgorithmen

Wie bereits in der Juni-Ausgabe der »Hörakustik« angekündigt, werden wir nun mit einem neuen Themenkomplex beginnen. Diese Serie dient der Weiterbildung und wendet sich sowohl an Auszubildende als auch Gesellen und Meister. Es geht hierbei im Wesentlichen um das Erklären von Anpassalgorithmen, Funktionselementen und fachlichen Begriffen. Für themenbezogene Fragen und Anmerkungen steht Ihnen das Autorenteam Katrin Vagt und Volker Burmeister jederzeit zur Seite. Schreiben Sie uns gerne Ihre Anregungen an folgende Adressen: [k.vagt@aha-luebeck.de](mailto:k.vagt@aha-luebeck.de) oder [v.burmeister@aha-luebeck.de](mailto:v.burmeister@aha-luebeck.de)

In den ersten Artikeln werden wir uns mit den modernen Anpassalgorithmen beschäftigen. Hierzu gehören:

- NAL-NL1
- NAL-NL2
- DSLm [i/o] v5.0 (kurz: DSL v5)
- herstellerspezifische Algorithmen

Bevor wir uns den einzelnen Anpassstrategien widmen, wollen wir die zwei grundsätzlichen Verfahrensweisen unterscheiden. Zum einen gibt es die sogenannten schwellenbasierten Verfahren und zum anderen die lautheitsbasierten Verfahren.

Bei den schwellenbasierten Verfahren zur Ermittlung von Zielkurven für die Hörgeräteeinstellung wurden in Studien Zusammenhänge zwischen Hörschwelle und MCL (most comfortable level) festgestellt. Jedoch sollte beachtet werden, dass die MCL-Werte individuell verschieden sein können. Ursache hierfür sind unterschiedliche Dynamikbereiche bei gleichem Hörverlust. Ebenso ist bekannt, dass der Verstärkungsbedarf abhängig ist vom Grad des Hörverlustes. Basierend auf diesen Erkenntnissen entstanden vor der Entwicklung der digitalen Hörge-

räte lineare Anpassregeln. Zu den bekanntesten Anpassformeln gehören:  $1/2$ -Hörverlust-Regel (HV/2),  $1/3$ -Hörverlust-Regel (HV/3), Berger, PO-GO, NAL und das Isophonendifferenzmaß nach Prof. Dr.-Ing. Friedrich Keller. Später kamen die nichtlinearen Hörsysteme dazu, die neue Anpassformeln brauchten wie NAL-NL1, Fig. 6 und DSL [i/o] und weitere. Auch die weiterentwickelten NAL- und DSL-Versionen gehören zu den schwellenbasierten Verfahren. Es gibt wesentliche Unterschiede zwischen dem linearen und nichtlinearen Verfahren. Bei dem linearen Verfahren gab es nur eine Zielkurve, das heißt, linear übertragende Hörgeräte hatten die gleiche Verstärkung für verschiedene Eingangspegel. Die Kompression hingegen liefert differierende Verstärkungen bei unterschiedlichen Eingangspegeln. Daher werden für wechselnde Eingangspegel verschiedene Zielkurven benötigt.

Ziel von lautheitsbasierten Verfahren ist die Wiederherstellung der normalen Lautheit. Hierfür wird zunächst eine Lautheitsskalierung aufgenommen und daraus der frequenz- und eingangspegelspezifische Verstärkungsbe-

darf ermittelt und bestimmte Zielfrequenzgänge für leise, mittlere und laute Eingangssignale abgeleitet. Zu den bekanntesten lautheitsbasierten Verfahren gehören: LGOB und IHAFF.

## Allgemeines

Da heutzutage die Anpassung von linear übertragenden Hörsystemen kaum noch aktuell ist, werden wir in dieser Serie nicht mehr ausführlich auf die obigen Verfahren eingehen.

## NAL-NL1

Die Abkürzung NAL steht seit 1973 für National Acoustic Laboratories mit Sitz in Australien. Sie sind im Bereich der Hörforschung und Rehabilitation tätig.

Ziel von NAL-NL1, also der von den NAL entwickelten nichtlinearen Version 1 (NL1), war es, Verstärkungskurven zu berechnen, bei denen:

- die Sprachverständlichkeit maximiert wird,
- die Gesamtverstärkung nicht lauter ist als die eines Normalhörenden bei gleichem Eingangssignal,

■ die Frequenzwiedergabe mit dem Eingangsschalldruck variiert. Das heißt, die Kurvenform verändert sich je nach Eingangsschalldruckpegel.

Dies lässt sich jedoch nur mit nicht-linearen Hörsystemen realisieren. Vom Prinzip her wird die Lautheit nicht in den einzelnen Frequenzbändern normalisiert, sondern es wird die Gesamtlautheit berücksichtigt.

Der Entstehungsprozess der NAL-NL1-Formel kann wie folgt beschrieben werden:

In die NAL-NL1-Formel wurden zwei verschiedene Modelle integriert; zum einen das Lautheitsmodell nach Moore & Glasberg und zum anderen das Sprachverständlichkeitsmodell.

Das Lautheitsmodell von Moore und Glasberg hat mehrere Ansätze. Als Erstes wird die Übertragung von Signalen vom Außen- und Mittelohr durch einen festen Filter dargestellt. Die nächste Stufe ist eine Art Berechnungsalgorithmus. Die Verteilung der Erregungsmuster kann auf der Basilmembran dargestellt werden. Das Erregungsmuster/Eingangssignal wird durch einen auditorischen Filter nachgebildet. Diese Form der Erregungsmuster und die daraus resultierenden Abschwächungsfaktoren wurden aus den Maskierungsexperimenten bestimmt. Die Frequenzeinteilung von dem Erregungsmuster wurde in eine weitere Skala übertragen. Moore und Glasberg geben hierbei einen numerischen Algorithmus zur Berechnung der Erregungsmuster aus Kurzzeitspektren von Signalen an. Hierfür nutzen Sie jedoch nicht die Bark-Skala, sondern eine eigene gehörgerechte Frequenzskala, die ERB-Skala (equivalent rectangular bandwidth/Äquivalente Rechteck- [Frequenz-]Bandbreite). Jede ERB entspricht ungefähr 0,89 Millimetern auf der Basilmembran. Bis 16 Kilohertz weist sie somit 40 Stufen auf. Das menschliche Gehör unterteilt den gesamten Frequenzbereich in bestimmte Gruppen, in sogenannte Frequenzgruppen. Innerhalb dieser Gruppe findet die eigentliche Informationsauswertung statt. Eine weitere Einteilung erfolgte nach Zwicker, der die Basilar-

membran in 24 Frequenzgruppen, die sogenannte Bark-Skala einteilte. Ein Bark entspricht einer Frequenzgruppe. Es existieren also zwei sehr ähnliche Frequenzgruppeneinteilungen, die für Frequenzen oberhalb von einem Kilohertz fast übereinstimmend sind.

Die ERB-Skala ist eine Art zur Berechnung der äquivalenten Rechteckbandbreite von auditiven Filtern. Die Bandbreiten dieser auditiven Filter werden als kritische Bänder bezeichnet. Diese nehmen mit der Frequenz zu, das heißt, je höher die Frequenz, desto eher werden zwei benachbarte Töne vom selben auditiven Filter verarbeitet. In Abbildung 1 ist die Anregung mit einem Ein-Kilohertz-Ton mit unterschiedlichen Eingangspegeln zu sehen. Auf der unteren Achse ist die Einteilung nach der Anzahl der ERB zu sehen, auf der oberen Achse die Einteilung der Frequenz und auf der Y-Achse die Zunahme der Erregungspegel. Anhand dieser Grafik ist deutlich zu erkennen, dass bei einer Erhöhung des Anregungspegels die Bandbreite zunimmt beziehungsweise sich die Anzahl der ERB vergrößert. Das heißt, dass somit nicht nur der Bereich bei einem Kilohertz angeregt wird, sondern auch benachbarte ERB beziehungsweise Frequenzgruppen.

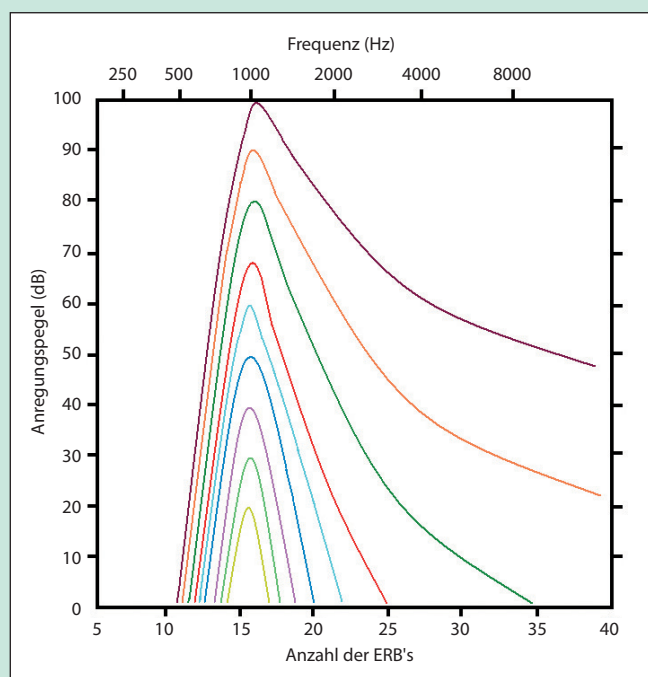


Abb. 1: Anregung mit einem 1-kHz-Ton mit unterschiedlichen Eingangspegeln

Eine wesentliche Stufe vom Lautheitsmodell ist die Transformation jeder Frequenz des Erregungspegels in die sogenannte spezifische Lautheit (N) pro ERB. Das bedeutet, dass für jede Frequenzgruppe die Lautheit ermittelt wird und die anschließende Summation der einzelnen Bänder die Gesamtlautheit ergibt. Gerade diese Umsetzung erzeugt die nichtlineare Dynamikkompression und ermöglicht den großen Dynamikbereich unseres gesunden Ohres. Bei Hörschädigungen, die das Innenohr betreffen, ist ja bekanntermaßen der Dynamikbereich eingeschränkt.

Zur weiteren Überprüfung der Genauigkeit des Modells wurden auch Probanden mit einseitiger Schwerhörigkeit gebeten, einen Lautheitsausgleich mit Tönen für beide Ohren vorzunehmen. Der Vergleich mit den Vorausberechnungen ergab eine hohe Übereinstimmung.

Das zweite integrierte Modell für die Formel NAL-NL1 ist das Sprachverständlichkeitsmodell. Dies basiert auf einem modifizierten SII (Speech Intelligibility Index). Hierbei wird der SII zur Berechnung der Sprachverständlichkeitsvorhersage eingesetzt. Damit stellt der SII ein Maß für die Sprachverständlichkeit dar. Die wesentlichen Faktoren zur Ermittlung des SII sind die Frequenzverläufe des Nutzsignals (Sprache) und des Störsignals. Der normalhörende Mensch kann Sprache am besten bewerten, wenn diese deutlich lauter ist als das Störsignal (positiver SNR). Optimal ist ein SNR von circa +15 Dezibel. Verringert sich der SNR, so wird logischerweise die Sprachverständlichkeit schwieriger und später auch abnehmen. Ab einem SNR von -15 Dezibel wird davon ausgegangen,