

Der Einfluss von Kompressionsparametern auf das Richtungshören in der horizontalen Ebene

Sharbal Musa Shufani, Martin Walger, Hasso von Wedel, Hartmut Meister

Jean-Uhrmacher-Institut für klinische HNO-Forschung und Universitäts-HNO-Klinik Köln

Einleitung

Zur Lokalisation einer Schallquelle im Raum liefern verschiedene Faktoren einen Beitrag. Neben Frequenzunterschieden spielen die Interaurale Zeitdifferenz (ITD) insbesondere tieffrequent und die Interaurale Pegeldifferenz (ILD) insbesondere hochfrequent eine große Rolle.

Die Signalverarbeitung von Hörgeräten modifiziert das akustische Eingangssignal in vielfältiger Art und Weise. Hier ist beispielsweise die Dynamikkompression zu nennen, die zur Kompensation des pathologischen Lautheitsausgleichs („Recruitment“) dient, indem hohe Pegel weniger verstärkt werden als niedrige.

Ausgehend von einer auf der rechten Seite positionierten Schallquelle und einem symmetrischen Hörverlust wird durch die Dynamikkompression das Signal der rechten Seite weniger verstärkt als das der linken. Daraus resultiert im Gegensatz zu einer linearen Verstärkung eine neue ILD, welche offensichtlich komprimiert ist.

In der Hörgerätetechnik kommen i. d. R. Kompressionsverhältnisse von 1,5:1 bis 8:1 vor. Neben den Kompressionsverhältnissen spielen Ein- bzw. Ausschwingzeit (attack- bzw. relesetime) eine wichtige Rolle. Die folgenden Fragen sollen im Rahmen der Untersuchungen beantwortet werden:

1. Wie beeinflusst das Kompressionsverhältnis die Lateralisierungsunschärfe für ILD und ITD und inwieweit wird das Richtungshören beeinträchtigt?
2. Hat die Einschwingzeit der Kompression (Attackzeit) einen Einfluss auf die Lateralisierungsunschärfe für ILD und ITD und wie wird das Richtungshören dadurch beeinflusst?
3. Unterscheiden sich die Ergebnisse des Richtungshörens für Normal- und Schwerhörende?

Methoden und Probanden

Um diese Fragen zu beantworten werden drei unterschiedliche Messungen durchgeführt:

1. ILD-Messung: Schmalbandrauschen mit Pegelunterschieden
2. ITD-Messung: Schmalbandrauschen mit Phasenunterschieden
3. „Halbkreismessung“: Kombination von Pegel- und Phasenunterschieden, was am ehesten einem realen Fall entspricht.

Für die Realisierung der Kompression wird ein frei programmierbares digitales Signalprozessorsystem benutzt (s. Abb. 1).

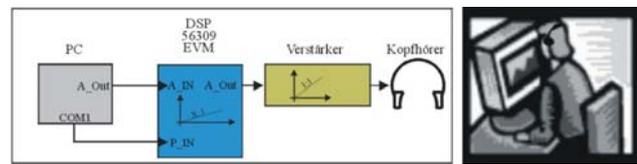


Abb. 1: Blockschaltbild des Messsystems

Das verwendete System (Motorola DSP 56309EVM) verfügt über zwei analoge Audioeingangskanäle, die die beidseitige Hörgeräteversorgung simulieren. Die analogen Audiosignale werden mit zwei 16 Bit A/D-Wandlern digitalisiert und im Arbeitsspeicher gepuffert. Das System bietet zusätzlich zwei D/A-Wandler, die das bearbeitete Signal an einen Verstärker, an dem der Kopfhörer (Sennheiser HD 25) angeschlossen ist, weiterleiten. Die Antworten des Probanden werden über einen Touch-Screen (Monitor) erfasst.

Für die ILD- und ITD-Messungen wird mit einem adaptiven 2-Schritt-Verfahren die Lateralisierungsunschärfe gemessen. Der Proband muss am Touch-Screen „Rechts“ bzw. „Links“ anklicken. Das Ergebnis hinsichtlich der Lateralisierungsunschärfe ist die Interaurale Pegeldifferenz [dB] bzw. die Interaurale Zeitdifferenz [μ s], bei der der Proband den dargebotenen Reiz mit 70,7 % Wahrscheinlichkeit richtig lateralisieren kann.

Bei der Halbkreismessung werden die Signale mit einer Außenohrimpulsantwort gefaltet. Somit wird eine virtuelle Schallquelle im Raum simuliert. Die Probanden geben die Position der Schallquelle mit Hilfe einer Skizze am Touch-Screen an. Das Ergebnis dieser Messung ist eine Verwechslungsmatrix mit Vorgabe und Antwort im Bereich von ± 60 Grad mit 15 Grad Schrittweite.

Zusätzlich zu der linearen Verstärkung werden als Kompressionsverhältnisse 3:1 und 8:1 verwendet. Für die jeweiligen Kompressionsverhältnisse werden die Attackzeiten 2, 20 und 200 ms ausgewählt. Dabei wird die Ausschwingzeit auf 500 ms konstant gehalten. Bei schwerhörenden Versuchspersonen wird die Messung mit 20 ms Einschwingzeit aus Zeitgründen weggelassen. Dargeboten werden Schmalbandrauschen mit 500 und 4000 Hertz Mittenfrequenz.

Als Versuchspersonen werden vier trainierte Normalhörende im Alter zwischen 25 und 45 Jahren und sieben erfahrene Hörgeräteträger mit symmetrischen Hörverlusten im Alter von 48 bis 64 Jahren ausgewählt. Die gemittelten tonaudiometrischen Schwellenwerte bei 500 Hz und 4000 Hz betragen 25 und 65 dB HL.

Ergebnisse

Dargestellt sind in den folgenden Abbildungen immer die Mittelwerte und die Konfidenzintervalle. Farbkodiert sind die Kompressionsverhältnisse 1:1, 3:1 und 8:1.

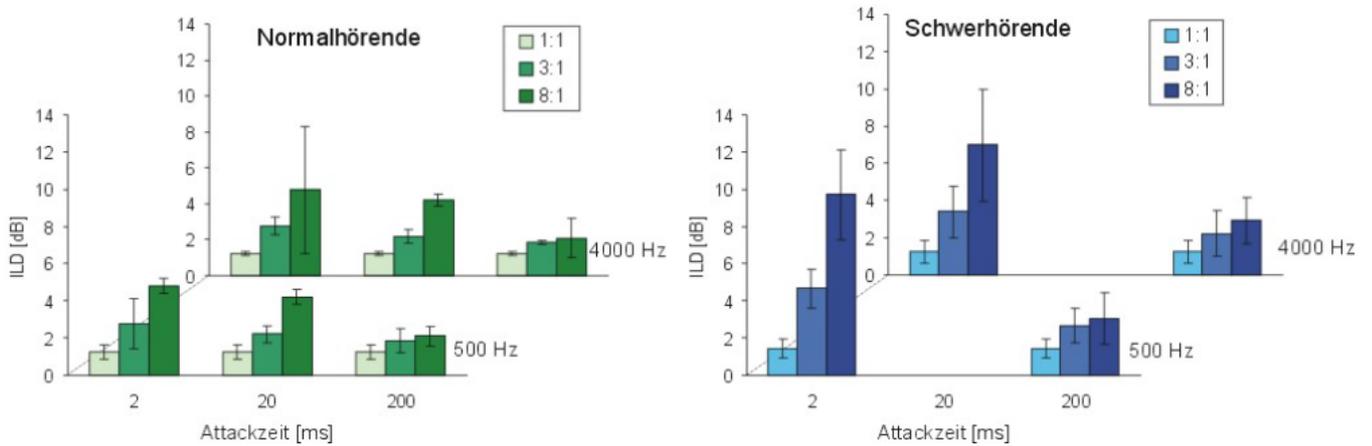


Abb. 2: Lateralisierungsunschärfe (ILD) in Abhängigkeit von der Kompression

ILD-Messung: Bei der ILD-Messung (s. Abb. 2) ist zu erkennen, dass mit zunehmendem Kompressionsverhältnis die Lateralisierungsunschärfe ansteigt und mit Verlängerung der Einschwingzeit abnimmt. Die ILD-Messung zeigt bei 500 und 4000 Hz ein sehr ähnliches Ergebnis.

ITD-Messung: Hier ergibt sich, dass die Lateralisierungsunschärfe sowohl bei 500 Hz, als auch bei 4000 Hz (s. Abb. 3) weder von der Kompressionsrate noch von den Einschwingzeiten abhängig ist. Überraschend ist das Er-

gebnis bei 4000 Hz für die Schwerhörnden. Hier zeigen sich sehr hohe Werte, die aber ebenfalls nicht von der Kompression abhängen. Die unterschiedlichen Ergebnisse bei der Einschwingzeit 2 ms können nicht als systematischer Effekt nachgewiesen werden.

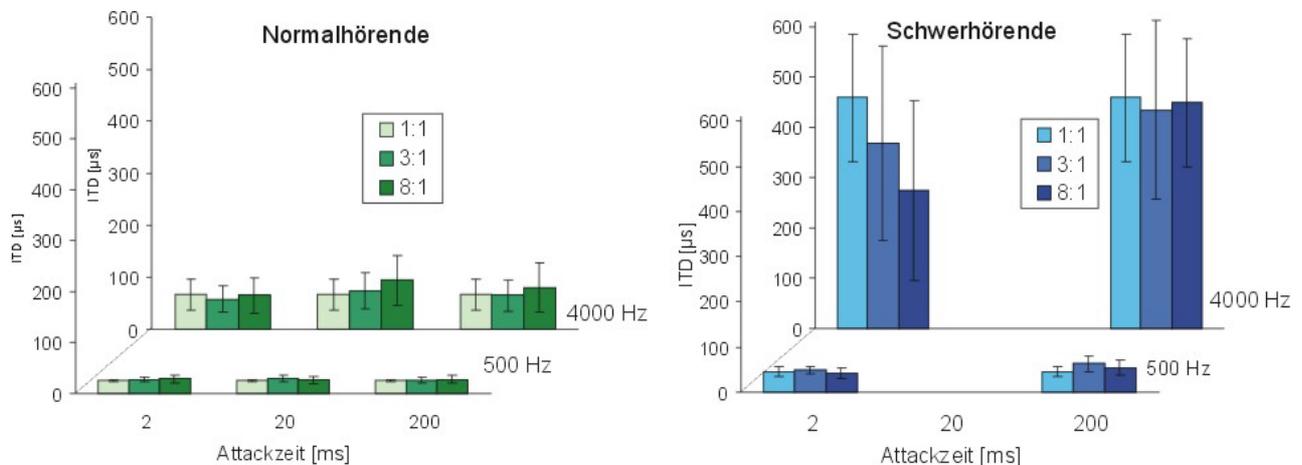


Abb. 3: Lateralisierungsunschärfe (ITD) in Abhängigkeit von der Kompression

„Halbkreismessung“: Die Messungen der Normalhörenden bei 500 Hz (s. Abb. 4) liefern unabhängig von der Kompression einen konstanten Lokalisierungsfehler von ca. 10 Grad. Auch die Schwerhörnden zeigen bei 500 Hz einen konstanten Lokalisierungsfehler, welcher etwa 5 Grad höher als bei den Normalhörenden ist.

Bei 4000 Hz ist bei den Normalhörenden zumindest für das Kompressionsverhältnis 8:1 bei 2 ms eine Erhöhung des Lokalisierungsfehlers erkennbar. Der Lokalisie-

rungsfehler von Schwerhörnden bei 4000 Hz steigt mit der Erhöhung der Kompressionsrate an und nimmt mit längeren Einschwingzeiten ab. Möglicherweise spiegelt sich die ILD-Messung hier wider, da die ILD im höheren Frequenzbereich dominiert.

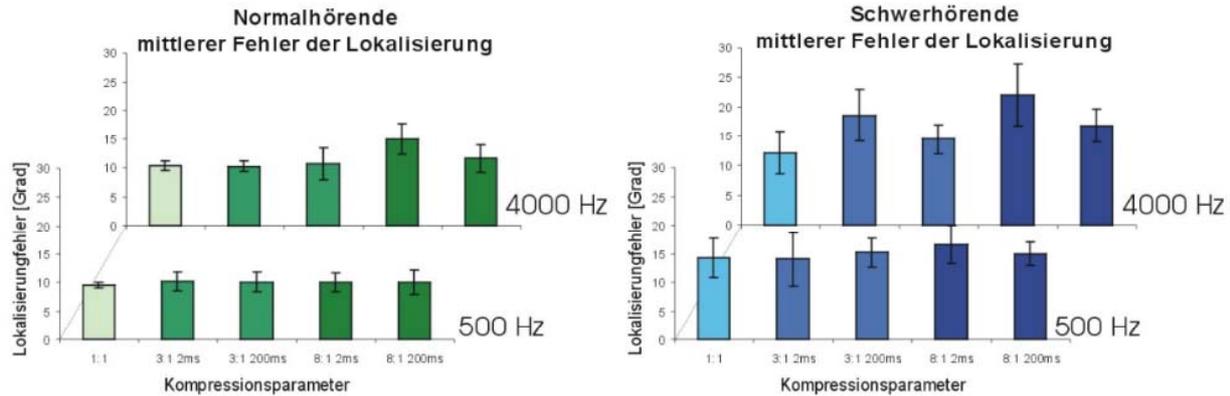


Abb. 4: Lokalisierungsfehler in Abhängigkeit von der Kompression

Diskussion und Ausblick

Die einleitend genannten Fragen können wie folgt beantwortet werden:

1. Höhere Kompressionsverhältnisse führen zur Vergrößerung der Lateralisierungsunschärfe für ILD (Abb. 2) und haben keinen Einfluss auf die ITD (Abb. 3). Der Lokalisierungsfehler der „Halbkreismessung“ bei 500 Hz ist vom Kompressionsverhältnis unabhängig und steigt bei 4000 Hz mit dem Kompressionsverhältnis an (ILD dominiert).
2. Die Attackzeit der Kompression hat einen deutlichen Einfluss auf die Lateralisierungsunschärfe für ILD (Abb. 2). Erhöhungen der Attackzeiten führen zur Erniedrigung der ILD-Werte. Dies ist auf die langsamere Verringerung der Pegelunterschiede zurückzuführen. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Tatsache, dass sich die Lateralisierungsunschärfe bezüglich der linearen Verstärkung nicht im selben Maße wie das Kompressionsverhältnis ändert. Offensichtlich bezieht das Gehör selbst bei einer Attackzeit von 2 ms den allerersten Signalabschnitt noch in die Auswertung mit ein. In Abb. 3 ist deutlich zu erkennen, dass die ITD-Werte in allen Kombinationen der Attackzeit relativ konstant sind. Auffällig sind die hohen ITD-Werte von Schwerhörnden bei 4000 Hz. Bei 500 Hz ist der Lokalisierungsfehler von den Einschwingzeiten unabhängig (ITD dominiert) und bei 4000 Hz nimmt er mit längeren Einschwingzeiten ab (ILD dominiert).
3. Bei der ILD- und der ITD-Messung zeigen die Schwerhörnden generell eine etwas höhere Lateralisierungsunschärfe. Allerdings ergibt sich ein deutlicher Unterschied für ITD bei 4000 Hz. Bei der „Halbkreismessung“ zeigen die Schwerhörnden einen etwa 5-10 Grad höheren Lokalisierungsfehler als die Normalhörenden.

Da diese Ergebnisse unter idealen Laborbedingungen entstanden sind, ist weiterführend noch zu klären, ob die erhöhten Lokalisierungsunschärfen im Alltag eine wichtige Rolle spielen und welche Effekte sich bei realen Hörgeräten ergeben.

Literatur

- [1] Blauert Jens, Räumliches Hören, S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1974.
- [2] Harvey Dillon, Hearing Aids, Boomerang Press Sydney, 2001.
- [3] MOTOROLA INC., DSP56309EVM User's Manual, Rev. 1.92, 12/1999.

Supported by the Koeln Fortune Program
Faculty of Medicine, University of Cologne.