

Hörverbesserung durch Frequenztransposition?

Siegfried Mehmke

Vorgetragen auf der Jahreshaupttagung der
Union der Hörgeräte-Akustiker in Bonn am 9. 3. 1963

Zusammenfassung. Verschiedene Methoden der Frequenztransposition werden besprochen. Die Verlagerung bestimmter Frequenzbereiche ist von großem Interesse, weil noch kleine Hörreste nutzbar zu machen sind, wenn man das Sprachspektrum in den verbliebenen Hörfrequenzbereich verlegt. Im Vordergrund stehen dabei Schwerhörigkeiten, die eine Einengung des Frequenzspektrums im Sinne einer Herabsetzung der oberen Frequenzgrenze aufweisen. Bei diesen »Tieftonhörenden« liegt das Sprachspektrum praktisch außerhalb des Bereiches der noch gehörten Frequenzen.

Die Gegenüberstellung verschiedener Methoden der Frequenztransposition läßt erkennen, daß in jedem Fall für die Information wesentliche Größen verändert werden müssen. Da bisher noch nicht vollständig bekannt ist, welche Parameter der sprachlichen Signale Zeichencharakter haben und welche redundant sind, war es erforderlich, die Brauchbarkeit der Transpositionsmethoden in einer Reihe von Experimenten auszuprobieren. Dabei zeigte sich, daß eine unmittelbare Nutzbarmachung der transponierten Sprache nicht möglich ist. Es scheint eine Ausnutzung des verbliebenen Tieftongebietes von der Lernfähigkeit abhängig zu sein. Immerhin zeichnet sich hier eine Möglichkeit ab, die weiter verfolgt werden sollte.

Von den verschiedenen Arten der Schwerhörigkeiten wirkt sich besonders folgenschwer eine Einengung des Frequenzspektrums aus, die fast immer in einer Herabsetzung der oberen Frequenzgrenze besteht. Die reine Baßtaubheit (eine isolierte Schädigung des Tieftonbereiches, s. *Langenbeck* [1]) gehört zu den seltenen Ausnahmen. Am schwersten sind nun die Patienten betroffen, die nur noch die tiefen Töne hören können, bei denen also das Sprachfrequenzband mehr oder minder vollkommen außerhalb des Bereiches der von ihnen noch gehörten Tonlagen liegt.

Wenn man daran denkt, daß die Oktave um 500 Hz etwa 15 %, die Oktave bei 1000 Hz 30 %, bei 2000 Hz 40 % und bei 4000 Hz 15 % zur Gesamtverständlichkeit beiträgt, wird die Schwere des Hörausfalls der Tieftonhörenden erkenntlich. Sie verfügen vornehmlich nur noch über Frequenzen im Spektralsbereich unter 500 Hz, der im wesentlichen diagnostische und affektive Elemente enthält, also für die Sprachverständlichkeit praktisch ohne Bedeutung ist.

In Anbetracht der Tatsache, daß die Tieftonhörenden nur Frequenzen perzipieren können, die im wesentlichen außerhalb des Sprachfrequenzbereiches liegen, wurde von verschiedenen Autoren (*König* [2], *Raymond* und

Proud [3], Springer [4], Schubert [5] u. a.) der Vorschlag gemacht, die Sprache in das verbliebene Hörfrequenzband zu verlagern, um so das Restgehör auszunutzen (Abb. 1). Könnte dieser Vorschlag realisiert werden, so ständen wir wirklich vor einer möglichen Lösung dieses Problems.

Tatsächlich gelingt es nun, auf verschiedenen Wegen eine Tieftonsprache herzustellen, indem man bestimmte Frequenzbereiche heruntertransponiert.

Die einfachste Art einer solchen Frequenzänderung hat jeder wohl schon einmal gewollt oder ungewollt vorgenommen, als er eine Schallplatte mit einer anderen als der vorgeschriebenen Umlaufgeschwindigkeit hat abspielen lassen. Spiele ich z. B. eine Schallplatte statt mit der vorgeschriebenen Umlaufgeschwindigkeit nur mit der halben ab, so bekomme ich bei doppelter Abspieldauer eine Tonlagenänderung um eine Oktave nach den tiefen Frequenzen hin. Hier bewirkt die halbe Umlaufgeschwindigkeit aber nicht nur eine Halbierung der Frequenz, sondern gleichzeitig eine Verdoppelung der Laufzeit und damit eine Verdoppelung der Spieldauer. Damit wird die Übertragungszeit der auf der Schallplatte aufgezeichneten Information also doppelt so lang.

Eine andere Möglichkeit der Frequenztransposition stellt die von Springer beschriebene Methode dar, bei der die Frequenztransposition unter Zugrundelegung des Doppler-Effektes vorgenommen wird. Mit Hilfe eines rotierenden Magnetkopfes werden bestimmte alternierende Abschnitte von einem bewegten Magnetband abgetastet unter gleichzeitiger zeitlicher Dehnung dieser abgetasteten Abschnitte. Einzelne Abschnitte auf dem Magnetband werden also übersprungen, ohne daß zeitliche Lücken bei der Abtastung auftreten. Dadurch kann erreicht werden, daß die Übertragungsdauer der Information erhalten bleibt. Die zeitliche Dehnung wird durch eine Veränderung der Relativgeschwindigkeit des Spalttes am Magnetkopf und des -Bandes erzielt.

Eine dritte Möglichkeit der Tonlageänderung wurde in neuester Zeit von Raymond und Proud [3] untersucht. Sie nahmen die Frequenztransposition mit Hilfe des Differenztonverfahrens vor. Schlage ich z. B. zwei Stimmgabeln von 1000 Hz und von 2000 Hz gleichzeitig an, so entstehen neben den beiden gegebenen Frequenzen von 1000 und 2000 Hz noch ein Summationston von 3000 Hz ($1000 + 2000$) und ein Differenzton bei 1500 Hz ($\frac{1000 + 2000}{2}$) (Abb. 2). Durch akustische

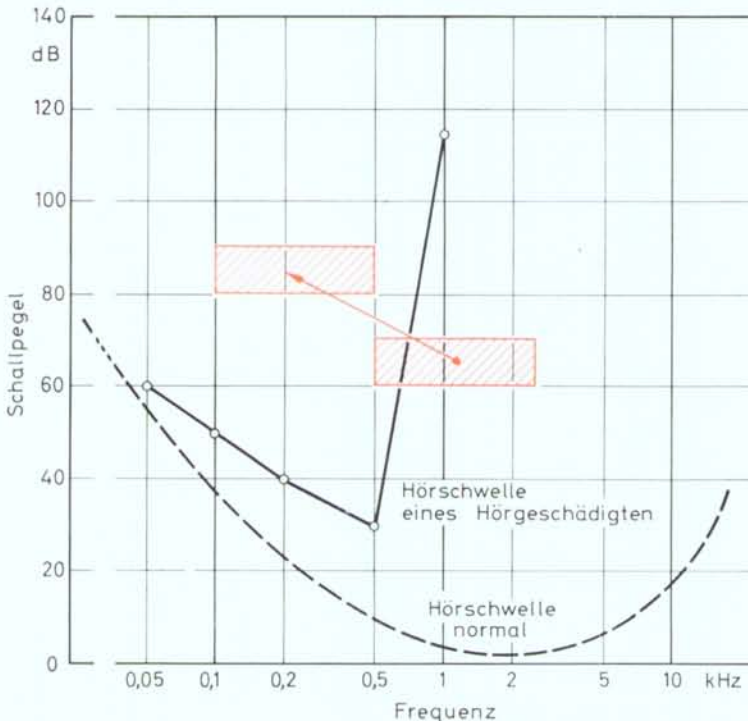
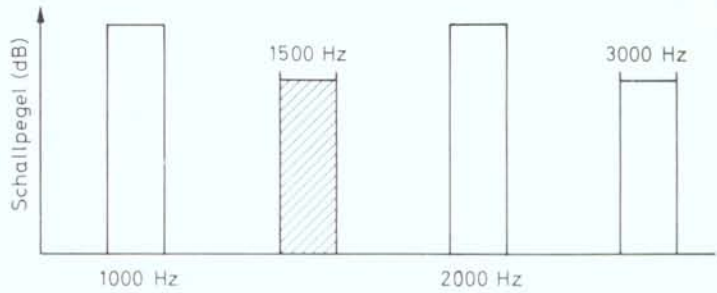


Abb. 1 Vorschlag der Verlagerung der Frequenzen des Hauptsprachbereiches in den tiefen Tonbereich

Abb. 2 Skizze zum Prinzip des Differenztonverfahrens (siehe Text)



Filterung kann ich den Differenzton bei 1500 Hz herausheben, so daß damit eine Frequenzherabsetzung um 500 Hz erreicht ist. Nach diesem Prinzip läßt sich jede gewünschte Tonlageänderung vornehmen.

Die einzelnen Methoden der Signalübertragung unterscheiden sich durch bestimmte Veränderungen des Informationsraumes:

Die Methode der Frequenztransposition durch Änderung der Laufgeschwindigkeit einer Schallplatte z. B. erhält das Frequenzverhältnis und den Strukturgehalt des Signals (Logone), weil die Dauer der Nachrichtenübertragung im Verhältnis der Frequenzherabsetzung verlängert ist.

Unter Frequenzverhältnis ist hier das Zahlenverhältnis der einzelnen Frequenzkomponenten des Signals zu verstehen, das heißt, die Klangkomponenten im unveränderten und transponierten Signal stehen im gleichen Zahlenverhältnis zueinander.

Springer [4] sorgt bei seiner Methode für die Erhaltung des Frequenzverhältnisses und die Dauer der Informationsübertragung. Der Strukturgehalt des Signals wird jedoch herabgesetzt, da die auf den übersprungenen Bandabschnitten aufgezeichnete Information verlorengeht.

Bei der Differenztonmethode bleibt zwar die Verlaufsform des Signals in der Zeit erhalten. Dagegen wird das Frequenzverhältnis völlig verändert, weil alle Frequenzkomponenten des Signals um den gleichen absoluten Betrag herabgesetzt werden. Damit wird ebenfalls der Strukturgehalt des Signals herabgesetzt.

So läßt die Gegenüberstellung dieser drei Methoden der Tonlageänderung erkennen, daß in jedem Fall für die Information wesentliche Größen verändert werden müssen.

Wie wichtig gerade der Ablauf eines Signals als Funktion der Zeit ist, der beim Schallplattenbeispiel und bei der Springer'schen Methode verändert wird, bestätigt uns Meyer-Eppler [6], der in seiner Informationstheorie darauf hinweist, daß ein beträchtlicher Teil der in einem Sprachsignal enthaltenen semantischen

Information offenbar in der zeitlichen Aufeinanderfolge der Nulldurchgänge steckt. Eine Reduktion der Amplitudenstufen, z. B. durch Spitzenbeschneidung bis auf zwei Amplitudenstufen, ist andererseits möglich, ohne die Verständlichkeit wesentlich zu beeinflussen. Dagegen vermag eine Veränderung der Anklingzeiten um wenige Millisekunden (ms) die Signale tiefgreifend zu verändern. So wird z. B. bei einer Anklingzeit, die kleiner als 40 ms ist, ein bestimmtes Signal als b verstanden. Wächst die Anklingzeit über 40 ms hinaus, so wird das Signal als w verstanden.

Da bisher jedoch noch nicht vollständig bekannt ist, welche Parameter der sprachlichen Signale Zeichencharakter haben und welche redundant sind, war es erforderlich, die Brauchbarkeit der Transpositionsmethoden in einer Reihe von Experimenten auszuprobieren. Bei allen zitierten Methoden wurden bestimmte Parameter zwecks Darstellung eines bestimmten Frequenzbandes verändert. Bei der technischen Durchführung der Frequenztransposition haben sich je nach der angewandten Methode andere Parameter des sprachlichen Signals mitverändert. Deshalb liegt der Wert der praktischen Erprobung jeweils darin, zu prüfen, ob das so veränderte Signal für das menschliche Gehör noch Zeichencharakter besitzt.

Die Methode der Frequenztransposition des Schallplattenbeispiels wurde von Schubert [5] geprüft. Er konnte nachweisen, daß die mit dieser Methode einhergehende Veränderung der Zeit- und Frequenzskala in Abhängigkeit von der Verlängerung der Laufzeit zu einem rapide zunehmenden Diskriminationsverlust führte. Eine geringe Verlängerung der Laufzeit, um 30 % z. B. – das entspricht der Herabsetzung der Frequenz um etwa eine Terz –, ermöglichte noch eine ausreichende Silbenverständlichkeit. Jede weitere Frequenzherabsetzung ging infolge der zwangsläufig damit verbundenen Verlängerung der Laufzeit mit einer schnellen Verringerung der Verständlichkeit einher.

Wir haben in unserer Klinik die Springer'sche Methode geprüft. Dabei wurden mit den uns von Springer freundlichst zur Verfügung gestellten transponierten Wort- und Sprachtesten sowohl Normalhörige als auch Tieftonhörende untersucht. Es zeigte sich schon bei einer Transposition von nur 2 Terzen mit normalhörigen Versuchspersonen ein Diskriminationsverlust von 20 bis 50 % der Worte des Freiburger Sprachtestes. 50 % beziehen sich auf weibliche und 20 % auf männliche Versuchspersonen.

Durch Abfiltern der Frequenzen unter 200 Hz ließ sich die Verständlichkeit geringfügig erhöhen. Diese Verbesserung erklärt sich offenbar durch den Fortfall der Verdeckungseffekte der tiefsten Tonlagen. Bei reinen Tieftonhörenden zeigte sich beim Vergleich von nicht transponierten Worttesten mit transponierten Worttesten keine signifikant bessere Verständlichkeit.

Auch die Untersuchung von Raymond und Proud [3] mit dem Differenztonverfahren erbrachte im wesentlichen die gleichen Ergebnisse.

Zusammenfassend ergibt sich aus den beschriebenen Untersuchungen, daß eine unmittelbare

Nutzbarmachung der mit den verschiedenen Methoden transponierten Sprache (Laufzeitänderung von Schallplatten, Springer'sche Methode, Differenztonverfahren) nicht möglich ist. Auf Grund unserer Versuche, besonders mit fortlaufenden Texten – also keinen Worttesten – konnten wir an Versuchspersonen, die aus Normalhörigen und Tieftonhörenden bestand, feststellen, daß nach einer gewissen Trainingsdauer ein Lern- bzw. Gewöhnungseffekt zu beobachten war. Es scheint daher die Ausnutzung des verbliebenen Tieftongebietes mehr oder minder von der Lernfähigkeit der Patienten abhängig zu sein. Immerhin ist das jedoch wenigstens eine Möglichkeit, der man weiter nachgehen kann.

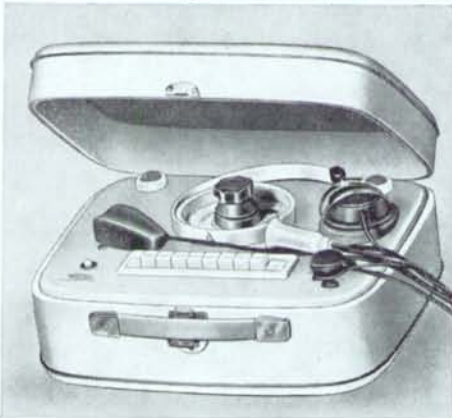
Literaturverzeichnis

- [1] B. Langenbeck, Lehrbuch der praktischen Audiometrie; Thieme-Stuttgart, 1963.
- [2] G. König u. H. Eichler, Arch. Ohr., Nas. u. Kehlk.-Heilk. 165, 326 (1954).
- [3] Th. H. Raymond, and G. O. Proud, Arch. Otolaryng. (Chicago), Vol. 76, 60 (1962).
- [4] A. M. Springer, Z. f. elektron. Rundschau, Jhrg. 12, H. 8 (1958).
- [5] K. Schubert, Sprachhörprüfmethoden. Thieme-Stuttgart, 1958.
- [6] W. Meyer-Eppler, Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie. Springer, Berlin-Heidelberg, 1959.



KLEIN-AUDIOMETER

für das Hörgerätechgeschäft



gestattet eine einwandfreie Diagnose über den Grad der Schwerhörigkeit

Bruno Ollmann ESSEN · WORTHSTRASSE 24
FABRIK FÜR ELEKTRO-AKUSTIK · GEGRÜNDET 1937

Verlangen Sie Unterlagen

Österreichischer Oto-Laryngologen-Kongreß 1964

Die Österreichische Oto-Laryngologische Gesellschaft erlaubt sich, zu ihrem Kongreß in Graz (Steiermark) vom 6. bis 9. September 1964 herzlichst einzuladen.

Thema: „Neue Erkenntnisse im Bereich von Hals, Nase und Ohr.“

Anmeldung von Vorträgen, Demonstrationen und Filmen mit kurzer Inhaltsangabe (3–5 Maschinenschreibzeilen) bis 31. 5. 1964 an den Schriftführer, Dr. Herbert J. Pichler, Wien IX, Alserstraße 4. Ebenso wird gebeten spätestens bis 31. 5. 1964 die Teilnahme an der Tagung bekanntzugeben.

Die Versendung des Tagungsprogrammes mit Zimmerbestellkarten erfolgt zeitgerecht an alle Mitglieder und an alle schriftlich angesagten Teilnehmer.