

Messtechnischer Nachweis der mehrkanaligen Signalverarbeitung bei Hörgeräten

Hendrik Husstedt¹, Anne Wiggers¹

¹ Deutsches Hörgeräte Institut GmbH, Bessemerstr. 3, 23562 Lübeck, E-Mail: h.husstedt@dhi-online.de

Einleitung

Die Signalverarbeitung in heutigen Hörsystemen geschieht in der Regel in verschiedenen Kanälen. Dabei wird im Bereich der Hörsysteme unter einem Kanal die Möglichkeit verstanden, dass mindestens die Verstärkung und die Kompression der Lautstärke in einem gewissen Frequenzbereich separat eingestellt werden kann. Für die Anpassung von Hörsystemen ist diese Eigenschaft von besonderer Bedeutung, sodass die Mehrkanaligkeit ein wichtiges Qualitätsmerkmal darstellt. Dies zeigt sich auch darin, dass in einigen Ländern eine gewisse Mindestanzahl an Kanälen bei Hörsystemen gefordert wird, z.B. vier Kanäle in Deutschland [1].

Obwohl die Mehrkanaligkeit eine wichtige Eigenschaft von Hörsystemen darstellt, existieren bislang weder eine standardisierte Definition noch steht ein einheitliches Verfahren für einen messtechnischen Nachweis zur Verfügung. Aus diesem Grund beschäftigt sich dieser Beitrag mit der Möglichkeit die Mehrkanaligkeit bei Hörsystemen messtechnisch nachzuweisen. Zu diesem Zweck werden zunächst Messergebnisse präsentiert, die die Auswirkungen der Mehrkanaligkeit anschaulich am Beispiel der mehrkanaligen Verstärkung darstellen. Anhand dieser Ergebnisse wird diskutiert, inwieweit sich voneinander abhängige und unabhängige Kanäle unterscheiden lassen. Schließlich wird gezeigt, wie mit diesen Überlegungen die Anzahl der voneinander unabhängigen Kanäle messtechnisch nachgewiesen werden kann.

Messtechnische Darstellung eines Kanals

Zur messtechnischen Darstellung ist es die Überlegung, jeweils die zu untersuchende Größe eines Kanals (z.B. Verstärkung oder Kompression) mit maximaler und alle anderen Kanäle mit minimaler Wirkung einzustellen. In dieser Einstellung wird dann für jeden der zu untersuchenden Kanäle eine Messkurve für die zu untersuchende Größe aufgenommen. An dieser Stelle ist die Beschreibung bewusst allgemein gewählt, um das Verfahren nicht von vornherein auf eine zu untersuchende Größe zu beschränken. Es ist jedoch anzumerken, dass alle folgenden Messwerte sich nur auf die akustische Verstärkung als zu untersuchende mehrkanalige Größe beziehen.

Im Rahmen der Untersuchung werden Messungen mit einem Hörgerät vom Typ „Motion SA 7px“ der Firma Signia durchgeführt. Obwohl das Hörgerät über insgesamt 20 Kanäle verfügt, werden aus Gründen der Übersicht nur 4 Kanäle bei den Messungen berücksichtigt. Für die Messungen wird jeweils ein 1/f-Rauschen mit einem Terzbandpegel von 60 dB SPL am Eingang des Hörgerätes im Freifeld präsentiert. Der Ausgang wird mit einem Ohrsimulator nach DIN EN 60118-4 aufgenommen und als

Ergebnis werden die Schalldruckpegel in 1/12-Oktavbändern betrachtet (siehe Abbildung 1).

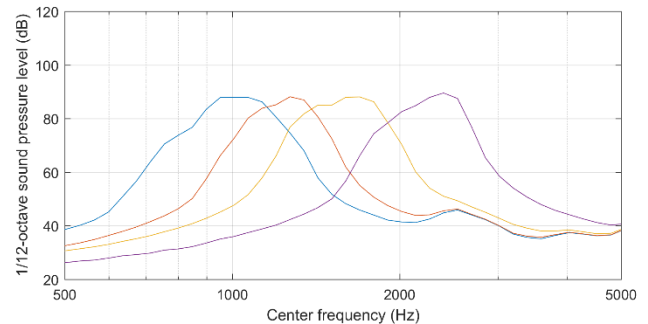


Abbildung 1: Exemplarische Messdaten für Darstellung der unterschiedlichen Verstärkung in vier Kanälen. Für die Messungen wird jeweils ein 1/f-Rauschen mit einem Terzbandpegel von 60 dB SPL im Freifeld am Eingang des Hörgerätes präsentiert. Der Ausgang wird mit einem Ohrsimulator nach DIN EN 60118-4 aufgenommen und als Ergebnis werden die Schalldruckpegel in 1/12-Oktavbändern betrachtet.

In Abbildung 1 ist deutlich zu erkennen, dass bei einer solchen Darstellung immer Überschneidungen der Kanäle auftreten. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass reale Filter nie eine unendlich hohe Flankensteilheit aufweisen können. Darüber hinaus ist eine Überschneidung der Kanäle bis zu einem gewissen Maß sinnvoll und notwendig, damit keine „Lücken“ in der Gesamtübertragung entstehen. Es stellt sich also die Frage, inwieweit ein Kanal einen neuen Freiheitsgrad bietet und unabhängig von den übrigen Kanälen eingestellt werden kann. Deshalb soll im Folgenden betrachtet werden, wie die Unabhängigkeit der Kanäle definiert und anhand der Messdaten nachgewiesen werden kann.

Bewertung der Unabhängigkeit der Kanäle

Im Gebiet der linearen Algebra wird die Unabhängigkeit von n Funktionen $f_1(x); f_2(x); \dots; f_n(x)$ in der Regel dadurch definiert, dass keine Funktion als gewichtete Linearkombination der übrigen Funktionen dargestellt werden kann [2]. In diesem Fall besitzt die Gleichung

$$0 = c_1 f_1(x) + c_2 f_2(x) + \dots + c_n f_n(x) \quad (1)$$

nur die triviale Lösung $c_1 = c_2 = \dots = c_n = 0$. Genau diese Herangehensweise soll auch im Folgenden angewendet werden, wobei die Funktionen nicht als Gleichungen sondern als Messwerte vorliegen. Deshalb ist die Überlegung, die Messwerte m der einzelnen Kurven in einer Matrix \mathbf{M} z.B. in folgender Form

$$M = \begin{matrix} & \xrightarrow{\text{Frequenz}} & \\ \begin{matrix} m_{11} & \cdots & m_{1k} \\ \vdots & & \vdots \\ m_{l1} & \cdots & m_{lk} \end{matrix} & \begin{matrix} \downarrow \\ \text{Messkurve} \end{matrix} & \end{matrix} \quad (2)$$

zusammenzufassen. Dabei muss die Anzahl der Messwerte pro Kurve k ausreichend hoch sein, um das frequenzabhängige Verhalten darstellen zu können (z.B. 1/12-Oktaveauflösung). Des Weiteren muss die Anzahl der Messkurven l immer gleich oder größer der Anzahl zu testender Kanäle sein. An dieser Stelle sei angemerkt, dass für die Messkurven in den Abbildungen logarithmische Darstellungen gewählt werden, die Messwerte für eine lineare Superposition aber als Schalldrücke in die Matrix M eingefügt werden müssen. Können nun einzelne Messkurven bzw. Zeilen der Matrix M als Linearkombination anderer Messkurven bzw. Zeilen dargestellt werden, ist der Rang der Matrix kleiner als die Anzahl der Messkurven bzw. Anzahl der Zeilen. Deshalb ist es die Idee über den Rang der Matrix die Anzahl der unabhängigen Kanäle festzustellen. Bei dieser Überlegung ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei Messungen immer Messfehler auftreten, sodass der Rang der Matrix bei realen Messwerten immer der Anzahl der Messkurven entsprechen wird. Eine Möglichkeit besteht hier, dass bei der Bestimmung des Rangs der Matrix über eine Singulärwertzerlegung eine untere Grenze für die zu berücksichtigen Singulärwerte festgelegt wird. Dies soll anhand von Messwerten näher erläutert werden. Dazu werden neben den vier in Abbildung 1 betrachteten Kanälen drei weitere, bewusst linear abhängige Kanäle eingefügt (siehe Abbildung 2).

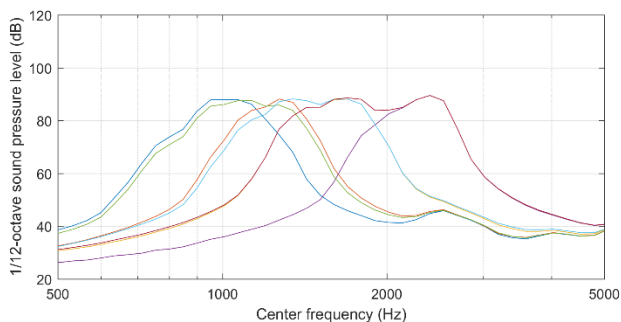


Abbildung 2: Exemplarische Messdaten in gleicher Weise ermittelt und dargestellt wie in Abbildung 1. In dieser Abbildung sind zusätzlich jedoch drei linear abhängige Kanäle enthalten, welche durch Messungen bei der gleichzeitigen Anhebung zweier benachbarter Kanäle erzeugt werden.

Die linear abhängigen Kanäle werden dadurch erzeugt, dass die Verstärkung bei zwei benachbarten Kanälen jeweils maximal und in allen anderen Kanäle minimal eingestellt wird. Mit diesen sieben Messkurven wird nun die Matrix M aufgestellt und die zugehörigen Singulärwerte bestimmt. Bei der Betrachtung der Singulärwerte relativ zum größten Wert zeigt sich, dass zwischen dem vierten und fünften Singulärwert ein deutlicher Abfall erkennbar ist (siehe Abbildung 3).

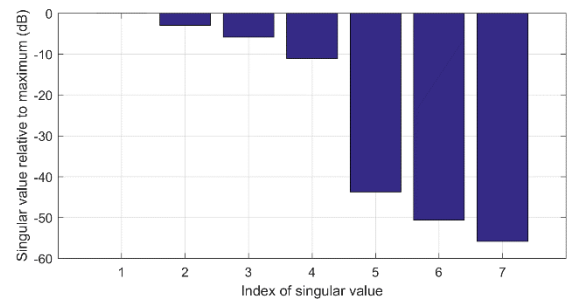


Abbildung 3: Darstellung der nach der Größe geordneten Singulärwerte relativ zum größten Wert in Dezibel.

Man könnte in diesem Fall also eine Grenze bei ca. 15-40 dB relativ zum größten Singulärwert setzen und würde die richtige Anzahl von vier unabhängigen Kanälen detektieren. Ein andere Möglichkeit, eine Grenze für die zu berücksichtigenden Singulärwerte festzusetzen, ist es, die der Größe nach sortierten Singulärwerte jeweils relativ zueinander zu betrachten (siehe Abbildung 4).

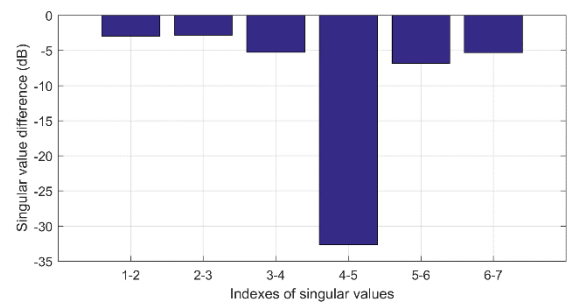


Abbildung 4: Darstellung der nach der Größe geordneten Singulärwerte relativ zum nächst größeren Wert in Dezibel.

Der Unterschied zwischen dem vierten und fünften Singulärwert ist mit ungefähr 25 dB größer als alle anderen Sprünge und könnte damit leicht detektiert werden. Es zeigt sich also, dass die Anzahl der unabhängigen Kanäle in dem betrachteten Messbeispiel sehr gut über die Singulärwerte bzw. den Rang der Matrix bestimmt werden kann. An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass bei dieser Betrachtung gewisse Mindestanforderung an die Messgenauigkeiten gestellt werden müssen. Zufällige Messfehler, wie das Messrauschen, führen dazu, dass die lineare Abhängigkeit weniger deutlich sichtbar wird und die Unterschiede in den Eigenwerten nicht so deutlich ausfallen.

Schlussbetrachtung

Mehrkanaligkeit ist eine wichtige Eigenschaft von Hörgeräten, insbesondere bei der Verstärkung und der Kompression. Es wird eine Möglichkeit gezeigt, wie die Effekte der mehrkanaligen Signalverarbeitung dargestellt werden können. Darüber hinaus wird auf die Fragestellung eingegangen, inwieweit ein Kanal einen neuen Freiheitsgrad zur Verfügung stellt und unabhängig von anderen Kanälen eingestellt werden kann. Hierfür liegt bislang weder eine Definition noch ein Messverfahren zur Bestimmung der unabhängigen Kanäle vor. Es wird gezeigt, wie mit den ermittelten Messkurven die Anzahl der unabhängigen

Kanäle bestimmt werden kann. Dafür werden die Messwerte in eine Matrix zusammengefasst und der Rang der Matrix unter Berücksichtigung der Singulärwerte bestimmt. Hierbei ist es wichtig, die zu berücksichtigenden Singulärwerte durch eine untere Grenze, z.B. relativ zum größten oder relativ zum nächstgrößeren Singulärwert, zu bestimmen. Zukünftige Untersuchungen müssen zeigen, welche Anforderungen an die Messgenauigkeit für eine verlässliche Bestimmung der Anzahl unabhängiger Kanäle zu definieren sind.

Literatur

- [1] Spitzenverband Bund der Krankenkassen (GKV-Spitzenverband), „Fortschreibung der Produktgruppe 13 vom 21.09.2015“, Berlin, 2015
- [2] Beutelspacher, A. „Lineare Algebra“, 8. Auflage, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2014