

Schwerhörigkeit und Sprachkommunikation am Arbeitsplatz

V. Bormann, Ch. A. Sust, R. Heinecke-Schmitt, G. Fuder, H. Lazarus



Fb 1041

Schriftenreihe der
Bundesanstalt für
Arbeitsschutz und
Arbeitsmedizin

baa:

V. Bormann
Ch. A. Sust
R. Heinecke-Schmitt
G. Fuder
H. Lazarus

Schwerhörigkeit und Sprachkommunikation am Arbeitsplatz

Diese Veröffentlichung ist der Abschlussbericht für das Projekt „Einfluss von Gehörschäden auf die ergonomische und akustische Qualität von Arbeitsplätzen - eine Bestandsaufnahme“ - Projekt F 1697 - im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Teil 1
Dr.-Ing. Günther Fuder (Projektleitung)
Dr.-Ing. Volker Bormann
Dipl.-Ing. Regina Heinecke-Schmitt
Institut für Akustik und Sprachkommunikation
Technische Universität Dresden
D-01062 Dresden
Internet: www.ias.et.tu-dresden.de

Teil 2
Dipl.-Psych. Charlotte A. Sust (Projektleitung)
Above GmbH
D-35435 Wettberg
Internet: www.abovegmbh.de
Dr.-Ing. Hans Lazarus
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

Umschlaggestaltung
und Fotografie: Angelika Rößler,
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Verlag/Druck: Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Bürgermeister-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 - 77
E-Mail: info@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund
Telefon: (02 31) 90 71 - 0
Telefax: (02 31) 90 71 - 24 54
E-Mail: poststelle@baua.bund.de
Internet: www.baua.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40-42, D-10317 Berlin
Telefon: (0 30) 5 15 48 - 0
Telefax: (0 30) 5 15 48 - 41 70

Dresden:
Proschhübelstr. 8, D-01099 Dresden
Telefon: (03 51) 56 39 - 50
Telefax: (03 51) 56 39 - 52 10

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

ISSN 1433-2086
ISBN 3-86509-293-4

Vorwort

Die ergonomische Qualität von Arbeitsplätzen ist ganz wesentlich durch die akustische Kommunikation gegeben, d.h. durch Verständigung mit Hilfe von Sprache – der Sprachkommunikation –, durch Wahrnehmung von Gefahrensignalen und die allgemeine Umweltorientierung. Aufgrund geänderter Organisationsstrukturen im Betrieb erhöht sich der kommunikative Anteil im industriellen Produktionsbereich: Vielfältige Planungsprozesse über Arbeitseinteilung und Arbeitszeit, personelle und Materialressourcen, Einhaltung bestimmter Qualitätsniveaus sowie individuelle Qualifizierungsnotwendigkeiten erfordern ein hohes Maß an verbalen Abstimmungsprozessen. Diese Kommunikationssituationen sind häufig direkt in den Arbeitsablauf integriert. Sprachkommunikation wird somit nicht nur wie bisher schon in den „ruhigeren“ Dienstleistungsbereichen die Arbeit teilweise prägen, sondern sie wird auch in den „lauteren“ Produktionsbereichen immer häufiger notwendig sein.

Weiterhin muss bedacht werden, dass, berücksichtigt man den prognostizierten demographischen Wandel, ein wachsender Anteil älterer Personen und aufgrund des zunehmend höheren Anteils vorgeschädigter Personen (beispielsweise durch häufigen Besuch von Diskotheken, Nutzung von Kopfhörern) am Arbeitsprozess teilnehmen werden. Das heißt, man ist zunehmend mit Personen konfrontiert, die einen Gehörschaden aufweisen. Ist in der Regel der Grad dieser Schwerhörigkeit nur leicht, gering bis mittelschwer, so sind doch die Folgen beträchtlich: die Sprachkommunikation und die akustische Wahrnehmung sowie die psychosoziale Interaktion ist beträchtlich eingeschränkt. Die Kenntnis der vielfältigen Folgen der Schwerhörigkeit sollte erlauben, mit diesen Problemen in geeigneter Weise umzugehen. Wenn dieser Personenkreis am sozialen Leben und an der Arbeit gleichberechtigt teilnehmen soll, was auch ein verfassungsrechtlicher Anspruch ist, müssen Räume und Arbeitsplätze entsprechend gestaltet sein. Beiden Teile des Berichtes geben dazu Vorschläge.

Dieses Projekt, das eine Bestandsaufnahme über die Folgen der Schwerhörigkeit analysieren, bewerten und darstellen sollte, wurde in zwei Themenbereiche aufgeteilt und entsprechend von zwei Instituten bearbeitet. Der erste Teil behandelt die Modelle zur Vorhersage der Sprachverständigung unter besonderer Berücksichtigung der Schwerhörigkeit. Der zweite Teil behandelt die Auswirkungen von Gehörschäden auf die psychosoziale Interaktion und die Sprachverständigung unter Störbedingungen, d.h. insbesondere bei Geräuschen und beim Tragen von Gehörschutz.

Die Autoren

Gesamt-Inhaltsverzeichnis

Teil 1

Modelle zur Vorhersage der Sprachverständigung	5
Inhaltsverzeichnis	6
Kurzreferat	8
Abstract	9
Résumé	10
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen	11
1 Einleitung und Zielstellung	13
2 Hörbeeinträchtigung und Sprachwahrnehmung	15
3 Kommunikation an ausgewählten Arbeitsplätzen	24
4 Verfahren zur Vorhersage der zu erwartenden Sprachverständlichkeit	35
5 Bewertung der Modelle zur Sprachverständlichkeitsvoraussage und Auswahl von Vorzugsmodellen	85
6 Beispielrechnungen zu ausgewählten Vorhersageverfahren	104
7 Zusammenfassung und Ausblick	116
8 Verzeichnisse	119

Teil 2

Folgen von Schwerhörigkeit und Gehörschutz auf soziale und sprachliche Interaktion	131
Inhaltsverzeichnis	133
Kurzreferat	135
Abstract	136
Résumé	137
1 Zur Einführung in die Thematik	139
2 Ursachen, Ermittlungsverfahren und Verbreitung der Schwerhörigkeit	142
3 Konsequenzen der Schwerhörigkeit: Auswirkungen auf die soziale Interaktion	166
4 Die Sprachverständlichkeit Schwerhöriger unter realen (Stör-)Bedingungen	183
5 Auswirkungen von Gehörschutz und Schwerhörigkeit auf die akustische Verständigung im Betrieb	247
6 Zusammenfassung	279
7 Verzeichnisse	281

V. Bormann
R. Heinecke-Schmitt
G. Fuder

Teil 1
Modelle zur Vorhersage der Sprachverständigung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat, Abstract, Résumé	8
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen	11
1 Einleitung und Zielstellung	13
2 Hörbeeinträchtigungen und Sprachwahrnehmung	15
2.1 Charakteristische Formen der Hörbeeinträchtigungen und deren qualitative und quantitative Besonderheiten	17
2.1.1 Altersschwerhörigkeit	18
2.1.2 Lärmschwerhörigkeit	18
2.2 Prognose lärmbedingter Gehörschäden	20
2.3 Veränderungen psychoakustischer Parameter durch Schwerhörigkeit	21
3 Kommunikation an ausgewählten Arbeitsplätzen	24
3.1 Typische, informationsrelevante akustische Reize am Arbeitsplatz	24
3.2 Übertragungswege bei der sprachlichen Kommunikation am Arbeitsplatz	27
3.3 Typische Störgeräuschsituationen in Arbeitsstätten	28
3.4 Sonstige Störeinflüsse auf die Sprachverständlichkeit	30
3.4.1 Nachhall	30
3.4.2 Verzerrungen des Sprachsignals bei höheren Signalpegeln	32
3.5 Einfluss von Gehörschutz	33
4 Verfahren zur Vorhersage der zu erwartenden Sprachverständlichkeit	35
4.1 Der Artikulationsindex AI mit seinen Modifizierungen	36
4.1.1 Modifizierung des AI nach Kryter	38
4.1.2 Modifizierung des AI nach Fletcher & Galt	39
4.1.3 Modifizierung des AI für Hörgeschädigte nach Pavlovic, Studebaker und Sherbecoe – Anpassung des Artikulationsindex zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit bei Gehörschäden	41
4.1.4 Von Pavlovic zusammengestellte Berechnungsgrundlagen für den Artikulationsindex	45
4.1.5 Modifizierung des AI nach Ludvigsen	48
4.1.6 Modifizierung des AI nach Lazarus und ISO/CD 9921-2:1997	56

4.2	Die Beschreibung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch durch ein SRT-Modell (Speech Reception Threshold) nach PLOMP	61
4.3	Der Sprachübertragungsindex STI	72
4.4	Der Modulations-Transfer-Index MTI	75
4.5	Der Sprach-Interferenz-Pegel SIL nach DIN EN ISO 9921 (2002) und der Signal-Rausch-Abstand SNR (Signal to Noise Ratio)	76
4.6	Der Sprachverständlichkeitsindex SII	78
4.7	Das Perzeptionsmodell nach Holube, Kollmeier, Püschel und Wesselkamp	83
5	Bewertung der Modelle zur Sprachverständlichkeitsvoraussage und Auswahl von Vorzugsmodellen	85
5.1	Allgemeine Charakterisierung von Modellen zur Vorhersage bzw. Abschätzung der zu erwartenden Sprachverständlichkeit unter verschiedenen Randbedingungen	93
5.2	Subjektive Einflüsse auf die Sprachverständlichkeit	98
5.3	Frequenzeinflüsse auf die Sprachverständlichkeit bei unterschiedlichem Testmaterial	101
5.4	Vorzugsmodelle	102
6	Beispielrechnungen zu ausgewählten Vorhersageverfahren	104
6.1	Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII)	105
6.2	Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI)	109
6.3	Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic	112
6.4	Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse	116
7	Zusammenfassung und Ausblick	116
8	Verzeichnisse	119
8.1	Literaturverzeichnis	119
8.2	Abbildungsverzeichnis	128
8.3	Tabellenverzeichnis	129

Modelle zur Vorhersage der Sprachverständigung

Kurzreferat

Die Verständlichkeit von Sprache ist in der Arbeitsumgebung ein wesentlicher ergonomischer Faktor. Insbesondere unter Bedingungen von Hintergrundgeräuschen unterschiedlicher Struktur (Pegel, Zeit- und Frequenzstruktur), Nachhall und bestehenden Hörbeeinträchtigungen kann die Sprachverständlichkeit erheblich vermindert sein. Neben damit verbundenem psycho-physischem Unbehagen und eingeschränkter Arbeitsleistung besteht gleichfalls ein erhöhtes Unfallrisiko aufgrund nicht oder falsch verstandener Warnsignale. Zur Vorhersage bzw. Abschätzung einer zu erwartenden Sprachverständlichkeit unter den genannten Bedingungen unterschiedlicher Qualität oder Quantität zeigt die Literatur des zurückliegenden $\frac{3}{4}$ Jahrhunderts eine Vielzahl von Berechnungsmodellen und ihrer Modifikationen.

Eine Zusammenfassung der gebräuchlichsten Modelle zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit und eine Bewertung hinsichtlich ihrer Eignung bei unterschiedlichen Arten von Hörbeeinträchtigungen und akustischen Umgebungseinflüssen war das Ziel der vorliegenden Studie. Beispiele zur Berechnung ausgewählter Modelle unter angenommenen Bedingungen von Hörbeeinträchtigungen, spektralen Hintergrundgeräuschpegeln und weiteren akustischen Bedingungen unterstützen die Verifizierung der analysierten Modelle.

Schlagwörter:

Sprachverständlichkeit, Arbeitsumgebung, Ergonomie, Hörbeeinträchtigungen, Modelle zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit, Artikulationsindex, Sprachverständlichkeitsindex

Models for predicting of speech intelligibility

Abstract

The intelligibility of speech is an important ergonomic factor in working environment. Especially under conditions of background noise and reverberation of different structures (level, time- and frequency structures), reverberation and hearing impairments speech intelligibility can be vastly diminished. Beside psychic physical discomfort and limited working efficiency as an effect of lower speech intelligibility there is also a higher risk of accidents at work as a result of danger signs not or not correct understood. For predicting of speech intelligibility to foresee under several conditions the literature of the past $\frac{3}{4}$ century shows a lot of models and modifications.

Aim of the available study was a summary of most common models for predicting speech intelligibility and an evaluation in regard to their applicability in case of different kinds of hearing impairments and acoustical conditions of the environment. Examples of calculations for selected models under assumed conditions of hearing impairments and levels of background noise shall help to verify the analysed models.

Key words:

Speech intelligibility, working environment, ergonomics, hearing impairments, models for predicting of speech intelligibility, articulation index, speech intelligibility index

Les modèles de calcul pour la prévision de la compréhension linguistique

Résumé

La compréhension de la langue dans l'environnement du travail est un facteur ergonomique essentiel. La compréhension linguistique pourrait être très diminuée sous des conditions des bruits d'arrière-plan de structure différente (niveau, structure de fréquence et de temps) et des dommages d'ouïe existantes. À côté d'un malaise psychophysique lié à cela, il y a aussi un risque d'accident accru sur la base des signaux d'alarme ne compris ou faux compris. La littérature montre une multiplicité de modèles de calcul et ses modifications pour la prévision et/ou l'estimation de la compréhension linguistique sous les conditions citées d'une qualité ou d'une quantité différente.

Un résumé des modèles les plus communs à la prévision de la compréhension linguistique et une évaluation d'aptitude avec des sortes différentes des dommages d'ouïe et d'influences d'environnement acoustiques étaient l'objectif de la présente étude.

Mots clés:

La compréhension de la langue, l'environnement du travail, l'ergonomie, dommages d'ouïe, les modèles de calcul pour la prévision de la compréhension linguistique

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen

AI	Artikulationsindex
ANSI	American National Standards Institute, Inc.
c	Schallgeschwindigkeit
c_0	Schallgeschwindigkeit in Luft
C	Spektrums-Anpassungswert
C_{tr}	Spektrums-Anpassungswert für Verkehrslärm
C^5 -Senke	gravierender Hörverlust im Frequenzbereich um die 5 kHz; anstelle der hochgestellten 5 können andere Ziffern den jeweiligen Frequenzbereich kennzeichnen
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EN	Europäische Norm
f	Frequenz
f_m	Mittenfrequenz eines bezeichneten Frequenzbandes
f_{mTerz}	Terzband-Mittenfrequenz
f_{mOct}	Oktavband-Mittenfrequenz
$f(\dots)$	Funktion in Abhängigkeit einer in der Klammer zu benennenden Variablen
HL	Hörverlust (Hearing Loss)
I_i bzw. $I(f)$	Beitrag des Frequenzbandes i bzw. des Spektralanteils f zur Sprachverständlichkeit
ISO	International Organization for Standardization
L_{eq}	äquivalenter Dauerschallpegel
$L_{eq(A)}$	A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel
L_N	Schalldruckpegel des Störgeräusches in dB(A)
$L_{N,A,S}$	A-bewerteter Schalldruckpegel des Störgeräusches an der Stelle des Sprechers
L_{NOct}	Oktav-Schalldruckpegel des Störgeräusches
$L_{S,A,L}$	A-bewerteter Sprechpegel an der Position des Hörers
$L_{S,A,1m}$	A-bewerteter Sprechpegel in 1 m Abstand vom Sprecher
L_{SN}	Signal-Rausch-Abstand (Pegeldifferenz Signal-to-Noise); vgl. auch SNR
L_{SNA}	A-bewerteter Signal-Rausch-Abstand (Pegeldifferenz Signal-to-Noise, A-bewertet)
L_0	Schwelle der Sprachwahrnehmung in Ruhe in dB(A)
MAI	Modifizierter Artikulationsindex
MTF	Modulations-Übertragungsfunktion (Modulation Transfer Function)
MTI	Modulations-Übertragungsindex (Modulation Transfer Index)

MW	Mittelwert
mSTI	modifizierter Sprachübertragungsindex (modified Speech Transmission Index)
n	Anzahl, Stichprobenumfang
P	Faktor zur Berücksichtigung der Fertigkeiten von Sprechern und Hörern beim Umgang mit dem Sprachmaterial
PTS	dauerhafte Hörschwellenverschiebung (Permanent Threshold Shift)
R'	terzbandbreites Bau-Schalldämm-Maß
R' _w	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß
RMS	quadratischer Mittelwert (root mean square)
S	Steigung
s	Standardabweichung
s	prozentualer Wert der Sprachverständlichkeit
SHL	Hörverlust für Sprache (Hearing loss for speech)
SII	Sprachverständlichkeitsindex (Speech Intelligibility Index)
SIL	Sprach-Interferenz-Pegel (Speech Interference Level)
SNR	Signal-Rausch-Abstand (auch Signal-Geräusch-Abstand), wobei unter Rauschen oder Geräusch das Stör- bzw. das Umgebungsgeschall zu verstehen ist (Signal-to-Noise-Ratio); vgl. auch L _{SN}
SRT	Sprachwahrnehmungsschwelle (Speech Reception Threshold)
STI	Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index)
T	Nachhallzeit in Sekunden
T	Transformationsbeziehung zwischen dem Artikulationsindex AI und dem Sprachverständlichkeitswert s
TTS	zeitweilige Hörschwellenverschiebung (Temporary Threshold Shift)
V _{pn}	Versuchspersonen
w _i bzw. w(f)	Informationsübertragungsfaktor im Frequenzband i bzw. im betrachteten Spektralanteil f

1 Einleitung und Zielstellung

Objektive Voraussetzungen sowie subjektive Gegebenheiten und Fähigkeiten zum korrekten Verstehen von Sprachsignalen bilden eine wichtige Komponente der Lebensqualität. An Arbeitsplätzen stellt die Sprachverständlichkeit einen bedeutenden ergonomischen Faktor dar. Die Sprache dient hier dem tätigkeitsbedingten Informationsaustausch, der sozialen Kommunikation aber auch dem Erkennen von Kommandos, Warnmeldungen und Hilferufen. Eine beeinträchtigte Sprachverständlichkeit kann somit an Arbeitsplätzen sehr leicht zu verminderter Arbeitsleistung, erhöhter Fehlerrate, gestörtem psychophysischem Befinden bis hin zu gefahrenrelevanten Situationen führen.

Werden hier zwar im Sinne der Themenstellung vordergründig gewerbliche Arbeitsplätze betrachtet, so sind jene von Lehrern und Schülern, also Unterrichts- bzw. Ausbildungsstätten, aber als Folge der sich zunehmend ausbreitenden Telearbeit, in der Regel von der eigenen Wohnung aus, auch Wohnbereiche nicht ausgeschlossen. Letztere spielen dabei insofern eine besondere Rolle, da hier die Arbeitsschutzgesetzgebung nicht in dem Maße Berücksichtigung findet, wie dies in betrieblichen Arbeitsstätten der Fall ist, zumindest aber nicht der dort üblichen Kontrolle unterliegt.

Die Mechanismen und Gesetzmäßigkeiten der Sprachverständlichkeit, insbesondere bei direkter Kommunikation, unterscheiden sich in den täglichen Lebenssituationen, wenn überhaupt, nur unwesentlich. Daher lassen sich Schlussfolgerungen aus dieser Arbeit durchaus auch auf den individuellen Wohn- und Freizeitbereich verallgemeinern, der hier aus diesem Grunde, wenngleich am Rande der Aufgabenstellung, nicht ausgeschlossen werden soll. Jedoch werden die Art und Struktur von Störgeräuschen in verschiedenen Tätigkeits- und sonstigen persönlichen Umgebungen typische Merkmale aufweisen.

Zunehmendes Interesse finden Forschungsarbeiten zum Einfluss von Gehörschäden auf die Sprachverständlichkeit. Dies ist nicht zuletzt der wachsenden Anzahl von Personen mit Hörbeeinträchtigungen, worunter Kinder und Jugendliche einen nicht unbeträchtlichen und steigenden Anteil einnehmen, geschuldet. Nach Angaben des Deutschen Schwerhörigen Bundes gibt es in Deutschland 14 Millionen Menschen mit

Hörbehinderungen (HARTEN (2000)). Davon sind etwa 80.000 bis 100.000 Bundesbürger gehörlos (KRISTIAN, 1999). Eine Statistik des Deutschen Zentralregisters für kindliche Hörstörungen (2001) gibt an, dass ca. $\frac{1}{2}$ Million Kinder und Jugendliche von Hörbeeinträchtigungen unterschiedlichen Grades betroffen sind, davon 80.000 in solchem Ausmaß, dass sie Sonderschulen besuchen müssen (SCHICK, 2001).

Anliegen des hier vorgestellten Forschungsvorhabens ist es, eine möglichst umfangreiche Anzahl bestehender Modelle und ihrer Modifizierungen zur Vorhersage der zu erwartenden Sprachverständlichkeit bezüglich ihrer Anwendbarkeit auf Personen mit Hörbeeinträchtigungen unterschiedlichen Grades und akustischen Randbedingungen wie Störschall und Nachhall zu analysieren.

Wird hier berücksichtigt, dass die ersten grundlegenden Ideen der Sprachverständlichkeitsvoraussage, in diesem Falle zur Bewertung der Übertragungsqualität in der Telephonie, auf die zwanziger und dreißiger Jahre des vergangenen Jahrhunderts zurückgehen, diese in den zurückliegenden fünfzig Jahren auf eine Vielzahl unterschiedlichster interessierender Hörbedingungen und Hörbeeinträchtigungen ausgeweitet und adaptiert sowie in einer unüberschaubaren Anzahl von Publikationen vorgestellt, diskutiert und modifiziert wurden, soll und kann in der vorliegenden Arbeit kein Anspruch auf eine auch nur annähernd vollständige Betrachtung und Diskussion entwickelter Verfahren erhoben werden.

Gemäß der Aufgabenstellung verfolgte das Vorhaben nachstehende Ziele und Vorgehensweisen:

- Zusammenstellung gebräuchlicher Modelle zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit im Sinne einer Bestandsaufnahme;
- Interpretation der Eignung von Modellen zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit und der Veränderung psychoakustischer Parameter durch Schwerhörigkeit für die an Arbeitsplätzen (und sonstigen Aufenthaltsorten von Personengruppen) typischen Bedingungen des Auftretens von Nachhall und Störgeräuschen unterschiedlicher Herkunft und Intensität;
- Interpretation der Eignung von Modellen zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit für Personengruppen mit vermindertem Hörvermögen;

- Auswahl von Vorzugsalgorithmen aus den erfassten Vorhersagemodellen der Sprachverständlichkeit bezüglich ihrer Eignung im Sinne der Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens.
- Beschreibung von Modellen zum Zusammenhang zwischen Grad und Dauer von Lärmexpositionen und daraus zu prognostizierenden Hörverlusten bzw. Arten von Hörbeeinträchtigungen. Aus den Arten von Hörbeeinträchtigungen sind besonders typische auszuwählen und an diesen beispielhaft die Aussagefähigkeit der Vorzugsmodelle zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit unter den Bedingungen Nachhall und Störgeräusch rechnerisch zu überprüfen.

Das Vorgehen bei den Zusammenstellungen beruhte vordergründig auf umfangreichen Literaturrecherchen und dem Vergleich sowie der Interpretation der Aussagen verschiedener Autoren in Abhängigkeit des Zeitpunktes ihrer Veröffentlichung. Die im Rahmen der Themenbearbeitung zusammengestellte Liste relevanter Quellenangaben enthält weit mehr als 500 Einträge und ist der Arbeit als Anlage beigelegt. Davon wurden über 300 Literaturstellen einschließlich Standards im Original oder als Kopie zusammengetragen und gesichtet. Ca. 65% hiervon sind in diese Arbeit eingeflossen.

Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

2 Hörbeeinträchtigungen und Sprachwahrnehmung

„Bereits 1985 waren ca. 9 Millionen Bundesbürger im Alter zwischen 15 und 75 Jahren von einer nicht heilbaren Beeinträchtigung des Hörvermögens betroffen“ (ADI private Informatik-Akademie gGmbH, 2001). Damit einher geht eine deutliche Mindering des Sprachverständnisses, was zu erschwerter Kommunikation, Vereinsamung und ansteigender Unfallgefahr führen kann.

Liegt eine Verschiebung der Hörschwelle gegenüber der Normalhörschwelle vor, so spricht man von einer Hörbeeinträchtigung oder einem Gehörschaden. Wird ein bestimmtes Maß an Hörbeeinträchtigung überschritten, spricht man von Schwerhörigkeit (s. Abbildung 2.1).

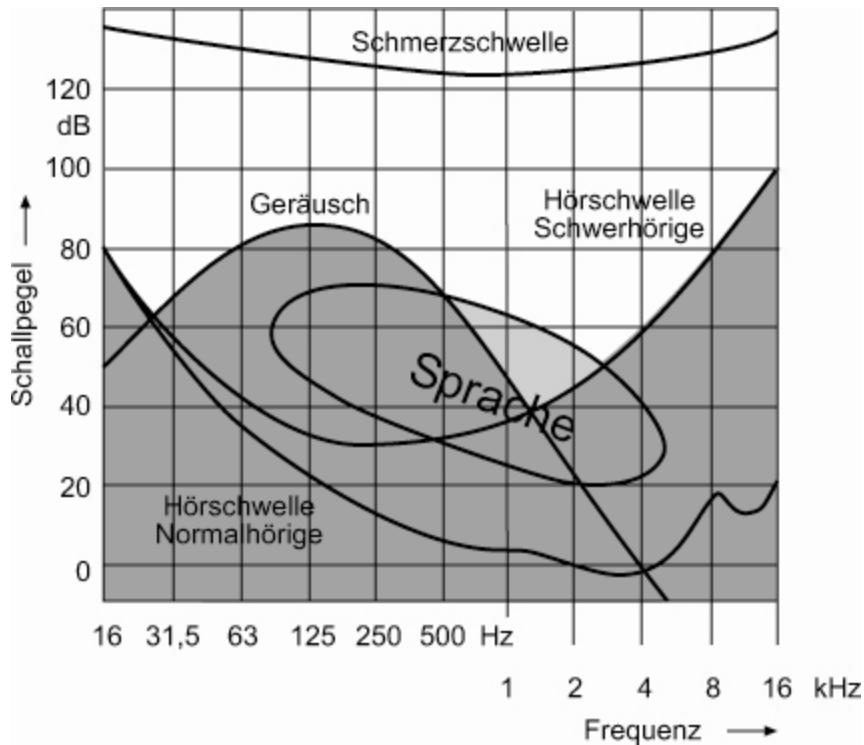


Abb. 2.1: Bereiche des Hörens und der Schwerhörigkeit nach: Gesundheitsschutz 4 – Lärmwirkungen: Gehör, Gesundheit, Leistung, BAuA (2002)

Gehörschäden können in zwei hauptsächliche Typen unterteilt werden. Im ersten Fall tritt eine dauerhafte Verschiebung der Hörschwelle in Abhängigkeit von der Frequenz auf. In diesem Fall kann die Anhebung der Hörschwelle als eine einfache frequenzabhängige Dämpfung des Schallsignals betrachtet werden.

Im zweiten Fall treten überschwellige Funktionsstörungen auf, bei denen, zusätzlich zu einer veränderten Hörschwelle, Veränderungen innerhalb der verbliebenen Hörfläche auftreten.

Ein Beispiel hierfür ist das Recruitment Phänomen. Es ist gekennzeichnet durch einen stark verminderten Dynamikbereich, aufgrund dessen die betroffene Person leise Passagen kaum oder überhaupt nicht wahrnehmen kann. Jedoch hört sie laute Passagen ähnlich laut wie ein Normalhörender, was die gehörgeschädigte Person als

sehr störend empfinden kann (vgl. Abb. 2.2). In einigen Fällen ist darüber hinaus eine Herabsetzung der Schmerzschwelle zu beobachten.

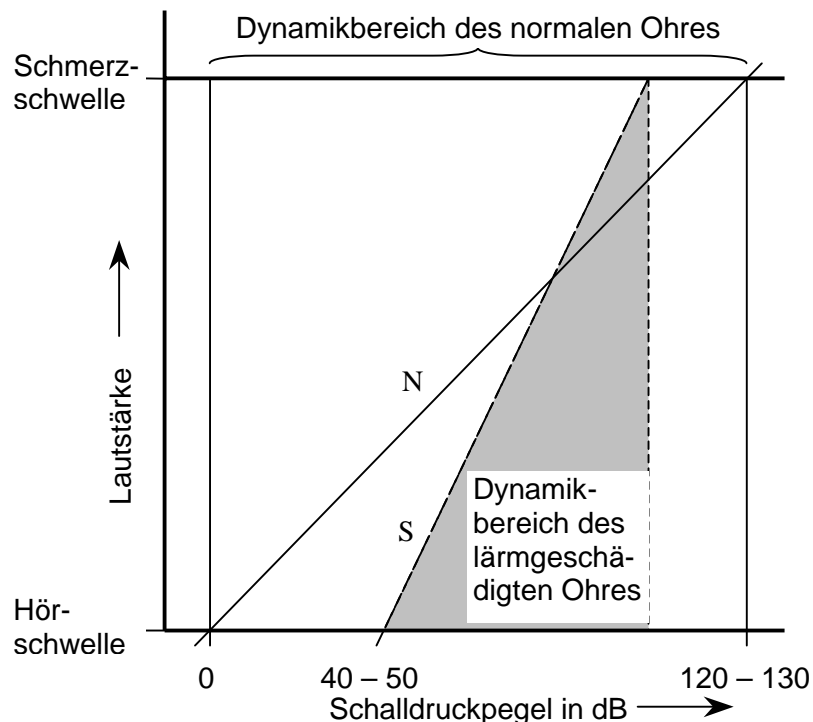


Abb. 2.2: Wahrgenommene Lautstärke in Abhängigkeit vom Pegel bei Normal- und Schwerhörigen. Schematische Darstellung zur Erklärung der Recruitment-Phänomene nach: [Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 97: Lärmbeurteilung - Gehörschäden, BAuA (1996)]

2.1 Charakteristische Formen der Hörbeeinträchtigungen und deren qualitative und quantitative Besonderheiten

Eine verminderte Hörfähigkeit kann i.a. auf einen Innenohrschaden, einen Schallleitungsschaden oder eine Kombination beider Ursachen zurückgeführt werden. Schallleitungsschäden entstehen oft in Folge von Mittelohrentzündungen und werden u.a. durch eine Narbenbildung im Mittelohrbereich hervorgerufen. Diese Art Schwerhörigkeit ist hauptsächlich im Kindes- und Jugendalter anzutreffen.

Der Einfluss der ständigen Schallreize führt darüber hinaus im Verlaufe des weiteren Lebens häufig zu einer Innenohrschädigung. Neben einer möglichen toxischen oder

erblich bedingten Innenohrschädigung sind dabei vor allem die Alters- und **Lärmschwerhörigkeit** von Bedeutung. Alle Arten der Hörbeeinträchtigung wirken sich auf das Erleben von Natur und Gesellschaft aus; die entscheidendste Folge ist jedoch die Verringerung der Sprachverständlichkeit und damit der Kommunikationsfähigkeit.

2.1.1 Altersschwerhörigkeit

Die altersbegleitende Gehörschädigung beginnt bei einer meist unbemerkten Hörschwellenverschiebung im hochfrequenten Bereich und setzt schon ab dem 30. Lebensjahr ein. Bei über 60-Jährigen wird die verminderte Hörfähigkeit deutlich spürbar und führt zu Problemen bei der Sprachverständlichkeit und bei der Wahrnehmung von Signalen mit hoher Frequenz (Klingel, etc.).

Für die Schwerhörigkeit im Alter sind strukturelle Alterungsvorgänge verantwortlich. Sie betreffen alle Abschnitte der Hörbahn von der Haarzelle im Cortischen Organ bis zu den sekundären Wahrnehmungszentren der dominanten Hirnrindenseite (DIEROFF, 1994). Das äußert sich vorwiegend als Schallempfindungsschwerhörigkeit und tritt insbesondere im hohen Frequenzbereich und beidohrig auf.

2.1.2 Lärmschwerhörigkeit

Lärmschwerhörigkeit ist in Deutschland die zweithäufigste anerkannte Berufskrankheit (BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES, 1998). Nach einem Bericht der BUNDESREGIERUNG (2002) hatte die Lärmschwerhörigkeit unter den Anzeigen auf Verdacht einer Berufskrankheit im Jahr 2000 mit steigender Tendenz von +2,2% den drittgrößten Anteil. Jedoch war sie im gleichen Jahr die Berufskrankheit mit den mit Abstand meisten neu anerkannten (6.872) Fällen und ebenso mit den meisten Fällen neuer Rentenzahlungen, wenngleich prozentual rückläufig.

Die Lärmschwerhörigkeit hat ihre Ursache in einer mit der Expositionszeit zunehmenden morphologischen Zerstörung im Cortischen Organ. Bei der Ausbildung eines Lärmherschadens spielen der Schalldruckpegel, der Pegelanstieg, die Expositionszeit und die individuelle Empfindlichkeit des Innenohres eine Rolle.

Nach VDI 2058-2 besteht die Gefahr des Entstehens von Gehörschäden bei Lärmeinwirkungen mit Beurteilungspegeln ab 85 dB. Darunter werden lärmbedingte Gehörschäden als nicht wahrscheinlich angesehen. Ein Gehörschaden im Sinne der Richtlinie liegt vor, wenn die Hörminderung mit audiometrisch nachweisbaren Merkmalen eines Haarzellschadens bei 3 kHz 40 dB überschreitet.

Man geht davon aus, dass bei Beurteilungspegeln zwischen 85 und 89 dB Gehörschäden nur bei langanhaltender Lärmbelastung auftreten können. Ab einem Beurteilungspegel von 90 dB nimmt die Schädigungsgefahr deutlich zu. Bei Schalldruckpegeln oberhalb $L_{AI} = 120$ dB können akute Gehörschäden schon nach Geräuscheinwirkungen im Minutenbereich auftreten. Bei extrem hohen Schalldruckpegeln über $L_{AI} = 135$ dB (Explosionen, Knalle) können schon Einzelschallereignisse einen Gehörschaden hervorrufen.

Die bei langfristiger Lärmeinwirkung eintretende Lärmschwerhörigkeit beginnt in vielen Fällen mit einer c^5 - Senke. Die Zerstörung beginnt bei den äußeren Haarzellen, die für die aktive Schallvorverarbeitung bei niedrigen und mittleren Schalldruckpegeln zuständig sind. Im weiteren Verlauf werden dann auch die inneren Haarzellen geschädigt.

Bei Lärmexpositionen bildet sich zunächst eine zeitweilige Hörschwellenverschiebung (temporary threshold shift, TTS) heraus, die sich in lärmfreien Zeiten wieder abbaut. Das Gehör erlangt seine vorherige Empfindlichkeit zurück. Die Rückbildung der Hörminderung ist um so größer, je geringer die Geräuschexposition während der Erholungszeit ist und je länger diese Erholungszeit andauert. Der Erholungsverlauf nach einer Lärmeinwirkung ist jedoch auch stark von der Art und Dauer der Lärmexposition abhängig. Wird in der Erholungsphase keine vollständige Restitution erreicht, ist eine permanente Hörschwellenverschiebung (permanent threshold shift, PTS) zu verzeichnen. Sie ist als Abweichung der individuellen Hörschwelle von der standardisierten Normalhörschwelle definiert.

Sowohl die zeitweise als auch die permanente Hörschwellenverschiebung sind vor allem auf die direkte mechanische Schädigung der Sinneszellen zurückzuführen.

2.2 Prognose lärmbedingter Gehörschäden

Die Gesamtbelastung des Gehörs lässt sich nicht mehr nur mit Expositionsansätzen, die bestimmten beruflichen Tätigkeiten zugeordnet werden, erfassen. Solche, in der Vergangenheit verwendeten Expositionsansätze werden den heutigen Gegebenheiten nicht mehr gerecht. Sowohl technologische Veränderungen und häufigerer Wechsel der Arbeitstätigkeit als auch die Anwendung individueller Gehörschutzmittel und Zunahme außerberuflicher Lärmexposition haben zu wesentlichen Änderungen der Belastungsverhältnisse geführt und erschweren die Überschaubarkeit.

Außerberufliche Lärmeinwirkungen spielen eine zunehmende Rolle. Schon bei Kindern sind gehörgefährdende Lärmbelastungen und entsprechende Innenohrschäden zu verzeichnen. Nach einer Studie von BORCHGREVINK (1988) stieg die Häufigkeit des Anteils junger Männer mit deutlichen c^5 -Senken innerhalb von sieben Jahren auf etwa das Doppelte. Diese Hörschadenzunahme spiegelt im Wesentlichen den Trend der Soziakusis unter Jugendlichen wider, da im selben Zeitraum der Anteil an Jugendlichen, der bis zum 18. Lebensjahr die Schule besuchte, deutlich zugenommen hatte und die Arbeitslärmbelastung durch verschärfte Gesetzgebung abnahm. Häufigste Ursachen der Soziakusis sind in Deutschland unangemessene Hörgewohnheiten, insbesondere beim Musikkonsum, und des weiteren Pyropistolen und Feuerwerkskörper. An dritter Stelle stehen laute Hobbys und Heimwerkzeuge (ISING et al., 1988). Auch FELCHLIN und HOHMANN (1997) sehen das Musikhören als eine mögliche Ursache der immer wieder festgestellten Gehörschäden bei Jugendlichen. Studien zu Hörgewohnheiten, die sie in der Schweiz durchführten, ergaben u.a., dass mehr als 8 % der untersuchten Jugendlichen beim Hören von Musik mit Walkman-Geräten einen Musikschallpegel bevorzugen, der über 95 dB(A) liegt und bis hin zu 105 dB(A) reicht. Wird ein gleichbleibender Musikkonsum vorausgesetzt, muss nach ISO 1999 (1990) bei 2,5 % der Gesamtgruppe mit einem Hörverlust von wenigstens 11 dB bei 4 kHz gerechnet werden (vgl. auch BORMANN, FUDER und HEINECKE-SCHMITT, 2002).

Soll die gehörschädigende Wirkung aller im Laufe des Lebens einwirkenden Lärmexpositionen erfasst werden, so sind demnach folgende Komponenten zu berücksichtigen (FUDER, 1994):

- Berufsbedingte Lärmexposition
- Freizeitlärm und
- Altersbedingte Hörschwellenverschiebung.

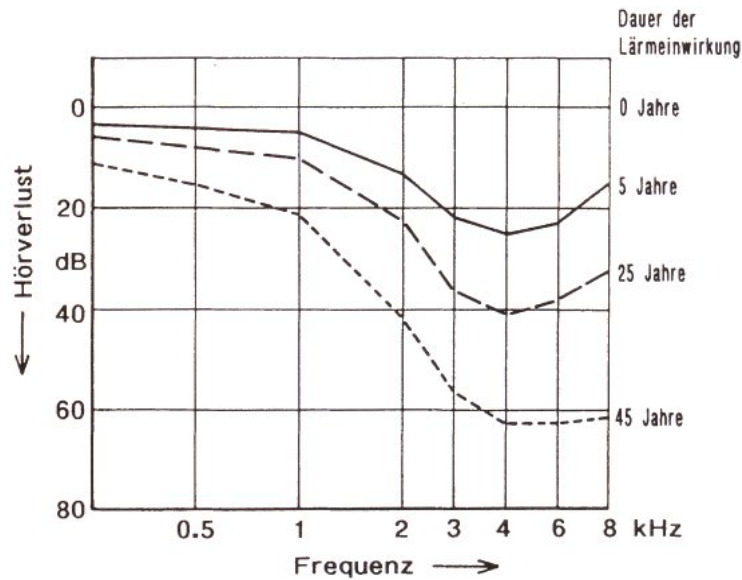


Abb. 2.3: Hörverluste aufgrund breitbandigem Dauerlärm in Abhängigkeit vom Einwirkungszeitraum nach: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 97: Lärmbeurteilung - Gehörschäden, BAuA (1996)

Langjährige intensive Schallexpositionen dürfen in ihrer gehörschädigenden Wirkung nicht für sich betrachtet werden, sondern müssen im Zusammenhang mit allen anderen Expositionen gesehen werden.

2.3 Veränderungen psychoakustischer Parameter durch Schwerhörigkeit

Sensorineurale Hörverluste beeinflussen die Schallwahrnehmung in vielfältiger Weise. Insbesondere wirken sie sich in großem Maße auf die Sprachverständlichkeit in geräuschbehafteten Situationen aus. HORST (1987) untersuchte die Zusammenhänge zwischen Sprachverständlichkeit und verschiedenen psychoakustischen Parametern wie Frequenzauflösung, Frequenzdiskrimination und Verständlichkeit im Störgeräusch. Eine übliche Darstellungsweise ist demnach die Betrachtung des Ohres als Frequenzanalysator. Das Ohr arbeitet ähnlich einer Filterbank aus Bandpäs-

sen, wobei jedes Filter durch seine Mittenfrequenz und Frequenzselektivität beschrieben wird. Die Frequenzselektivität entspricht dabei der Ordnung des Filters, d.h. dem Anstieg bzw. Abfall der Übertragungsfunktion an Bandgrenzen.

Bei unterschiedlichen psychoakustischen Aufgabenstellungen lässt sich die Leistungsfähigkeit einer Testperson durch ein einfaches Anregungsmuster-Modell beschreiben. Damit wird sowohl die Frequenzselektivität als auch die Bandbreite des Signals erfasst. Bei sensorineuralen Hörverlusten weisen die auditorischen Filter oft eine reduzierte Selektivität auf, siehe TYLER et al. (1983). Bei einem vorgegebenen Signalspektrum kann eine herabgesetzte Frequenzselektivität zu einem - im Vergleich zum Normalhörenden verbreiterten - Anregungsmuster führen. In den Untersuchungen von HORST (1987) zeigte sich, dass

- bei Hörgeschädigten die Fähigkeit zur Frequenzunterscheidung bei komplexen Signalen geringer als bei Normalhörenden ist,
- die Frequenzunterscheidung bei niedrigen Signal-Rausch-Abständen bei Hörgeschädigten geringer als bei Normalhörenden ist (mit abnehmender Frequenzselektivität verschlechtert sich die Frequenzunterscheidung bei Signalen mit stark schwankenden Hüllkurven wesentlich mehr als bei Signalen mit weniger schwankender Hüllkurve),
- der Sprach-Hörverlust im Störgeräusch mit sinkender Frequenzselektivität ansteigt.

Dabei ist auffällig, dass die Sprachverständlichkeit in einer Situation mit zusätzlichen Störgeräuschen nicht proportional zur Sprachverständlichkeit ohne Störgeräusche ist. Als Maß wird hier die Sprachwahrnehmungsschwelle (speech reception threshold - SRT) verwendet, die bei einer Sprachverständlichkeit von 50% liegt.

BRONKHORST (2000) gibt den Hörverlust für Sprachwahrnehmung bei Hintergrundgeräuschen als SRT-Erhöhung bezüglich der SRT von Normalhörenden an. Eine solche Erhöhung kann Werte von ca. 10 dB annehmen. Diese erhöhte SRT könnte teilweise darauf zurückzuführen sein, dass Personen mit Gehörschädigungen wesentlich weniger von Fluktuationen im Störgeräusch profitieren als Normalhörende. Dabei rufen im Hintergrundgeräusch auftretende Fluktuationen bei Gehörgeschädigten Verbesserungen der SRT von 0 bis 2 dB hervor. Demgegenüber stehen wesentlich größere Verbesserungen von ca. 7 dB bei Normalhörenden unter gleichen Bedingungen, siehe BRONKHORST (2000). Diese Ergebnisse bestätigen auch

frühere Untersuchungen zum Einfluss modulierter Maskierer auf das Sprachverständnis (BRONKHORST, PLOMP 1992)

Da dies nicht allein anhand des Audiogramms erklärt werden kann, müssen zusätzliche Parameter ebenfalls die Sprachverständlichkeit beeinflussen. VAN SCHIJNDEL et al. (2001a) und VAN SCHIJNDEL et al. (2001b) nennen als weitere überschwellige Funktionsstörungen Defizite bei der Intensitätscodierung sowie der Frequenzauflösung.

Mit einer überschwelligen Hörstörung geht oft auch eine Beeinträchtigung der zeitlichen Auflösung einher. Zeitliche Mechanismen spielen bei jeder psychoakustischen Aufgabenstellung eine Rolle, da die Versuchsperson nach Änderungen des Stimulus sucht. Wenn Sprache mit einem Störgeräusch präsentiert wird, werden die zeitlichen Änderungen der Sprache durch die Anwesenheit des Störgeräusches undeutlicher wahrgenommen. Um die zeitlichen Änderungen des Sprachsignals deutlicher werden zu lassen, muss das Störgeräusch durch eine adäquate Filterung gedämpft werden. Dadurch wird der Signal-Geräusch-Abstand (Speech-to-Noise-Ratio – SNR) in den individuellen Frequenzbändern angehoben. Beim Schmalbandsignal ist für eine gute Frequenzunterscheidung im Störgeräusch also eine gute Frequenzselektivität erforderlich. Betrachtet man die Sprache als ein Breitbandsignal, so dürfte die Frequenzselektivität weniger kritisch sein. Durch die Formantstruktur ist die Sprache jedoch eher als eine Kombination von Schmalbandsignalen mit kontinuierlich veränderter Mittenfrequenz anzusehen. Das erklärt die bedeutende Rolle der Frequenzselektivität für die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch.

LUDVIGSEN (1985) bestätigte, dass die Aufwärtsmaskierung bei cochlear beeinträchtigtem Hören um einen Betrag, der proportional dem Hörverlust bei den Frequenzen, die maskiert werden, zunimmt. Unabhängig vom Pegel des Maskierers und dem Ausmaß des cochlearen Hörverlustes kehren die nachanregenden maskierten Schwellen innerhalb einer Dauer von 200 ms zum Pegel der Hörschwelle zurück.

DRESCHLER und PLOMP (1985) zeigten in ihren Untersuchungen, dass der Hörverlust für Sprache sowohl von der Fähigkeit zur Frequenzauflösung als auch von der Zeitverarbeitung des Gehörs abhängt. Es zeigte sich, dass eine Phonem-Verständlichkeit eher mit der Wahrnehmung von gefilterter Sprache korreliert ist als mit der Wahrnehmung ungefilterter Sprache. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Phonem-Verständlichkeitsschwelle nur bedingt eine Verbindung zwischen Ton-Wahrnehmung und Sprachverständlichkeit bilden kann.

IRWIN und McAULEY (1987) untersuchten die minimal wahrnehmbaren Rauschlücken in Abhängigkeit vom Rauschpegel. Die ermittelten Zeitkonstanten erreichten bei Hörgeschädigten signifikant höhere Werte. Lagen die Mittelwerte der wahrgenommenen Rauschlücke für die Normalhörendengruppe bei 11,6ms (für 30 dB SPL) bzw. 3,3 s (für 70 dB SPL), so ergaben sich für die Gruppe der Hörgeschädigten Mittelwerte der wahrgenommenen Rauschlücke von 25,9 s (für 35 dB SPL) bzw. 5,0 s (für 80 dB SPL). Das bestätigt das von LUDVIGSEN (1987) beobachtete Phänomen, dass Normalhörende für das Sprachverständnis wesentlich mehr von Störgeräusch-Lücken profitieren, als Hörgeschädigte.

Weitere Experimente zur Sprachverständlichkeit im Störgeräusch bei Nachhall zeigten für Hörgeschädigte eine deutlich größere Verschlechterung mit zunehmender Nachhallzeit als bei Normalhörenden. Stieg das durchschnittliche Signal-Rausch-Verhältnis zur Erreichung eines 50%-igen Sprachverständnisses für Normalhörende von 1 dB (Nachhallzeit 0,35 s) auf 5,3 dB (Nachhallzeit 1,2 s), so lagen die Werte für die Hörgeschädigten-Gruppe bei 5,3 dB (Nachhallzeit 0,35s) bzw. 9,5 dB (Nachhallzeit 1,2 s).

In ihren Arbeiten zum Zusammenhang zwischen den auditorischen Funktionen bei Hörgeschädigten konnten FESTEN und PLOMP (1983) zeigen, dass der Sprachhörverlust in Ruhe durch den audiometrischen Hörverlust bestimmt wird, während der Sprachhörverlust im Störgeräusch vor allem vom Frequenzauflösungsvermögen determiniert ist.

3 Kommunikation an ausgewählten Arbeitsplätzen

3.1 Typische, informationsrelevante akustische Reize am Arbeitsplatz

Nahezu jede Arbeitstätigkeit basiert auf einer sozialen Kommunikation zwischen Mitarbeitern des eigenen Arbeitsumfeldes sowie vor- und nachgelagerter Arbeitsbereiche, ebenso wie zu Auftraggebern (Kunden) und zu unterschiedlichsten Informationsmedien. Die Kommunikation ist somit ein sehr entscheidender ergonomischer

Faktor im Arbeitsprozess. Die Sprache stellt unter der Kommunikation (Verständigung, Informationsaustausch) nach wie vor das wichtigste Medium dar. Sie enthält mehr als die reine Information und übermittelt gleichzeitig soziale und emotionale Komponenten der Kommunikation, die z.B. durch die Sprechweise (Sprechpegel), die Sprachmelodie usw. vermittelt werden.

Eine schlechte Sprachverständlichkeit, sowohl durch Hörbeeinträchtigungen als auch durch eine gestörte Sprachübertragung, kann zu einer erhöhten psychischen Belastung, verbunden mit vorzeitiger Ermüdung, aber auch zu einer Verminderung der Arbeitsleistung bis hin zu sicherheitsrelevanten Fehlhandlungen führen. Die mit der Sprache bei direkter Kommunikation verbundenen visuellen Signale (wie Mundbewegungen, Mimik und Gestik) können eine gestörte Sprachverständlichkeit zwar in gewissen Grenzen kompensieren, jedoch ist auch dies durch räumliche Bedingungen und individuelle Fertigkeiten beschränkt.

Wenn hier von Kommunikationsbedingungen an Arbeitsplätzen die Rede ist, dürfen jene in Unterrichtsstätten nicht unbetrachtet bleiben. Den Schwerpunkt dieser Studie bildet die direkte sprachliche Kommunikation auf dem Weg der Luftschallübertragung. Sprachsignalübertragung auf elektronischem Weg sei hier nur am Rande betrachtet. Nachfolgend sind einige typische Beispiele von akustischen Signalen im beruflichen und Ausbildungsalltag aufgeführt und deren Funktion sowie Folgen bei Nichtwahrnehmung zum Teil kurz erläutert.

- Sprachliche Kommunikation bei unterschiedlichsten Hintergrundgeräuschen zwecks tätigkeitsbedingten Informationsaustausches aber auch zur Aufrechterhaltung sozialer persönlicher Kontakte:

Eine gestörte Sprachverständlichkeit im ersteren Fall kann zu Fehlhandlungen führen, welche die Arbeitsleistung negativ beeinflussen und in materiellen Einbußen des Unternehmens resultieren können.

- Sprachliche Gefahrenmeldungen, Not- oder Hilferufe bei unterschiedlichsten Hintergrundgeräuschen:

Nicht- oder Fehlwahrnehmung kann zu gesundheits- oder lebensbedrohlichen Situationen oder zur Zerstörung materieller Werte führen. Akustische Umgebungsbedingungen, die zu Fehlwahrnehmungen führen, können die betroffenen Beschäftigten zudem verunsichern.

- Sprachliche Kommunikation in Unterrichtsstätten zwecks Wissensvermittlung bei schultypischen Hintergrundgeräuschen:

Eine gestörte sprachliche Kommunikation im Unterricht führt mit Sicherheit, zumindest bei Schülern mit verminderter Lernfähigkeit, zu schlechteren Lernleistungen. Dies kann bis hin zur erhöhten physischen und psychischen Beanspruchung von Schülern und Lehrern führen.

Wichtig ist in allen drei Beispielen, dass neben der vollständigen und korrekten Wahrnehmung des Inhaltes im übertragenen Signal weitere Informationen enthalten sind. So z.B. dient die räumliche Wahrnehmung von Signalen (Richtungshören) zur Orientierung bzw. zur Ortung der Schallquelle (des Sprechers), was leicht, insbesondere bei hörbeeinträchtigten Personen mit Hörgeräteversorgung, durch den Einfluss von Nachhall gestört werden kann. Weiterhin dienen Tonhöhen, Lautstärken und zeitliche Strukturen von akustischen Signalen dem Hörer der Selektierung wahrgenommener Sprachsignale (z.B. wer spricht? Wie weit ist die Quelle entfernt? Aus welcher Richtung kommt das Signal? usw.).

Akustische Beeinträchtigungen auf dem Übertragungsweg können zur Verfälschung dieser aus ergonomischer Sicht nicht unwesentlichen Informationskomponenten führen.

Weitere relevante akustische Signale im oben genannten Sinne können sein:

- Akustische Wahrnehmungen zum Betriebszustand oder zu sich anbahnenden Defekten von Maschinen und Anlagen.
- Elektroakustisch erzeugte Warn- oder Gefahrensignale (Klingeln oder Sirenen) unterschiedlicher Tonhöhen und/oder Zeitstrukturen mit entsprechend unterschiedlichem Informationsgehalt.
- Telefonate bei unterschiedlicher Übertragungsqualität und differenziertem Umgebungsgesch.
- Kommandos über Telekommunikationssysteme: Eingeschränkte Sprachverständlichkeit kann auch hier zu sicherheitsrelevanten Fehlhandlungen führen.

Eine realitätsnahe Vorhersage der Verständlichkeit all dieser als Beispiele aufgeführter Signale unter Berücksichtigung von Störeinflüssen und möglichen Hörbeeinträchtigungen der Beschäftigten bzw. der Schüler könnte Aufschluss darüber geben,

welche akustischen Randbedingungen genau zur verminderten Sprach- und sonstigen Signalwahrnehmung beitragen und entsprechend zu gestalten sind. Dies kann ein Beitrag zur Leistungsverbesserung sowie zur Erhöhung der Arbeitssicherheit und damit zur gesamten ergonomischen Gestaltung von Arbeitsstätten und -prozessen sein.

3.2 Übertragungswege bei der sprachlichen Kommunikation am Arbeitsplatz

(a) Trotz moderner elektronischer und elektroakustischer Übertragungsmedien dürfte im Berufs-, Lern- und privaten Alltag die direkte sprachliche Kommunikation zwischen den Gesprächspartnern die verbreitetste Form des Informationsaustausches sein. Neben den physiologischen und psychologischen Faktoren der Sprachwahrnehmung, auf die in anderen Kapiteln näher eingegangen wurde und noch wird, spielen raum- und bauakustische Einflussgrößen (wie Nachhall oder Störgeräusche aus Nachbarbereichen) sowie in der näheren Kommunikationsumgebung hervorgerufener Störschall, insbesondere bei niedrigen Sprechpegeln und größeren Kommunikationsabständen, eine nicht zu vernachlässigende Rolle.

(b) Weitere Übertragungswege von Sprach- oder sonstigen akustischen Warn- und Informationssignalen basieren vielfach auf elektroakustischen bzw. elektronischen Medien. Hier kann die Verständlichkeit akustischer und sprachlicher Signale durch folgende Komponenten beeinträchtigt werden:

- Qualität der Generierung von synthetischen Sprach- oder sonstigen akustischen Signalen,
- Qualität der Wandlung sprachakustischer Signale in elektrische und umgekehrt (Mikrofone und Lautsprecher),
- Qualität der Signalübertragung über drahtgebundene Fernmeldestrecken mit in der Regel stark reduzierter Übertragungsbandbreite zu Gunsten der Übertragungskapazität,

- Qualität der Signalübertragung über drahtlose Funkübertragungsstrecken mit in der Regel stark reduzierter Übertragungsbandbreite zu Gunsten der Übertragungskapazität,
- elektromagnetische Störeinflüsse oder Abschirmungen auf den elektrischen bzw. elektromagnetischen Übertragungswegen,
- Störschalleinflüsse in der Umgebung des Sprechers und/oder des Hörers.

Die unter (b) betrachteten Übertragungswege mit ihren Einflussgrößen werden im Rahmen der Zielstellung der vorliegenden Arbeit nur zur Vervollständigung des Gesamtbildes erwähnt.

3.3 Typische Störgeräuschsituationen in Arbeitsstätten

Analog zum Abschnitt 3.1 sollen auch hier Arbeitsstätten im erweiterten Sinne verstanden und ebenso Unterrichtsstätten einbezogen werden.

Störgeräusche können in erheblichem Maße die sprachliche Kommunikation und die Wahrnehmung unterschiedlichster Signale negativ beeinflussen. Darüber hinaus können sie zur Minderung des Wohlbefindens, zu psychischen und psychophysischen Beeinträchtigungen und, in Abhängigkeit des Pegels und der Immissionsdauer, auch zu Hörschäden führen.

Als Störschall werden nur jene Geräusche bezeichnet, die nicht als Nutzschall, z.B. die eigenen Sprachsignale bei der Kommunikation der aktiven Gesprächspartner, dienen oder die nicht von der eigenen Arbeitstätigkeit hervorgerufen werden. Gleichmaßen sind gewollt wahrgenommene Schallereignisse (z.B. Konzert- und Kinobesuche, Radiohören usw.) zwar für die betreffende Person keine Störgeräusche, können es aber für nicht beteiligte Personengruppen sein. Dabei ist der Pegel allein nicht in jedem Fall das ausschlaggebende Kriterium.

Typische Störgeräusche, auch als Hintergrundgeräusche bezeichnet, können sowohl im Wohn- und Freizeitbereich als auch im Arbeitsbereich z.B. folgende sein:

- Straßenverkehrs- und Fluglärm,

- Geräusche von gebäudetechnischen Ausrüstungen (z.B. Lüftergeräusche, Strömungsgeräusche von Wasser- oder Heizleitungen),
- Kommunikation Dritter
- Musik,
- Trittschall,
- Knarren von Tischen und Stühlen (z.B. im Schulunterricht oder Bürobereich),
- Quietschen oder Zuschlagen von Türen,
- Lüftergeräusche von rechentechnischen Anlagen,
- Maschinenlärm (Be- und Verarbeitungs-, Büro-, Baumaschinen usw.),
- Lärm in der manuellen Metall- bzw. Blechverarbeitung.

Dabei können diese Geräusche sowohl aus dem eigenen Aufenthaltsbereich resultieren aber auch auf dem Weg der Luft- oder Körperschallübertragung aus benachbarten und weiter entfernten Räumen des Gebäudes, aus benachbarten Gebäuden oder aus dem Freien übertragen werden.

Wenngleich für die erforderliche Schalldämmung in Gebäuden bzw. für den zulässigen Lärm in Arbeitsstätten sowie für den Nachbarschaftslärm Grenzwerte in Normen, Richtlinien und Gesetzen festgelegt sind, ist das subjektive Empfinden von Störgeräuschen inter- und intraindividuell sehr differenziert. D.h., selbst wenn diese Grenzwerte erfüllt sind, kann es beim Hörer in Abhängigkeit von der Art des Geräusches, von dessen Frequenz- und Zeitstruktur, dessen Verursachung oder auch Verursachern zu mehr oder weniger großen individuellen Störeffindungen kommen.

Im Zusammenhang mit der Sprachwahrnehmung spielen neben dem Pegel die Zeitstruktur und die Frequenzstruktur des Hintergrundgeräusches eine besondere Rolle. Impulshaltige, stark fluktuierende und sprachähnliche Geräusche können sich sehr nachteilig auf die Sprachverständlichkeit auswirken. Liegen die Spitzenpegel des Störgeräusches in jenen Frequenzbändern, die auch die bedeutendsten Frequenzen für die Sprachübertragung darstellen, führt dies zu einer sogenannten Maskierung (Verdeckung) wichtiger Informationskomponenten und somit ebenfalls zu einer Verschlechterung der Sprachverständlichkeit.

3.4 Sonstige Störeinflüsse auf die Sprachverständlichkeit

3.4.1 Nachhall

Die Nachhallzeit in einem Raum kann die Sprachverständlichkeit erheblich beeinflussen. Unter anderem verweisen DIN 18041 (1968) und DIN 33410 (1981) auf den Zusammenhang von Sprachverständlichkeit und Nachhall.

Der Nachhall, auch als Impulsantwortfunktion des Raumes auf ein gesendetes Signal bezeichnet, ist von mehreren raumakustischen Parametern abhängig. Diese sind insbesondere die Reflexionseigenschaften von Raumbegrenzungsflächen und Einrichtungsgegenständen, die Raumgeometrie und das Raumvolumen.

In Abhängigkeit der Nutzungsarten von Räumen und der Raumvolumina werden für eine ausreichende Sprachverständlichkeit entsprechende günstige Nachhallzeiten empfohlen.

Nur wenige Vorhersageverfahren berücksichtigen in ihren Berechnungsverfahren den Einfluss des Nachhalls. Das Konzept des Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index, STI) zeigt, dass Nachhall den Signal-Rausch-Abstand (L_{SN} oder SNR) beeinflusst (LAZARUS, 1990). Sowohl der Hintergrundgeräuschpegel als auch der Sprachpegel sind davon betroffen.

TENNHARDT (2002) zieht für eine Charakterisierung der akustischen Qualität von Auditorien eine Vielzahl komplex miteinander wirkender akustischer Parameter und Kriterien heran, wobei er die subjektiv empfundene Nachhalldauer, die objektiv als Nachhallzeit definiert ist, als eine wesentliche Kenngröße für die akustische Qualität bezeichnet.

Nach Einschätzung der Autoren kann Nachhall über die subjektiv empfundene Nachhalldauer insbesondere bei geübten Sprechern, die sich auf die raumakustischen Randbedingungen einstellen, neben den eingangs erwähnten Parametern indirekt auch die Sprechgeschwindigkeit beeinflussen.

So zum Beispiel wird erfahrungsgemäß ein Pfarrer bei seiner Predigt in der Kirche betont langsam und mit größeren Abständen zwischen den Wörtern sprechen, um den Nachhall in den Sprechpausen auf ein Maß abklingen zu lassen, welches eine ausreichende Sprachverständlichkeit erlaubt.

Eine Studie des Sozialministeriums Mecklenburg-Vorpommern (2001) beschreibt Wirkungen hoher Nachhallzeiten in folgender Weise: Bereits von der subjektiven Empfindung her wirken Klassenräume sehr hallig, was mit einer wahrzunehmenden Verschiebung des Geräuschkettspektrums in den tieffrequenten Bereich, d.h. einer Klangfarbenänderung, einhergeht. Mehrfachreflexionen beeinträchtigen die Durchsichtigkeit des Schallsignals und damit die Sprachverständlichkeit. Darüber hinaus erhöhen sie den Störschallpegel.

Nachfolgende Zahlen von SCHICK et al. (1999, 2000) belegen, dass bei hörgestörten Kindern die Auswirkungen von Nachhall noch gravierender sind. Ausgehend von einer theoretischen Nachhallzeit mit wenig über 0 s, bei der die durchschnittliche Sprachverständlichkeit normalhörender Schüler ca. 95% beträgt, sinkt sie in diesem Fall bei schwerhörigen Schülern mit Hörgeräten auf nur noch 83 %. Bereits bei einer Nachhallzeit von 0,4 Sekunden fällt die Sprachverständlichkeit bei Normalhörenden auf 93 % ab, bei Hörgeräte tragenden Schülern gar auf 74 %, was sich bei einer Nachhallzeit von 1,2 Sekunden auf 77 % (Normalhörende) bzw. 45 Prozent (Hörgeräteträger) fortsetzt.

Vergleicht man diese Angaben mit den in Mecklenburg-Vorpommern gemessenen Werten für Nachhallzeiten (um die 0,8 s im Frequenzbereich zwischen 630 Hz und 5000 Hz und zu den tiefen Frequenzen bis 125 Hz auf 2,4 s ansteigend), so heißt das, dass schwerhörige Kinder weit weniger als die Hälfte des vermittelten Lehrstoffes im Unterricht erfassen können (vgl. auch BORMANN, HEINECKE-SCHMITT und FUDER (2002)).

Mehr noch als bei Normalhörenden hat bei Personen mit Hörgeräteversorgung eine zu hohe Nachhallzeit des Raumes großen nachteiligen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit. Insbesondere kann in diesen Fällen eine zu hohe Reflexion von den Seitenwänden die Quellenortung erheblich erschweren, was auf psychoakustischer Ebene ebenfalls die Sprachverständlichkeit mindert.

Auch aus den USA wird über vergleichbare Situationen in Klassenräumen berichtet, in denen aufgrund schlechter Klassenraumakustik infolge von Störgeräuschen und langen Nachhallzeiten die Sprachverständlichkeit selbst bei normalhörenden Schülern nur bei 75 % (ASA (2000)) und nach PICARD und BRADLEY (1997) bei Schülern der unteren Klassenstufen sogar nur bei etwa 66% lag. D.h. jedes vierte bis dritte Wort wird nicht verstanden.

Die vorstehend zitierten Studien belegen, dass für eine Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit der zu erwartenden Sprachverständlichkeit Modelle genutzt werden müssen, die den Nachhall in das Berechnungsverfahren integrieren. Nach LAZARUS (1990) führt jedoch die Einbeziehung von Nachhall in einfache Vorgehensweisen für die Vorhersage der Sprachverständlichkeit gewöhnlich zu Schwierigkeiten und zu nicht akzeptablen Ergebnissen (vgl. auch HUMES et al. (1986, 1987b)). Im Kapitel 4 werden u.a. Ansätze bzw. Modifikationen von Berechnungsverfahren vorgestellt, die den Einfluss des Nachhalls bei unterschiedlicher Vorgehensweise mit berücksichtigen.

3.4.2 Verzerrungen des Sprachsignals bei höheren Signalpegeln

Insbesondere in lautstarker Umgebung hebt ein Sprecher unbewusst seinen Sprechpegel an. Nach LAZARUS-MAINKA und TKOCZ (1988) scheint der Pegel der Sprechstimme durch physiologische, psychologische und sozialpsychologische Faktoren bedingt zu sein. Gemäß dem Lombard-Effekt gilt in der Regel, dass bei einem Anstieg des Umgebungsgeräusches um 1 dB der Sprechpegel um 0,5 dB zunimmt. Bei sehr laut gesprochener Sprache, insbesondere bei Sprache, die geschrien wird ($L_{SA, 1m} > 70-80$ dB), entsteht eine gewisse Verzerrung des Sprachsignals. Dies geschieht einerseits bereits bei der Artikulierung, was sich auch in verschiedenen Sprachspektren bei unterschiedlichen Sprechweisen ausdrückt, und andererseits bei der Wahrnehmung des Gesprochenen.

Nach LAZARUS (1990) ist Sprache mit höheren Pegeln weniger verständlich als normal gesprochene Sprache mit dem gleichen Signal-Geräusch-Abstand. Das bringen auch PICKETT (1956); ROSTOLLAND und PARANT (1973); LAZARUS-MAINKA und LAZARUS (1984); ROSTOLLAND (1985); LAZARUS-MAINKA und RECK (1986) zum Ausdruck. Für eine gleiche Sprachverständlichkeit muss nach ROSTOLLAND (1982a, b) der Signal-Geräusch-Abstand für Sprache, die geschrien wird, um 5 bis 10 dB niedriger sein als für Sprache, die mit einem normalen Pegel gesprochen wird (ROSTOLLAND, 1985). Die verminderte Verständlichkeit von sehr laut gesprochener Sprache wird mit einer Veränderung in der Phonemstruktur und einer Verflachung der Prosodie und Dynamik der Sprache erklärt (LAZARUS-MAINKA, 1986).

3.5 Einfluss von Gehörschutz

Das Tragen von Gehörschutz hat sowohl Einfluss auf die Sprechweise eines Sprechers als auch auf die Verständlichkeit von Sprache sowie sonstigen akustischen Signalen des Hörers.

Bereits KRYTER (1946) setzte sich mit der veränderten Sprachverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz in geräuschbelasteter Umgebung auseinander.

Trägt der Sprecher Gehörschutz, so ist sein Sprechpegel bei gleichem Umgebungsgeräuschpegel um etwa 4 dB niedriger, als ohne Gehörschutz (LAZARUS, 1986). Da der Sprecher Störgeräusche aus seiner Umgebung mit vermindertem Pegel wahrnimmt, wird er umgekehrt zu dem im Abschnitt 3.4.2 beschriebenen Lombard-Effekt seinen Sprechpegel automatisch reduzieren. Wie sich die Spanne der mittleren Sprechpegel in Abhängigkeit vom Pegel des Umgebungsgeräusches und des Tragens von Gehörschutz verändert, zeigt Abbildung 3.1.

Untersuchungen zum Einfluss von Gehörschutz auf die Sprachverständlichkeit führten u. a. NAKLADAL und LISTNER (1997) durch. Ergebnisse dazu zitiert LAZARUS (1998). Erstere Autoren testeten vier ausgewählte unterschiedliche Arten von Gehörschutzmitteln hinsichtlich ihres Einflusses auf die Sprachverständlichkeit. Bei den Versuchen saßen sich jeweils zwei Testpersonen ohne Blickkontakt gegenüber. In den fünf Testsitzungen trugen beide Versuchspersonen sowohl keinen Gehörschutz als auch jeweils eines der vier ausgewählten Gehörschutzmittel.

Das Hintergrundgeräusch betrug 85-93 dB(A). Das verwendete Sprachmaterial bestand aus Einsilbern und Kommandosprache.

Im Ergebnis der Untersuchungen zeigte sich, dass die Sprachverständlichkeit ohne Gehörschutz sowie mit pegelabhängigem Gehörschutz höher war als bei gewöhnlichen Ohrstöpseln und Dämpfern.

Die subjektive Einschätzung der Testpersonen, wie sie von ihrem Empfinden her die Sprachverständlichkeit mit Gehörschutz, unabhängig von den tatsächlich korrekt verstandenen Items, beurteilten, ergab ein gleiches Ergebnis wie das der durchgeführten subjektiven Sprachverständlichkeitstests.

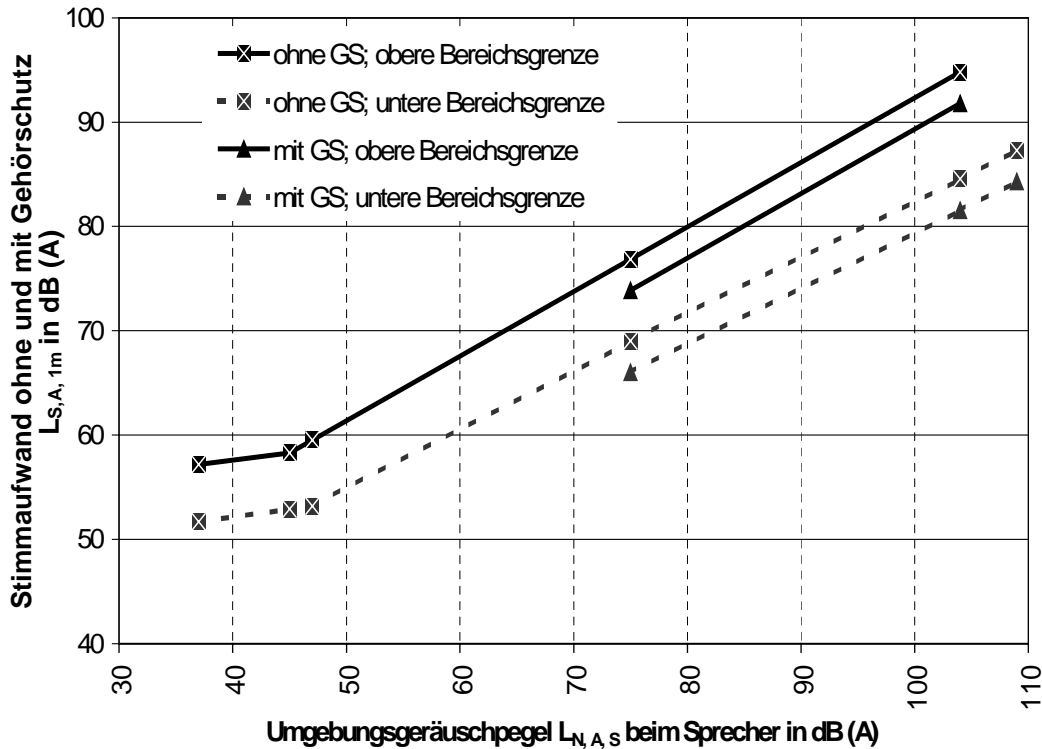


Abb. 3.1: Stimmaufwand ohne und mit Gehörschutz in dB(A) als Funktion des Umgebungsgeräuschpegels beim Sprecher in dB(A) nach ISO 9921-1:1995 (E).

Den in Abb. 3.1 angegebenen Pegeln für den Bereich des Stimmaufwandes lassen sich nachfolgende unterschiedliche Sprechweisen zuordnen:

entspannt:	54 dB(A)	normal:	60 dB(A)
angehoben:	66 dB(A)	laut:	72 dB(A)
sehr laut:	78 dB(A)	schreien:	84 dB(A)
max. Schrei:	90 dB(A)		

Eine lokale Ortung von Sprachsignalquellen kann ebenfalls den Grad der Sprachverständlichkeit beeinflussen. Diese Lokalisation ist bei Trägern von Hörgeräten oder Gehörschutz und verstärkt bei höheren Nachhallzeiten beeinträchtigt. Untersuchungen zum Einfluss von Gehörschutz auf die Lokalisation von Signalquellen führten u.a. NAKLADAL und HENNING (1996) durch. Wie in LAZARUS (1998) beschrieben, sollten bei diesen Versuchsreihen die Testpersonen die Richtung des Signals in 45° Schritten orten und das Signal selbst erkennen. Sowohl beim Orten der Warnsignale als auch bei der subjektiven Einschätzung, mit welchem Gehörschutz die Ortung am besten möglich ist, schnitt der pegelabhängige Gehörschutz am schlechtesten ab und die Situationen ohne Gehörschutz bzw. mit Ohrstöpseln am besten.

4 Verfahren zur Vorhersage der zu erwartenden Sprachverständlichkeit

Objektive Methoden zur Sprachverständlichkeitsbestimmung können laut HOLUBE und KOLLMEIER (1996) in zwei Gruppen unterteilt werden. Einerseits existieren Ansätze, welche die Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache beschreiben. Diese Verfahren, wie Artikulationsindex (AI) oder Sprachübertragungsindex (STI), liefern einen Einzahlwert auf der Basis einer monotonen Übertragungsfunktion.

Andererseits sind Methoden bekannt, die, auf physiologischen oder psychoakustischen Erkenntnissen aufbauend, die Sprachverständlichkeit durch eine genauere Modellierung der Sprachverarbeitung im auditiven System schätzen.

Die nachfolgenden Verfahren werden in den sich anschließenden Abschnitten näher betrachtet. Dabei werden bei ihrer Bezeichnung vielfach die in der Praxis der Sprachverständlichkeitsuntersuchungen üblichen Abkürzungen der Modelle genutzt.

AI	Artikulationsindex Articulation Index (Grundlegenden Idee seit der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts; Vielzahl von Modifizierungen zur Anpassung an unterschiedliche Anwendungsfälle)
L _{SNA}	A-bewerteter Signal-Rausch-Abstand (Pegeldifferenz S ignal-to- N oise, A -bewertet)
MAI	Modifizierter Artikulationsindex Modified Articulation Index
MTF	Modulationsübertragungsfunktion Modulation-Transfer-Funktion (Berücksichtigt Verringerung der Modulationstiefe bei Nachhall)
MTI	Modulationsübertragungsindex Modulation-Transfer-Index (Weiterentwicklung von AI und STI)
RASTI	Verkürzte Form des STI Rapid Speech Transmission Index

SII	Sprachverständlichkeitsindex S peech I ntelligibility I ndex
SIL	Sprach-Interferenz-Pegel S peech I nterference L evel
SNR	Signal-Rausch-Abstand S ignal-to- N oise- R atio
SRT	Spracherkennungsschwelle S peech R eception T hreshold (Beschreibt Sprachverständlichkeit im Störgeräusch)
STI	Sprachübertragungsindex S peech T ransmission I ndex

Die verschiedenen Methoden zur objektiven Vorhersage unterscheiden sich in der Art des Testsignals (Sprache, künstlich erzeugte Signale) und in den Anforderungen an die Eingangsdaten. Manche Verfahren benötigen Nutz- und Störgeräusch getrennt (AI), andere Verfahren benötigen das ungestörte und das gestörte Nutzsignal (STI, MTI). Weitere Unterschiede liegen in dem der Methode zugrundeliegenden Modellansatz (vgl. auch Tabelle 5.1). Aus diesen Unterschieden ergeben sich für die verschiedenen Verfahren zum Teil erheblich unterschiedliche Anwendungsgebiete.

4.1 Der Artikulationsindex AI mit seinen Modifizierungen

„Die Ideen zur Artikulationstheorie und deren Ergebnis, das Modell des Artikulationsindex, wurden in den Bell-Laboratorien von einem Team unter der Leitung von Harvey Fletcher entwickelt (FLETCHER und STEINBERG, 1929). Untersuchungsgegenstand war der Einfluss des Signalpegels, des Störgeräusches und der Filterung von Sprache oder Störgeräusch auf die Sprachverständlichkeit. Um die Ergebnisse zu beschreiben und die Verständlichkeit vorherzusagen, führten FRENCH und STEINBERG (1947) den AI ein. Alle Modelle zum Artikulationsindex, die heute bekannt sind, beruhen auf einer gleichen grundlegenden Idee, verwenden aber unterschiedliche Strategien, diese zu implementieren“ (MÜSCH, 1999).

Der Algorithmus basiert auf der Verwendung von Sprachpegel und Maskierungspegel als Funktion der Frequenz. Dabei wird der Signal-Rausch-Abstand (SNR) zwischen Sprachsignal und Störgeräusch in den Frequenzbändern, die entscheidend zur Sprachverständlichkeit beitragen, zur Bewertung herangezogen und darauf basierend der Artikulationsindex (AI) berechnet.

Die Hauptelemente des Modells sind:

- Der Beitrag jedes Frequenzbandes oberhalb des absoluten Schwellwertes ist eine lineare Funktion des Signal-Rausch-Abstandes zwischen -12 und 18 dB
- Die Gesamtsprachverständlichkeit ist die gewichtete Summe dieser Beiträge über die Frequenzbänder von 250 bis 7000 Hz.

Die Studie war begrenzt auf Normalhörende und konstante Störsignale.

Der Artikulationsindex kann Werte im Bereich $AI = 0 \dots 1$ annehmen, wobei ein höherer AI-Wert eine höhere Sprachverständlichkeit unter den betrachteten Bedingungen voraussagt.

Wie auch andere beschreibt MÜSCH (1999), dass die Artikulationstheorie von der grundlegenden Idee ausgeht, dass die Information, welche vom Sprachsignal getragen wird, über den Bereich der Sprachfrequenzen verteilt ist und dass die Sprachverständlichkeit durch die differenziert wahrgenommene Lautstärke der unterschiedlichen spektralen Komponenten der Sprache (Sprachbänder) bestimmt ist. Auf der Suche nach einem Weg, die nutzbare Information, die in den verschiedenen Sprachbändern enthalten ist, durch eine einfache Addition zu kombinieren, hat Fletcher eine nichtlineare Transformation entwickelt, welche die Sprachwahrnehmungsraten hochrechnet, die beim Hören einzelner Sprachbänder in einem Bereich, wo die transformierten Werte (Hörerergebnisse) additiv sind, erzielt wurden. Die Darstellung der Verständlichkeit in diesem Bereich ist der obengenannte Artikulationsindex (AI).

Beim Definieren der Transformation wurde vorausgesetzt, dass die Sprachbänder unabhängig voneinander (einzeln) zur Artikulation beitragen. Artikulation ist der Anteil von korrekt wahrgenommenen Phonemen, die in „sinnlosen“ Silben dargeboten wurden (MÜSCH, 1999).

Miller und Licklider (MILLER (1947); MILLER und LICKLIDER (1950)) untersuchten zur etwa gleichen Zeit den Einfluss von fluktuierenden Maskierern und Sprachunterbrechungen. Der Vorteil von fluktuierendem Maskierer konnte deutlich durch die Ver-

ständigkeit von Einsilbern im Störgeräusch als Funktion der Unterbrechungsrate des Störgeräusches mit einem festen Zyklus demonstriert werden. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass für Unterbrechungsraten unter 200Hz die Verständlichkeit mit abnehmender Unterbrechungsrate steigt. Das Maximum der Verständlichkeit ist bei ca. 10 Unterbrechungen pro Sekunde erreicht, darunter kommt es wieder zur Abnahme der Verständlichkeit, da vollständige Worte maskiert werden. In diese Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit im Störgeräusch waren nur Normalhörende einbezogen.

Eine Beeinflussung der Sprachverständlichkeit durch Hörverluste wurde zuerst ohne Störgeräusch untersucht. Erst später erfolgte eine Einbeziehung von Störgeräuschen (u.a. PALVA (1955); JOKINEN, (1973)). Hörer mit sensorineuralem Hörverlust haben zusätzliche Schwierigkeiten mit Sprachverstehen bei maskierender Sprache. CARHART und TILLMAN (1970) beschäftigten sich u.a. mit der Erkennung von Einsilbern in maskierenden Sätzen für verschiedene Hörergruppen. Dabei zeigte sich, dass der Verdeckungseffekt der Sprache für Hörer mit sensorineuralem Hörverlust 12 bis 15 dB größer ist als für Normalhörende oder Hörer mit konduktivem Hörverlust.

4.1.1 Modifizierung des AI nach Kryter

Den von FRENCH und STEINBERG skizzierten Ideen folgend, veröffentlichten BERANEK (1947) und KRYTER (1962a) ihre Versionen zum AI. MÜSCH (1999) charakterisiert Kryter's Version des AI als eine Methode in einem Format, welches für Ingenieure einfach zugänglich ist.

KRYTER (1962a) modifiziert sein Verfahren und überprüfte es für eine große Anzahl von Bedingungen (KRYTER 1962b), wobei er drei verschiedene Berechnungsmethoden angibt:

- (1) aus 20 Frequenzbändern mit einem Bereich der Mittenfrequenzen $f_m = 270 \dots 5600$ Hz. Jedes Frequenzband liefert hier bei gleichem SNR den gleichen Beitrag zur Sprachverständlichkeit,
- (2) aus 15 Terzbändern mit den Mittenfrequenzen $f_m = 200 \dots 5000$ Hz;
- (3) aus fünf bzw. sechs Oktavbändern.

Für die Berechnung aus Terz- sowie Oktavbändern ist jedoch eine Gewichtung jedes Bandes entsprechend dem Beitrag zur Sprachverständlichkeit notwendig (PAVLOVIC 1987).

Darüber hinaus beschränkt Kryter den betrachteten Dynamikbereich auf 30 dB, das bedeutet, der SNR zwischen äquivalentem Dauerschallpegel der Sprache und dem Maskierer wird auf einen Bereich von -12 dB bis +18 dB begrenzt. Bei Überschreiten dieser Grenzen werden die jeweiligen Grenzwerte anstelle der tatsächlichen Werte eingesetzt.

Ein entscheidender Faktor für die Genauigkeit der Sprachverständlichkeitsschätzung mittels des AI ist das Sprachmaterial, anhand dessen die Berechnungsgrundlage erstellt wurde. Kryter evaluierte seine Methode ausschließlich anhand des Sprachmaterials männlicher Sprecher. Parameter zur Berechnung des AI, die auf einem breiter angelegten Sprachmaterial basieren, veröffentlichte PAVLOVIC (1987).

Für die durch das ursprüngliche Berechnungsverfahren nicht berücksichtigten Fälle, wie Sprachsignalverzerrungen im Frequenzbereich, Amplitudenverzerrungen, Nachhall sowie impulsartiges Hintergrundrauschen, gibt Kryter Korrekturmöglichkeiten an.

4.1.2 Modifizierung des AI nach Fletcher & Galt

MÜSCH (1999) setzte sich sehr ausführlich mit den Ideen von FLETCHER und GALT (1950) zum Artikulationsindex auseinander. In seiner hier nachfolgend auszugsweise und zum Teil wörtlich zitierten Arbeit beschreibt MÜSCH die Modifikation des AI von Fletcher und Galt wie folgt:

„1950 veröffentlichten FLETCHER und GALT (1950) die *wahrscheinlich kompletteste Methode*, den Artikulationsindex zu berechnen. Wie Kryter und die ANSI S3.5-1969 nach ihm, boten Fletcher und Galt Formulare an und forderten vom Nutzer Diagramme, im Bestreben, die Berechnung zu strukturieren. Jedoch anders als bei Kryter und in den ANSI - Methoden sind die Berechnungen langwieriger und mehr verschachtelt.“

Dies sei der rekursiven Natur der Berechnung sowie den vielen Details geschuldet, welche der grundlegenden, vorstehend umrissenen Idee hinzugefügt worden sind. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren nur wenig genutzt worden und nach Wissen des Autors zum Zeitpunkt des Schreibens dieses Beitrages (49 Jahre nach der Ver-

öffentlichung der Methode) in nur drei publizierten Studien (RANKOVIC, 1997, 1998; FONTANELLAZ, 1951) zur Anwendung gekommen.

Als hauptsächliche Unterschiede zwischen Fletcher und Galt's Methode zur Berechnung des AI und den anderen bekannten Methoden (z.B. AI nach Kryter, STI oder MTI) nennt MÜSCH in seiner Arbeit die folgenden:

(1) Das Konzept der Hörbarkeit

„Gemäß Fletcher und Galt scheint die Verständlichkeit streng genommen nicht nur eine Funktion des Signal-Geräusch-Abstandes (SNR) zu sein sondern steht in Beziehung zur Lautstärke. Der Bereich des Signal-Geräusch-Abstandes, über dem die Verständlichkeit ansteigt, ist in Fletcher und Galt's Methode größer als in anderen Methoden. Darüber hinaus variiert die Größe dieses Bereiches mit der Frequenz, welche mit den Daten übereinstimmend ist; bei hohen Frequenzen steigt die Verständlichkeit über einen kleineren Bereich des Signal-Geräusch-Abstandes als bei niedrigen Frequenzen. Fletcher and Galt's Methode erklärt ferner den Fall, dass der relative Pegel der Spitzen des Sprachspektrums für die Verständlichkeit von Bedeutung ist, besonders für die Verständlichkeit von Vokalen. Deshalb ist der nach Fletcher und Galt berechnete AI eine Kombination aus der Lautstärke (Hörbarkeit) der Sprache *und* den Verzerrungen im Sprachspektrum.“

(2) Band-Eigenständigkeit

„Der AI - Beitrag eines jeden Sprachbandes wird als unabhängig vom AI - Beitrag benachbarter Sprachbänder angenommen. Diese These ist vornehmlich nicht geeignet, wenn es eine wechselseitige Maskierung zwischen den Sprachbändern gibt, die ihre Wahrnehmbarkeit beeinflussen. Die Methoden nach KRYTER (1962) und nach ANSI (1969) beziehen nicht explizit die Selbstmaskierung der Sprache in die Berechnung ein. Der SII (ANSI S3.5-1997) modelliert den Aufwärtsbereich der Selbstmaskierung. Die Methode nach Fletcher und Galt modelliert beides, den Aufwärts- und den Abwärtsbereich der Selbstmaskierung. Wenn es keine Selbstmaskierung der Sprachbänder gibt, gehen alle Methoden, ausgenommen die von Fletcher und Galt, davon aus, dass der AI-Beitrag eines jeden Sprachbandes unabhängig von den AI-Beiträgen der anderen Bänder ist.“

Fletcher und Galt's Methode lassen kleine Korrekturen dieser Unabhängigkeitsthese zu (die Unabhängigkeitsthese wird in (1) bis (4) widergespiegelt). Nach Fletcher und Galt ist der AI einer Dual-Band Bedingung nicht notwendigerweise gleich der Summe aus den AI's der einzelnen Ein-Band Bedingungen. Jedoch sind die Unterschiede zwischen den Summen zweier einzelner AI's und den AI's der korrespondierenden Dual-Band Bedingungen klein und müssen als Effekt zweiter Ordnung betrachtet werden.“

(3) Desensibilisierung des Ohres

„Die Methode nach Fletcher und Galt geht davon aus, dass übermäßige Sprachpegel die Verständlichkeit herabsenken. Dieser Effekt wird mitunter auch „rollover“ genannt. Kryter's Methode und die nach ANSI (1969) weisen die Möglichkeit des „rollover“-Effektes nicht aus.“

(4) Nichtlineare Verzerrung (Störung)

„Die Methode nach Fletcher und Galt erlaubt, verschiedene Arten nichtlinearer Verzerrungen zu korrigieren. Nur eine solche Korrektur, die pegelabhängige Korrektur für Verlust an Verständlichkeit entsprechend der Intermodulations-Verzerrung, welche von der Wechselwirkung zwischen Maskierer und Sprache herrührt, ist in die Software implementiert, die in der hier zitierten Quelle vorgestellt wird. Andere Korrekturen, wie Korrekturen für Verzerrungen infolge von Nichtlinearitäten in Kohlemikrofonen wie auch von Geschwindigkeitsänderungen bei Phonographen sind nicht implementiert“ (MÜSCH, 1999; vgl. auch MÜSCH, 2000 sowie MÜSCH und BUUS, 2001).

MÜSCH (1999) stellt im Anschluss eine entwickelte *Softwarelösung zum AI Berechnungsverfahren nach FRENCH und STEINBERG* vor, welche zum freien „Download“ unter der im Literaturverzeichnis angegebenen Adresse für die Quelle zu diesem Beitrag zur Verfügung steht.

4.1.3 Modifizierung des AI für Hörgeschädigte nach Pavlovic, Studebaker und Sherbecoe - Anpassung des Artikulationsindex zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit bei Gehörschäden

Obwohl durch ein Audiogramm nur die Anhebung der Hörschwelle berücksichtigt wird, kann allein durch Berücksichtigen der veränderten Hörschwelle eine bessere

objektive Sprachverständlichkeitsbewertung erreicht werden. Dies wurde in verschiedenen Modifikationsansätzen zur Sprachverständlichkeitsermittlung bei Gehörschäden durch Anpassung des die Ruhehörschwelle modellierenden Rauschsignals vorgenommen, das auch als "internes" Rauschsignal bezeichnet wird (PAVLOVIC, 1987, LUDVIGSEN, 1993, HOLUBE und KOLLMEIER, 1996).

Um das Audiogramm einer gehörgeschädigten Person bestmöglich berücksichtigen zu können, ist es notwendig, eine möglichst detaillierte Modellierung der Frequenz-Orts-Transformation vorzunehmen. Deshalb bevorzugen PAVLOVIC und STUDEBAKER, (1984) beim AI die 20-Band-Methode (vgl. Abschnitt 4.1.1, Aufzählung (1)) oder Frequenzgruppen nach Zwicker (PAVLOVIC, 1987) anstatt von Terz- oder Oktavbändern. Darüber hinaus kann durch Einbeziehen weiterer Kenngrößen eine genauere Schätzung der Sprachverständlichkeit mit objektiven Methoden erzielt werden (PAVLOVIC, STUDEBAKER und SHERBECOE, 1986; HOLUBE und KOLLMEIER, 1996). Stehen diese in Beziehung zur Anhebung der Hörschwelle, ist deren Berücksichtigung weniger aufwendig, als wenn zusätzliche Kenngrößen durch psychophysikalische Tests zu ermitteln sind.

Im folgenden Kapitel wird näher auf die Untersuchungen von PAVLOVIC et al. (1986) eingegangen, da dort anhand der durch ein Audiogramm bereitgestellten Kenngrößen eine Anpassung des AI für Funktionsstörungen im menschlichen Gehör beschrieben ist.

Pavlovic et al. führten ausführliche Untersuchungen zur Anwendung des Artikulationsindex (AI) bei Funktionsstörungen im Gehör durch (PAVLOVIC und STUDEBAKER, 1984; PAVLOVIC, 1984; PAVLOVIC, STUDEBAKER und SHERBECOE, 1986 und PAVLOVIC, 1987). Die Berechnungsgrundlage für den AI wird dort anhand der Gleichung

$$AI = P \int_0^{\infty} I(f)W(f)df \quad (4.1)$$

beschrieben. Dabei gibt der Faktor $I(f)$ den Beitrag des jeweiligen Spektralanteils zur Sprachverständlichkeit an. Anhand des Informationsübertragungsfaktors $W(f)$ fließt

ein, welcher Anteil der Information den Zuhörer unter den gegebenen Bedingungen tatsächlich erreicht.

Durch den Faktor P werden die Artikulationsgüte des Sprechers sowie die Vertrautheit des Zuhörers mit der Sprecherstimme berücksichtigt. Im Idealfall ist $P = 1$. Bei einer Anwendung des AI in der Praxis ist eher der Einfluss von auftretenden Störgeräuschen, von zu geringen Sprachpegeln oder von Gehörschäden auf die Sprachverständlichkeit von Interesse. Diese Einflüsse werden jedoch durch den Informationsübertragungsfaktor berücksichtigt. Weiterhin erscheint es schwierig, in der Praxis den Faktor P für eine breitere Anzahl von Konstellationen im Mittel anzugeben. Somit erscheint es praktikabel hier $P = 1$ anzunehmen (HUMES et al., 1986).

Zur Umwandlung der AI-Werte in Sprachverständlichkeitswerte s ist eine Transformationsbeziehung notwendig. Diese, für die jeweilige Konfiguration empirisch ermittelte Beziehung kann allgemein angegeben werden mit

$$s = T(AI). \quad (4.2)$$

PAVLOVIC und STUDEBAKER (1984) untersuchen verschiedene AI-Ansätze auf Unterschiede bezüglich des verwendeten Dynamikbereichs, der Intensitätsgewichtung, der Behandlung von Sprechpausen sowie der Berücksichtigung des Sprachspitzenpegels. Im Ergebnis dieser Studie favorisieren die Autoren:

- einen Dynamikbereich von 30 dB ,
- eine lineare Intensitätsgewichtung,
- das Entfernen von Sprechpausen (es werden nur Abschnitte mit aktiver Sprache im Signal bewertet) und
- das Einbeziehen der tatsächlichen Sprachspitzenpegel anstelle der Vereinfachung, dass diese um 12 dB über dem Langzeitmittelwert liegen.

Wie zuvor bereits erwähnt, wurde in dieser Untersuchung eine Aufteilung in 20 Frequenzbänder mit gleichem Beitrag zur Sprachverständlichkeit bevorzugt.

Zusätzlich untersuchte Pavlovic die Möglichkeit der Sprachverständlichkeitsvorhersage bei Gehörschäden mittels des AI (PAVLOVIC, 1984). In dieser Studie wurde in einem Experiment untersucht, inwieweit es möglich ist, die angehobene Hörschwelle durch ein "internes" Rauschsignal zu modellieren. Dabei sollte überprüft werden, ob sich der Faktor P (siehe Gleichung 4.1), der die Artikulationsgüte und die Hörerver-

trautheit beschreibt, als unabhängig vom Hörverlust erweist. Dazu wurden die Testpersonen in Normalhörende und Personen mit Gehörschäden unterteilt. Die zweite Gruppe teilte sich nochmals in geringer Gehörgeschädigte (gGS) und stärker Gehörgeschädigte (sGS) auf, wobei als Unterscheidungskriterium die Hörschwellenanhebung bei 4 kHz diente. Die Testpersonen in der gGS-Gruppe wiesen eine Anhebung der Hörschwelle von weniger als 50 dB auf. In der sGS-Gruppe lag die Anhebung der Hörschwelle bei 55 dB oder darüber.

Im Ergebnis des Experiments zeigte sich eine gute Übereinstimmung von im subjektiven Sprachverständlichkeitstest ermittelten Werten mit der Vorhersage durch den modifizierten AI für Normalhörende und die gGS-Gruppe. Jedoch wurde für die sGS-Gruppe durch den modifizierten AI eine bessere Sprachverständlichkeit vorhergesagt, als sie tatsächlich in realen Hörversuchen ermittelt wurde. Deshalb schlussfolgert Pavlovic, dass eine Anwendung des AI in dieser Form nicht für die Vorhersage der Sprachverständlichkeit bei Gehörschäden empfohlen werden kann. Er schlägt vor, weitere Parameter bei der Modifikation des AI einzubeziehen. Dabei merkt er an, dass die Vorhersagefehler des AI in direkter Beziehung zur Größe des Hörverlustes stehen. Durch die Einführung eines frequenzabhängigen Faktors P (siehe Gleichung 4.1) für Hörgeschädigte lassen sich die Differenzen zwischen Vorhersagewerten und tatsächlichem Sprachverstehen auch bei vorhandenen Supraschwellendefiziten weiter verringern.

Hier setzt die Untersuchung von PAVLOVIC *et al.* (1986) an, wobei anhand des im Audiogramm beschriebenen Hörverlusts weitere Parameter zur Berechnung des Artikulationsindex angepasst werden. $I(f)$ wird mit einem "Sprach – Desensibilisierungsfaktor" $D(f)$ multipliziert, wobei $D(f)$ den Hörverlust in Abhängigkeit von der Frequenz beschreibt. Um den Desensibilisierungsfaktor in Abhängigkeit vom Hörverlust zu bestimmen, wurde die Differenz zwischen vorhergesagtem und beobachteten Artikulationsindex minimiert. $D(f)$ lässt sich damit durch folgende Gleichungen darstellen:

$$D(f) = 1 \text{ für } L(f) < 15$$

$$D(f) = 1,19 - 0,0127 * L(f)$$

$$D(f) = 0 \text{ für } L(f) > 94,$$

wobei $L(f)$ den Hörverlust in dB beschreibt.

Unter Verwendung des Desensibilisierungsfaktors lag der RMS-Fehler zwischen vorhergesagten und beobachteten AI-Werten bei Pavlovic bei 0,074.

Weiterhin erfolgt eine Anpassung der Frequenzgruppenbreite bei einer Anhebung der Hörschwelle von mehr als 15 dB.

Durch diese Modifikationen konnten deutliche Verbesserungen bei der Sprachverständlichkeitsvorhersage für vier untersuchte gehörgeschädigte Testpersonen erreicht werden. Jedoch weisen Pavlovic *et al.* auch darauf hin, dass eine Überprüfung dieser Ergebnisse mit einem größeren Testpersonenkreis notwendig ist.

4.1.4 Von Pavlovic zusammengestellte Berechnungsgrundlagen für den Artikulationsindex

In einem zusammenfassenden Dokument beschreibt PAVLOVIC (1987) ausführlich die zur AI-Berechnung notwendigen Parameter. Dort wird Gleichung (4.3) in leicht modifizierter Form angegeben, wobei aus den zu Anfang dieses Kapitels genannten Gründen $P = 1$ gesetzt werden kann:

$$AI = \sum_{i=1}^n I_i W_i \quad (4.3)$$

Dabei bezeichnet der Index i das jeweilige Frequenzband.

In PAVLOVIC (1987) wird die von PAVLOVIC und STUDEBAKER (1984) favorisierte Unterteilung in 20 Frequenzbänder mit gleichem Beitrag zur Sprachverständlichkeit zugunsten von Frequenzgruppen nach Zwicker verworfen. Außerdem werden von PAVLOVIC (1987) ebenfalls die notwendigen Kenngrößen bei einer Aufteilung in Terz- oder Oktavbänder tabelliert angegeben.

Der Beitrag des jeweiligen Bandes zur Sprachverständlichkeit, ausgedrückt durch den Faktor I_i , wird für Sprachmaterial aus bedeutungslosen Silben, kontinuierlicher Unterhaltung sowie für durchschnittliches Sprachmaterial aufgelistet. Mit letzterem bezieht sich Pavlovic auf Sprachmaterial mit durchschnittlichem Redundanzgehalt.

Im *Informationsübertragungsfaktor* W_i des Frequenzbandes i mit der Mittenfrequenz $f_{m,i}$ sind der betrachtete Dynamikbereich sowie der SNR zwischen Sprachsignal

$S(f_{m,i})$ und maskierendem Rauschsignal $N(f_{m,i})$ enthalten. Sämtliche Angaben für $S(f_{m,i})$, $N(f_{m,i})$, $N_e(f_{m,i})$ und $X(f_{m,i})$ bezeichnen hier die mittleren Leistungsdichten im jeweiligen Frequenzband i mit der Bandbreite Δf , wobei $f_{m,i}$ die Mittenfrequenz dieses Bandes ist. Dabei beziehen sich alle Werte auf einen Referenzschalldruck von $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ und ein Frequenzband mit $\Delta f = 1\text{Hz}$. Damit kann z.B. die Leistungsdichte des Sprachsignals mit dem im Band i gemessenen Effektivwertquadrat des Schalldrucks $\tilde{p}^2(f_{m,i})$ anhand der Beziehung

$$S(f_{m,i}) = 10 \lg \frac{\tilde{p}^2(f_{m,i}) \cdot 1\text{Hz}}{\tilde{p}_0^2 \Delta f} \text{dB} \quad (4.4)$$

ermittelt werden.

Dabei wird die Leistungsdichte des maskierenden Rauschsignals $N(f_{m,i})$ aus der Leistungsdichte des "internen" Rauschsignals $X(f_{m,i})$ und der Leistungsdichte des extern auftretenden Störgeräuschs $N_e(f_{m,i})$ ermittelt. Hierbei summieren sich nicht, wie in PAVLOVIC (1984) angegeben, die Leistungsdichten von "internem" Rauschsignal und externem Störgeräusch zur Leistungsdichte des Maskierers, sondern es wird der jeweils größere Wert von beiden benutzt. Somit ergibt sich

$$N(f_{m,i}) = \max [N_e(f_{m,i}), X(f_{m,i})]. \quad (4.5)$$

Das die Ruhehörschwelle beschreibende "interne" Rauschsignal $X(f_{m,i})$ ist für Normalhörende in PAVLOVIC (1987) für Frequenzgruppen sowie Terzbänder tabelliert, die Werte für Oktavbänder sind als Fußnote am Ende des Artikels angegeben.

Für die Ermittlung dieser Werte beschreibt Pavlovic die zwei folgenden Varianten.

Im ersten Fall wird die Ruhehörschwelle für reine Töne verwendet, wobei das "interne" Rauschsignal wie ein externer Maskierer bemessen wird, der die jeweilige Ruhehörschwelle bei der Frequenz des Tones verursacht.

Im zweiten Fall wird die Leistungsdichte eines gerade hörbaren Schmalbandrauschens verwendet.

Pavlovic bevorzugt die Verwendung der ersten Variante zur Berechnung des Artikulationsindex, da diese die Verständlichkeitsschwelle beschreibt und die zweite Variante hingegen die Hörbarkeitsschwelle. PAVLOVIC (1987) betrachtet den Fall, dass

der SNR zwischen Sprachsignal und Maskierer den Wert 0 dB annimmt. Dabei argumentiert er, dass durch die Reintonhörschwelle genau der Fall berücksichtigt wird, bei dem Sprachabschnitt und Maskierer die gleiche Energie in einem Frequenzband aufweisen und damit die Verständlichkeitsschwelle beschrieben wird. Hingegen beschreibt ein gerade hörbares Schmalbandrauschen eher den Fall der Sprachwahrnehmbarkeitsschwelle.

Darüber hinaus kann mittels des "internen" Rauschsignals eine *Anpassung bei veränderter Hörschwelle* vorgenommen werden. Dabei wird die Hörschwellenanhebung im Vergleich zur Hörschwelle eines Normalhörenden zu den tabellierten Werten $X(f_{m,i})$ für Normalhörende addiert und die resultierende Summe anstelle der tabellierten Schwelle $X(f_{m,i})$ verwendet.

In PAVLOVIC (1987) ist jedoch nicht erwähnt, inwieweit die zuvor von PAVLOVIC (1984) geäußerten Bedenken bezüglich der Anwendbarkeit bei Gehörschäden eines derart modifizierten AI noch gültig sind.

Zur Bestimmung des Faktors W_i gibt Pavlovic einen Dynamikbereich von 30 dB sowie eine Integrationszeit von 125 ms an. Die in PAVLOVIC und STUDEBAKER (1984) favorisierte Verwendung der tatsächlichen Sprachspitzenpegel verwirft hier Pavlovic zur Minimierung des Aufwands. Anstelle dessen empfiehlt er, die approximierte Differenz von 12 dB zum Langzeitmittelwert der Sprache zu addieren.

(Für den Fall, dass eine Schätzung der Sprachverständlichkeit durchgeführt werden soll, ohne das Messungen des Sprachsignals vorgenommen werden, können durchschnittliche Werte für $S(f_{m,i})$ ebenfalls aus PAVLOVIC (1987) entnommen werden, wobei die Werte analog $X(f_{m,i})$ für Frequenzgruppen und Terzbänder tabelliert, für Oktavbänder in den Fußnoten am Ende des Artikels angegeben sind.)

Damit kann der Faktor W_i in folgender Form angegeben werden:

$$W_i = \frac{S(f_{m,i}) + 12dB - N(f_{m,i})}{30dB} \quad (4.6)$$

Hierbei ist zu beachten, dass der Informationsübertragungsfaktor W_i auf einen Bereich von $0 \leq W_i \leq 1$ zu begrenzen ist. Unter Berücksichtigung dieser Bedingung kann mit den Gleichungen (4.4), (4.5) und (4.6) der Artikulationsindex berechnet werden.

4.1.5 Modifizierung des AI nach Ludvigsen

LUDVIGSEN (1987) geht in seiner Arbeit davon aus, dass bisherige Methoden zur Abschätzung der Sprachverständlichkeit aus der Charakteristik des Sprach- und Störsignals, gemessen am Ausgang des Übertragungssystems (z.B. nach der AI-Theorie nach FRENCH und STEINBERG (1947) oder der STI-Theorie nach HOUTGAST und STEENEKEN (1971, 1973), jeweils mit deren modifizierten Weiterentwicklungen, ihre Wirksamkeit bei Personen ohne Hörbeeinträchtigungen bewiesen haben.

Weiter beschreibt er, dass die Bewertung eines Sprachübertragungssystems für hörbeeinträchtigte Hörer, die z.B. eine Hörhilfe beanspruchen, unvermeidlich die Signalverarbeitung, die von einem beeinträchtigten auditorischen System geleistet wird, einbeziehen muss. Es ist daher unwahrscheinlich, dass z.B. eine Hörhilfe auf der Basis von Beurteilungen einer *Gruppe normalhörender Hörer* oder von Methoden, die vorgeben, solche Antworten abzuschätzen, angemessen bewertet werden kann. Um diesem Problem näher zu kommen, muss der Verarbeitungsprozess des beeinträchtigten Ohres als eine Eigenschaft des Übertragungssystems betrachtet werden. Wenn das Ergebnis nur der Beeinträchtigung als eine frequenzabhängige Verschiebung des Sprach- und Geräuschpegels modelliert werden kann, könnten Methoden der Sprachverständlichkeit für Normalhörende auch für Hörbeeinträchtigte anwendbar sein. Das ist die Voraussetzung, auf der Ludvigsens Studie basiert.

Bereits in früheren Studien war die Anwendung der AI Theorie auf cochlear hörbeeinträchtigte Personen von großem Interesse (FLETCHER 1952; SKINNER und MILLER, 1983; PAVLOVIC, 1984; KAMM et al., 1985; DIRKS et al., 1986; PAVLOVIC et al., 1986; HUMES et al., 1986).

Wie ursprünglich FLETCHER (1952) vorschlug, wurde in diesen Studien der cochleare Hörverlust als eine interne Geräuschquelle modelliert. Die Resultate waren aber wissenschaftlich nicht sauber zu deuten.

Jedoch befanden DUGAL et al. (1980) diese Methode als realisierbar, wenn unterschiedliche Übertragungssysteme mit dem gleichen Hörer verglichen werden, aber nicht präzise genug, die absoluten, individuellen Artikulationsergebnisse vorherzusagen. Um die Schwankungen ihrer Vorhersagen einzuschränken, bestimmten sie individuelle Fertigungsfaktoren für jeden Hörbeeinträchtigten. Diese Fertigungsfaktoren, wie groß auch ihre Bedeutung für die Sprachverständlichkeit sein mag, wurden letztlich so bewertet, dass sie keinen Bezug zu brauchbaren Informationen bezüglich des Typs und des Grades des Hörverlustes haben und daher nicht prognostizierbar sind.

Effekte einer cochlearen Beeinträchtigung können nach LUDVIGSEN ausgewiesen werden, indem die Hörschwelle durch ein fiktives internes Geräusch und durch Einbeziehung der Modelle der Frequenzauflösung und der Zeitauflösung, wie sie in einer früheren Studie abgeleitet wurden (LUDVIGSEN, 1985), nachgebildet wird. Es wurde beobachtet, dass die Aufwärtsmaskierung bei cochlear beeinträchtigtem Hören um einen Betrag, welcher proportional dem Hörverlust bei den Frequenzen, die maskiert werden, zunimmt. Hier wird deutlich, dass sich das Modell der Frequenzauflösung auf die Erkenntnis stützt, dass die nachanregenden maskierten Schwellen zum Pegel der Hörschwelle innerhalb einer Dauer von 200 ms, unabhängig vom Pegel des Maskierers und dem Ausmaß des cochlearen Hörverlustes, zurückkehren.

Da verschiedene Untersuchungen zur Sprachwahrnehmung für Hörbeeinträchtigte von der AI Theorie Gebrauch machen, stützt sich auch die von Ludvigsen vorgestellte Studie auf Methoden für die Berechnung des AI. Die vorgeschlagenen Modelle sind jedoch auch in der Berechnung des STI anwendbar. Die vorgeschlagene Korrektur für die verminderte Zeitauflösung bei cochlear beeinträchtigten Hörern scheint dabei leichter in das STI Verfahren implementierbar zu sein, während die Einbeziehung in das AI Verfahren komplizierter und daher nur für einfache Geräuschsignale ausführbar ist.

Die resultierende Methode sollte gleichermaßen sowohl für Normalhörende als auch für Hörbeeinträchtigte anwendbar sein. Die Entwicklung einer allgemeingültigen Methode für die Sprachverständlichkeitsvorhersage würde nach LUDVIGSEN (1987) bedeutende Anwendungen haben: Es wäre nicht nur eine geeignete Basis für die Entwicklung von Hörgeräten sondern auch eine Voraussetzung, akustische Systeme

für den öffentlichen Gebrauch (z.B. Telefone, öffentliche Adresssysteme usw.) für einen breiten Querschnitt der Bevölkerung zu gestalten, was einen umfangreichen Bereich von Hörfähigkeiten einschließt.

LUDVIGSEN (1987) überprüfte die Vorhersagegenauigkeit seiner beiden nachfolgend beschriebenen unterschiedlichen Methoden zur Berechnung des AI mit subjektiven Sprachverständlichkeitstests an Personen mit normalem Hörvermögen und solchen mit unterschiedlichen Arten und Graden von Hörbeeinträchtigungen. Bei diesen Untersuchungen stützte er sich auf die gleiche Gruppe von 17 Versuchspersonen, die bereits an einer früheren Studie (LUDVIGSEN, 1985) teilnahmen, auf welche die hier vorgestellten Ergebnisse aufbauen. Diese 17 Versuchspersonen (Vpn) waren bezüglich ihrer Höreigenschaften wie folgt gegliedert:

- Gruppe A: 4 Normalhörende mit einer Reintonschwelle bei 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz und 4000 Hz von ≤ 20 dB Hörverlust (HL). Alter: 23 bis 48 Jahre, Mittel 37 Jahre,
- Gruppe B: 4 Vpn mit einem annähernd gleichbleibenden Hörverlust im Bereich von 500 Hz bis 4 kHz von ca. 40 dB HL,
- Gruppe C: 4 Vpn mit einem Hörverlust von ca. 40 dB HL bei 1 kHz, der zu höheren Frequenzen um 20 dB HL/Oktave abfällt,
- Gruppe D: 5 Vpn mit einem annähernd gleichbleibenden Hörverlust im Bereich von 500 Hz bis 4 kHz von ca. 60 dB HL.

Das Alter der Gruppen B bis D lag zwischen 36 bis 68 Jahren und im Mittel bei 56 Jahren.

Sowohl für die subjektiven Sprachverständlichkeitsuntersuchungen als auch in den Modellberechnungen wählte er solche Testsituationen, die verschiedene Aspekte der Sprachverständlichkeit aufklären sollen:

- (1) Sprache in Ruhe im Vergleich zum Sprechpegel
- (2) Sprache in Ruhe im Vergleich zum Sprachspektrum
- (3) Sprache im Geräusch im Vergleich zum Geräuschspektrum
- (4) gefilterte Sprache im Geräusch im Vergleich zum Geräuschspektrum
- (5) Sprache in tiefpassgefiltertem Geräusch im Vergleich zum Geräuschpegel
- (6) Sprache in sprachartigem Geräusch im Vergleich zur Unterbrechungsrate und zum Geräuschpegel

Sowohl die Sprech- als auch die Geräuschpegel in den subjektiven Hörtests wurden als Langzeitschalldruckpegel in dB gemessen. Bei der Messung des Sprechpegels wurden die Sprechpausen zwischen den dargebotenen Wörtern gelöscht und somit nur die Pegelanteile der Sprechphasen, im Sinne des mittleren Langzeitpegels eines durchgängig gesprochenen Textes, integriert.

Die *Berechnung* des AI erfolgte auf zwei unterschiedlichen Wegen. Beide stützten sich auf die Methode mit 20 Frequenzbändern nach ANSI (1969).

In der *Methode 1* wurde im Wesentlichen der in ANSI (1969) empfohlenen Vorgehensweise gefolgt, jedoch mit zwei Ausnahmen (Modifizierungen). Diese Ausnahmen sind in der Studie wie folgt beschrieben:

- (1) Um die individuelle Hörschwelle zu repräsentieren wurden die jeweiligen Schwellenpegel für Geräusche genutzt, welche ein kontinuierliches Spektrum nach ANSI S3.5-1969 hatten, das entsprechend der individuellen Hörschwellenpegel an der Bandmittenfrequenz um diese Differenz angehoben wurde. Diese Pegel gingen in die Berechnung als äquivalente Geräuschbandpegel ein, wo auch immer sie die äquivalenten Bandpegel des externen Maskierungsgeräusches überschritten.
- (2) Wurde fluktuierendes Geräusch als Maskierer genutzt, erfolgte keine Korrektur nach dem Hörschwellenpegel. Der Grund hierfür war, dass diese Korrektur die Genauigkeit der Vorhersage für Hörbeeinträchtigte signifikant senkte und Normalhörende oft einen Sprachverständlichkeitswert von 50% erreichten, wenn sie in Situationen hörten, die ein unterbrochenes Geräusch mit einem kleinen Betriebszyklus und bei Hörpegeln, die einem AI gleich Null entsprachen, enthielten. In solchen Situationen macht die Korrektur keinen Sinn.

In der *Methode 2* wurde die Maskierung durch die Sprache und durch das Geräusch in jedem der 20 Bänder, die denen aus ANSI S3.5-1969 entsprechen, einzeln berechnet. Daraus ergaben sich entsprechend der in der zitierten Quelle beschriebenen Vorgehensweise 2 x 20 Maskierungsspektren, die jedoch quantitativ nicht angegeben sind. Diese 40 Maskierungsspektren wurden logarithmisch addiert. Diese Vorgehensweise lieferte das resultierende Maskierungsspektrum. Innerhalb eines jeden Bandes wurde der Maskierungspegel der Sprache, der auf der Selbstmaskierung

beruht, als Langzeitpegel der Sprache an der Bandmittenfrequenz minus 18 dB (vgl. FRENCH und STEINBERG, 1947) angenommen. Von diesem Pegel und vom Geräuschpegel in dem jeweiligen Band wurden die Spektren des Bereiches der Maskierung berechnet: Die Abwärtsmaskierung (downward spread of masking) ergab sich entsprechend DUGAL et al. (1980), die Aufwärtsmaskierung (upward spread of masking) durch die Berechnung der maskierten Schwelle für Reintöne entsprechend LUDVIGSEN (1985). Der äquivalente Geräuschpegel wurde durch Addition von 10 mal dem Logarithmus des Verhältnisses zwischen der Breite des Bandes an der Frequenz des Maskierers und der Breite des Bandes, welches maskiert wird, berechnet.

In Fällen, wo der Maskierer aus einer Folge von Impulsen bestand, erfolgte die Berechnung des AI als die gewichtete Summe der zwei nachfolgend erläuterten AI's. Der erste AI wurde unter den Voraussetzungen ermittelt, als wenn das Geräusch kontinuierlich wäre und einen Pegel hat, der gleich dem des Geräuschpegels ist. Beim zweiten AI galt, dass das Geräusch kontinuierlich sei, aber in jedem Band einen Pegel hat, der gleich dem des Geräuschpegels abzüglich der Schwellenverschiebung vom kontinuierlichen zum gepulsten Maskierer ist. Diese zwei AI Werte wurden entsprechend dem Betriebszyklus des Maskierers gewichtet. Die gewichtete Summe ergab den gesamt AI Wert.

Der vorausberechnete Wert des AI, und das trifft gleichfalls für alle anderen Vorhersagemodelle zu, repräsentiert noch nicht den tatsächlich zu erwartenden prozentualen Anteil korrekt verstandener Einheiten eines dargebotenen Sprachmaterials. Daher beinhaltet die AI Theorie eine monotone Beziehung zwischen dem AI und der tatsächlichen prozentualen Verständlichkeit. Die exakte Beziehung hängt von den Eigenschaften des Sprachmaterials ab. Durch umfangreiche Regressionsanalysen und Transformationen sowie unter Einbeziehung der Reststreuungen in die damit verbundenen Berechnungen ermittelte LUDVIGSEN (1987) für seine beschriebenen Studien und für das dabei angewandte Sprachmaterial (100 dänische Einsilber, weibliche Sprecherin) folgenden Zusammenhang zwischen der tatsächlichen Sprachverständlichkeit (S) und den Berechnungsergebnissen für den AI mit der *Methode 1* (A') und der *Methode 2* (A''). Die Regressionsgeraden wurden genutzt, um die Darbietungspegel dem Nominalpunktwert anzupassen. Am Beispiel der Sprachverständlichkeit von 50% gibt Ludvigsen folgende AI-Werte an:

- S = 50% folgt nach *Methode 1* einem $A' = 0,311$ und
- S = 50% folgt nach *Methode 2* einem $A'' = 0,274$.

Am Beispiel der Testsituation mit tiefpassgefiltertem Geräusch im Vergleich zum Geräuschpegel (Situation 5) diskutiert LUDVIGSEN (1987) seine Ergebnisse wie folgt: Das 50% Niveau der tatsächlichen Sprachverständlichkeit mit ungefilterter Sprache wurde gegen ein 1 kHz-Tiefpassgeräusch in drei Pegeln abgeschätzt. Die Schalldruckpegel der Geräusche bei 500 Hz betragen 40, 50 und 60 dB.

Für die Normalhörenden wurde ein Anstieg des Sprechpegels von etwa 30 dB benötigt, um einen Pegelanstieg des 1 kHz-Tiefpassgeräusches um 20 dB zu kompensieren. Dies ist aufgrund des pegelabhängigen Anstieges der Aufwärtsmaskierung zu erklären. Jedoch ist für die hörbeeinträchtigten Gruppen der erforderliche Sprechpegel, um das 50% Niveau an Sprachverständlichkeit zu erlangen, weitestgehend proportional zur Höhe des Geräuschpegels. Diese Daten zeigen, dass Normalhörende in der Lage sind, das 50% Niveau bei Sprechpegeln zu erreichen, wo die Sprachkomponenten bei Frequenzen unterhalb von 1 kHz weit unter dem Pegel des Maskierers liegen. Die hörbeeinträchtigten Gruppen erfordern Sprechpegel, wo die Sprachspitzen im Frequenzbereich unter 1 kHz den Pegel des Maskierers überschreiten. Dies ist speziell für die Gruppen mit abfallender Hörleistung bei steigenden Frequenzen (Gruppe C) und annähernd gleichbleibendem Hörverlust von 60 dB im Bereich der Frequenzen zwischen 500 Hz und 4 kHz (Gruppe D) der Fall. Für diese Gruppen ermittelt der Test nicht ausschließlich den Aufwärtsbereich der Maskierung. Die auf *Methode 1* basierende Vorhersage fällt im Allgemeinen höher aus als die nach *Methode 2*. Es zeigt sich aber auch, dass die gehörverlustabhängige Berechnung der Aufwärtsmaskierung, die in *Methode 2* implementiert ist, bei der Verringerung der Vorhersagestreuung zwischen den Gruppen nicht erfolgreich war. Weiterhin stellte sich heraus, dass die AI Vorhersage nach *Methode 1* für die „normale“ Gruppe beim niedrigsten Geräuschpegel relativ hoch war, was mit der Tatsache übereinstimmt, dass ANSI (1969) den Aufwärtsbereich der Maskierung bei solchen moderaten Geräuschpegeln nicht in Betracht zieht.

LUDVIGSEN (1987) resümiert seine Studie mit der nachfolgenden Zusammenfassung und den sich anschließenden aufschlussreichen Schlussfolgerungen:

Die insgesamt 1428 Resultate wurden mit 17 Vpn ermittelt, die in 42 Hörsituationen jeweils auf beiden Ohren getestet wurden. Dabei wurden 770 Sprechpegel dargeboten, die einem in Vorversuchen ermittelten Verständlichkeitswert von 50% entsprechen. Die AI's, die bei diesen Pegeln berechnet wurden, sollten nach Möglichkeit gleich sein. Daher kann die Streuung dieser AI's als ein Maß der Anwendbarkeit der beiden Berechnungsmethoden sein. Ergebnisse, die von zwei Ohren einer Vpn ermittelt wurden, können nicht unabhängig betrachtet werden. Die verbleibende Reststreuung in der *Methode 1* ist signifikant größer. Die Standardabweichungen der Werte des AI, welche dem 50% Sprachverständlichkeitswert entsprechen, betragen 0,121 für die *Methode 1* und 0,095 für die *Methode 2*. Die erste ist signifikant höher als die zweite. Beide sind signifikant höher als die Standardabweichungen der Differenz zwischen den entsprechenden AI Werten im Test. Somit ist die gesamte Vorhersagetauglichkeit mit *Methode 2* im Vergleich zur *Methode 1* besser.

Beim Vergleich der vorhergesagten Sprachverständlichkeitswerte für jede der vier Gruppen in den Situationen mit einem 50% Sprachverständlichkeitswert scheint es, dass die Variation zwischen den Gruppen signifikant von der in Betracht gezogenen Testsituation abhängt. Jedoch zeigte ein einfacher Test mit $p < 0,01$, dass die vorhergesagten Verständlichkeitswerte für die Gruppe C (mit abfallender Hörleistung bei zunehmenden Frequenzen) in beiden Berechnungsverfahren größer sind als für die Gruppe A (normal). Die vorhergesagten Verständlichkeitswerte für die Gruppe B (gleichbleibender Hörverlust von 40 dB in den Frequenzbereichen zwischen 500 Hz und 4 kHz) seien unter Nutzung der *Methode 2* im Allgemeinen kleiner als für die Gruppe A (normal) ($p < 0,01$), wobei keine signifikante Differenz ($p > 0,1$) zwischen den vorhergesagten Verständlichkeitswerten für die Gruppe A (normal) und die Gruppe D (gleichbleibender Hörverlust von 60 dB in den Frequenzbereichen zwischen 500 Hz und 4 kHz) erkennbar sind.

Dieser Befund könnte als eine gruppenabhängige Variation im Fertigungsfaktor (P) interpretiert werden, aber es scheint unwahrscheinlich, dass die Fertigungsfaktoren der Gruppe B die der Gruppe A überschreiten sollten. Jedoch ist der Befund, dass die vorhergesagten Verständlichkeitswerten für die Gruppe C höher sind als für die Gruppe A, übereinstimmend mit dem Befund, dass tieffrequente Sprachspitzen etwas weniger als 12 dB über dem Langzeitpegel liegen, der zur Berechnung für alle Frequenzbänder genutzt wurde. PAVLOVIC und STUDEBAKER (1984) empfehlen, dass aktuelle Spitzenfaktoren benutzt werden. Das Ergebnis, dass Verständlich-

keitswerte, die mit der *Methode 2* für die Gruppe B vorhergesagt wurden, niedriger sind, als es für die Gruppe A (Normalhörende) der Fall war, lässt vermuten, dass die Korrektur für eine übermäßige Aufwärtsmaskierung, wie sie in *Methode 2* enthalten ist, eine Überkompensierung für die Gruppe B (gleichbleibend 40 dB) hervorruft. Diese Hypothese steht in Übereinstimmung mit dem Resultat von KAMM et al. (1985), dass mäßig hörgeschädigte Personen die Hörleistung in Übereinstimmung mit ihrer AI Vorhersage erbrachten, während bei schwerer beeinträchtigten Hörern die tatsächliche Hörleistung schlechter war, als sie mit dem AI Modell vorhergesagt wurde. Da die Varianz bei der Wiederholung des Tests von etwa der selben Größenordnung ist wie die interindividuelle Varianz, bieten die vorliegenden Daten daher keine Möglichkeit, diese Hypothese zu verifizieren.

Aus den vorstehend zusammengefassten Versuchsbedingungen, Ergebnissen und Hypothesen hält LUDVIGSEN (1987) die folgenden Schlussfolgerungen (in sinngemäßer Übersetzung aus der Originalquelle) für berechtigt.

(1) „Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass sich die Vorhersage der Sprachverständlichkeit für normalhörende und hörbeeinträchtigte Personen signifikant verbessert, wenn mehrere hörverlustabhängige Modifikationen eingeführt werden. Insbesondere ist die Korrektur für die verminderte zeitliche Auflösung bei beeinträchtigtem Hören bedeutsam, die anzeigt, dass Normalhörende signifikant mehr Sprachinformationen in den periodischen Pausen eines Störgeräusches erlangen können, als es bei cochlear beeinträchtigten Hörern der Fall ist. Dies mag erklären, warum hörbeeinträchtigte Personen spezielle Schwierigkeiten beim Verstehen von Sprache in Umgebungsgeräuschen erleben.“

(2) „Offensichtlich sind die vorgeschlagenen Erweiterungen zur AI Theorie nicht in allen Details korrekt, aber in einer Anzahl von Hörsituationen verbesserte sich die Vorhersage infolge der Erweiterungen signifikant. Darüber hinaus zeigt die Tatsache, dass einige der hörbeeinträchtigten Gruppen systematisch bessere oder schlechtere Hörleistungen erbrachten als die normalhörende Gruppe, dass ein zusätzlicher Fortschritt, der auf der Information des Audiogramms beruht, ohne Faktoren für die individuellen Fertigungsfaktoren möglich sein sollte.“

(3) „Widersprüchliche Berichte bezüglich der Anwendbarkeit der AI Theorie auf hörbeeinträchtigte Personen können infolge von Unsicherheiten in der praktischen Berechnungsmethode auftreten. Dies sei z.B. bezüglich der Pegelverteilung und des Spektrum des Sprachsignals der Fall.“

(4) „Die Modelle für die Frequenz- und Zeitauflösung wurden speziell abgeleitet, um die Sprachverständlichkeit sowohl für normalhörende als auch für hörbeeinträchtigte Personen vorherzusagen. Die Vorhersagegenauigkeit für normalhörende und hörbeeinträchtigte Personen war annähernd gleich. Daher könnten die Modelle für die Entwicklung elektroakustischer Systeme brauchbar sein, und das besonders dann, wenn diese auch für hörbeeinträchtigte Personen vorgesehen sind.“

4.1.6 Modifizierung des AI (MAI) nach Lazarus und ISO/CD 9921-2:1997

LAZARUS (1990) widmet sich in seinem Aufsatz und den damit verbundenen Untersuchungen neueren Methoden zur Beschreibung und Beurteilung direkter Sprachkommunikation unter verschiedenen Störbedingungen. Obwohl in vielen zurückliegenden Studien mehrerer Autoren bereits Ansätze vorliegen, welche versuchen, die Sprachkommunikation und ihre Störung durch Lärm zu beschreiben (u.a. BERANEK (1947); KRYTER (1962a); LAZARUS (1986b); LAZARUS (1987); LAZARUS et al. (1985)), beziehen sich die Autoren in ihren Arbeiten vorrangig auf

- den Sprecher,
- die Schallübertragung vom Sprecher zum Hörer (z.B. HOUTGAST et al. (1980))
- den Hörer (z.B. KRYTER (1962a, 1962b)).

Die folgenden Faktoren sind dabei noch nicht ausreichend berücksichtigt worden:

- lautes Sprechen und das Verstehen laut gesprochener Sprache (z.B. ROSTOLLAND (1985)),
- Sprachkommunikation unter lärmbelasteten Bedingungen beim Tragen von Gehörschutz,
- Effekte von Hörschäden (z.B. PLOMP et al. (1983); PAVLOVIC (1987)).

LAZARUS (1990) zeigt großes Interesse, diese Faktoren näher zu spezifizieren und sie analytisch zu beschreiben. Ziel war und ist es, sie in einem neuen Standard als praktikableres Modell für eine Berechnungsgrundlage mit höherer Vorhersagewahr-

scheinlichkeit zu empfehlen. Ein sehr interessanter Entwurf des internationalen Standards ISO/CD 9921-2:1997, in dem unter anderem die Sprachkommunikation im Betrieb bei höheren Pegeln bis 95 dB(A), damit verbundenes lautes Sprechen, Tragen von Gehörschutz und Schwerhörigkeit einfließen sollte, scheiterte nicht zuletzt an der nahezu zeitgleichen Erarbeitung des Standards ISO/DIS 9921:2001, der inzwischen auch in der deutschen Fassung als DIN EN ISO 9921:2002 vorliegt, am Erscheinen der ANSI S3.5-1997 zum Sprachverständlichkeitsindex und an umstrittenen Fragen zur Schwerhörigkeit, womit das MAI-Modell nicht gesichert schien.

LAZARUS (1990) unternahm in seiner Arbeit den Versuch, Effekte unterschiedlicher Faktoren auf die direkte Sprachkommunikation zwischen Gesprächspartnern zu quantifizieren. Die Parameter des Artikulationsindex (AI) sind hier auf der Basis von neuen Studien beschrieben, erweitert und modifiziert worden. Wo es erforderlich war, wurde besondere Betonung auf die Auswirkungen lauter Sprache, des Tragens von Gehörschutz und von Gehörschäden gelegt. Von diesen modifizierten Parametern wird eine einfache Prozedur zur ergonomischen Beurteilung und Bewertung von direkter Sprachkommunikation abgeleitet.

Aus der Arbeit von LAZARUS (1990) und den darin vorgestellten Modifizierungen folgt direkt der eigenständige Begriff „modifizierter Artikulationsindex“ (MAI Methode), der auch im Titel des internationalen Standards ISO/CD 9921-2 (1997) enthalten ist.

Der MAI nach ISO/CD 9921-2, dessen Aussagen ebenso wie die anderer Vorhersagemodelle in einem Bereich $0 \leq \text{MAI} \leq 1$ liegen, schließt alle bedeutsamen Parameter sprachlicher Kommunikation ein wie:

- den Schalldruckpegel des Sprachsignals als eine Funktion des Umgebungsgeräuschpegels an der Position des Sprechers,
- die maskierte Schwelle,
- das Umgebungsgeräusch an der Position des Hörers
- den Abfall an Verständlichkeit durch Verzerrung des Sprachsignals bei hohen Sprechpegeln,
- den Sprecher-Hörer-Abstand, der ausgehend von angenommener Schallausbreitung im Freifeld den Pegel des Sprachsignals an der Position des Hörers beeinflusst,

- den Hörverlust des Hörers und schließlich
- das Tragen von Gehörschutz.

Für die Gültigkeit der Berechnungsmethode des MAI werden die folgenden physikalischen und persönlichen Bedingungen vorausgesetzt:

a) Physikalische Bedingungen

- Nachhallzeit kleiner als 2 s bei $f = 500$ Hz,
- die Richtung der Sprachabstrahlung sollte auf den Hörer weisen,
- die Blickrichtung des Hörers ist beliebig,
- das Lesen von den Lippen wird nicht vorausgesetzt und
- elektroakustische Übertragungssysteme sind ausgeschlossen.

b) Persönliche Bedingungen:

- binaurales Hören,
- Hörvermögen,
- Sprecher und Hörer sind mit der (jeweiligen nationalen) Sprache und dem Inhalt der Sprachnachricht vertraut,
- Klarheit der Artikulation (vgl. ISO/TR 4870:1991),
- die Sprachnachricht besteht aus einsilbigen Wörtern, um den ungünstigsten Fall zu repräsentieren (obwohl die Sprachverständlichkeit von einsilbigen Wörtern weitgehend unabhängig von (nationaler) Sprache und Semantik ist, ist dieser Parameter (einsilbige Wörter als ungünstigster Fall) nicht für alle Sprachen anwendbar; zur Beziehung zwischen der Sprachverständlichkeit einsilbiger Wörter und der von Sätzen ist auch auf ISO/TR 4870:1991 verwiesen),
- Abnahme der Sprachverständlichkeit bei hohen Sprachschallpegeln.

Der MAI gilt für gut definierte Parameter. Der auf diese Weise bestimmte Wert des MAI beschreibt die Sprachkommunikation unter oben genannten Bedingungen und liefert einen bestimmten Betrag der Sprachverständlichkeit für ein gegebenes Sprachmaterial. Da die MAI-Methode detaillierte Informationen über Geräusch- und Sprachcharakteristik erfordert, wird sie nicht für Routinezwecke empfohlen.

Das prinzipielle Konzept des MAI, der als ein ergänzter Artikulationsindex betrachtet werden kann, baut auf der Berechnung eines frequenzgewichteten Mittels des Signal-Rausch-Abstandes in den Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen $f_{mOct} = 250$

Hz bis 4000 Hz auf. Solche Signal-Rausch-Abstände sind die Pegeldifferenzen aus dem Sprachpegel an der Position des Hörers und der korrigierten effektiven maskierten Hörschwelle, die durch das maskierende Geräusch, das Hörvermögen des Hörers und die getragenen Gehörschützer bestimmt ist.

Zur Bestimmung der Geräuschparameter sind für die MAI-Methode (im wesentlichen wie beim AII, STI und SII) zwei verschiedene Geräuschmessungen auszuführen.

(1) An der Position des Sprechers ist der A-bewertete Schalldruckpegel des Umgebungsgeräusches $L_{N,A,S}$ zu messen, da dieser die Höhe des Sprechpegels beeinflusst.

(2) An der Stelle des Hörers muss der Oktavband-Schalldruckpegel $L_{N,Oct-i}$ des Umgebungsgeräusches bestimmt werden. Dies erfolgt in den Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz.

Sowohl an der Position des Hörers als auch an der des Sprechers erfolgen die Messungen während Geräuschsituationen, die für die Kommunikationsperiode typisch sind. In Situationen, in denen eine höchst zuverlässige Verständlichkeit gefordert ist (z.B. bei Informationen mit hoher Sicherheitsrelevanz), ist der maximale Schalldruckpegel der Kommunikationsperiode mit der Zeitbewertung „Slow“ zu verwenden.

Bei der Bestimmung der Sprechparameter kann der A-bewertete Sprechpegel in 1 m Entfernung vom Sprecher $L_{S,A, 1m}$ in Abhängigkeit des Umgebungsgeräuschpegels und für die Fälle mit und ohne Gehörschutz näherungsweise mit Hilfe des Bildes 1 aus ISO 9921-1 (1995) ermittelt werden, welches in grafisch abgewandelter Form in Abschnitt 3.5 der hier vorliegenden Arbeit dargestellt ist.

Der A-bewertete Sprechpegel an der Position des Hörers $L_{S,A,L}$ muss direkt gemessen werden. Ist eine direkte Messung nicht möglich, kann dieser aus dem Sprachsignalpegel $L_{S,A, 1m}$ in 1 m Entfernung vom Sprecher unter Berücksichtigung der Entfernung r mit der in der Akustik üblichen Beziehung $L_{S,A,L} = L_{S,A,1m} - 20 \log (r/r_0)$ abgeschätzt werden, wobei r die Entfernung zwischen Sprecher und Hörer und r_0 die Bezugsentfernung von 1 m ist. Der Oktavbandschalldruckpegel des effektiven Sprachsignals an der Position des Hörers kann dann aus dem A-bewerteten Sprechpegel an der Stelle des Hörers $L_{S,A,L}$ unter Nutzung des idealisierten Oktavband-Sprachspektrums G_i ermittelt werden. Dieses ist in Tabelle 1 des Standards vorgegeben. Für alle weiteren Eingangsvariablen, insbesondere für die effektive maskierte Hörschwelle des Hörers und für die abschließende Ermittlung des MAI liefert der

Standard die Berechnungsschritte. Für erforderliche Korrekturfaktoren gibt er die Werte in Tabellen vor. Anhang A des Standards enthält eine anschauliche Beispielrechnung.

Die prinzipielle Vorgehensweise der MAI-Berechnung fasst das Flussdiagramm in Abbildung 4.1 zusammen. Die in Klammern stehenden Ziffernfolgen verweisen auf die erläuternden Abschnitte im Standard.

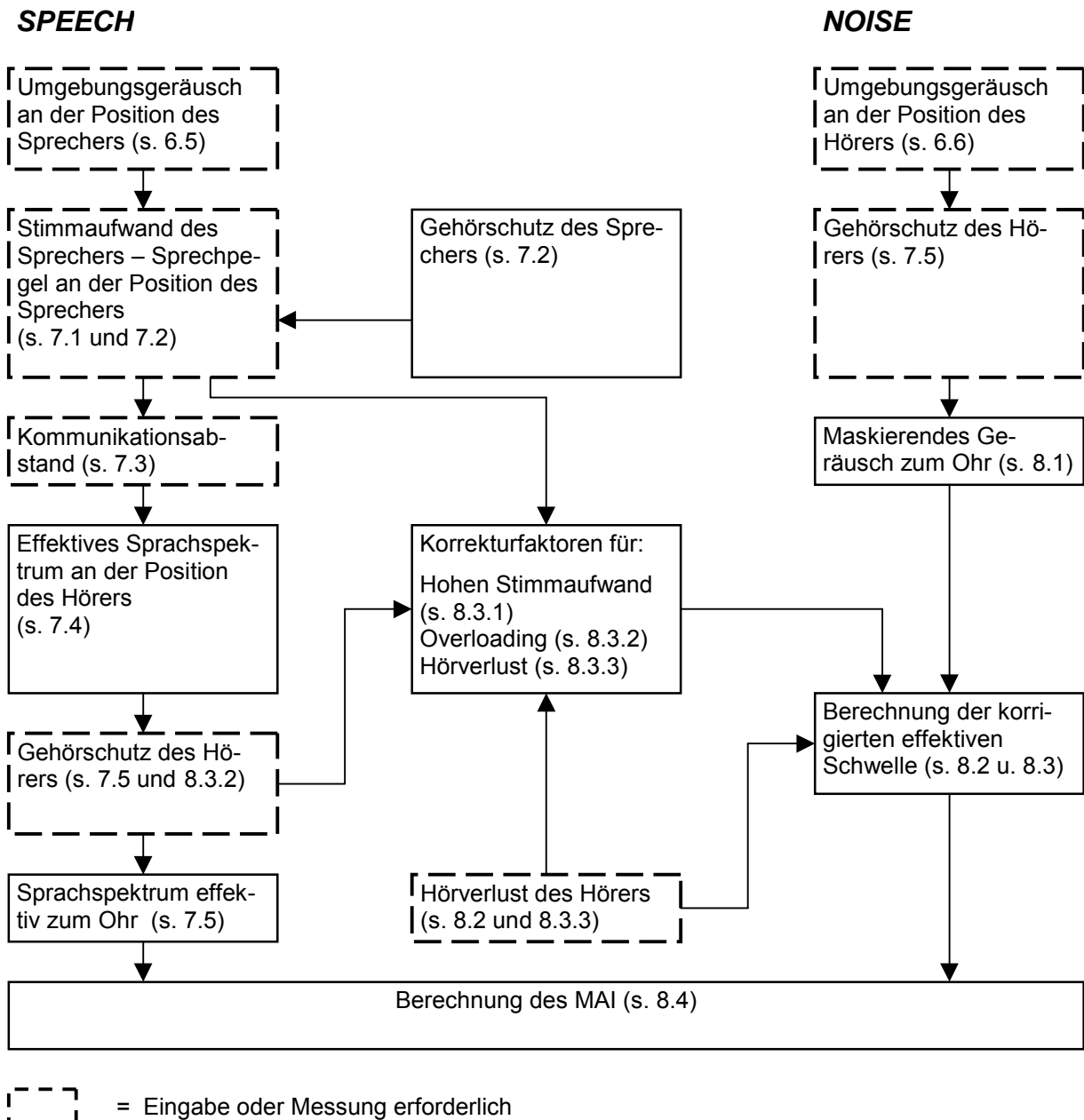


Abb. 4.1: Flussdiagramm zur Berechnung des MAI nach ISO/CD 9921-2 (1997)

4.2 Die Beschreibung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch durch ein SRT-Modell (Speech Reception Threshold) nach Plomp

Aus der Erkenntnis heraus, dass die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch durch den Signal-Rausch-Abstand (Signal-to-Noise-Ratio, SNR) gesteuert wird, stellte PLOMP (1978) ein Modell der Erkennungsschwelle für Sprache (Speech Reception Threshold, SRT) vor. Mit diesem einfachen Modell können Schwellwerte in Ruhe und im Störgeräusch auch für Hörgeschädigte ermittelt werden. Die SRT ist hier definiert als Sprachpegel mit 50% Sprachverständlichkeit bei einem konstanten Störgeräuschpegel.

- Das SRT-Modell enthält zwei Parameter, einen für den Schwellwert in Ruhe und einen für den Schwellwert im Störgeräusch; das Modell setzt einen festen „effektiven“ Signal-Rausch-Abstand am Schwellwert voraus.
- Der effektive Störgeräuschpegel ist zusammengesetzt aus einem internen (für den absoluten Schwellwert verantwortlichen) Rauschen und einem extern applizierten Rauschen.
- Für Normalhörigkeit stimmt dieses Modell hervorragend mit den Ergebnissen von HAWKINS und STEVENS (1950) überein.
- In dem Modell nach Plomp sind ein Verzerrungsfaktor und ein Verstärkungsfaktor enthalten. Für hörgeschädigte Personen nehmen diese Faktoren Werte größer als Null an.
- Für Hörgeschädigte enthält das Modell damit zwei extra Parameter:
 1. Parameter D (Verzerrungsfaktor) beschreibt den Hörverlust für Sprache im Störgeräusch und wird als Störterm interpretiert; es kommt zur Anhebung des Schwellwertes in Ruhe, was als höheres internes Rauschen interpretiert werden kann.
 2. Parameter (A + D) repräsentiert den Hörverlust für Sprache in Ruhe und wird als Summe von Verstärkung A und Störung D interpretiert; beschrieben wird damit die Erhöhung des SNR, welcher zur Erreichung der SRT im Störgeräusch benötigt wird.

Im Allgemeinen ist der zweite Parameter (bezeichnet als Hörverlust für Sprache in Ruhe) mit nur 0 – 10 dB klein. Er hat aber weder eine Entsprechung im alten Artikulationsindex (FRENCH und STEINBERG, 1947) noch in den neueren Versionen (KRYTER (1962a) sowie PAVLOVIC (1984)). Für Hörgeschädigte ist demzufolge in jedem Fall eine höhere Schwelle der Sprachwahrnehmung (SRT) zu erwarten als für Normalhörende.

Das Modell wurde unter anderem von PLOMP (1986) durch zahlreiche Versuche validiert. LEE und HUMES (1993) führen den Effekt der Erhöhung der Schwelle der Sprachwahrnehmung allerdings auf eine Nichthörbarkeit eines Sprachspektruman-teils zurück. Insbesondere bei Audiogrammen, die mit ansteigender Frequenz einen zunehmenden Hörverlust aufzeigen, wird ein Teil des Sprachhörverlustes der Unhörbarkeit der hochfrequenten Sprachkomponenten zugeschrieben. Jedoch haben van DIJKHUIZEN et al. (1989) gezeigt, dass die erhöhten SRT's auch bei überschwellig angebotenen Sprach- und Störgeräuschpegeln auftreten.

Für die Untersuchungen war die Entwicklung eines zuverlässigen Tests erforderlich, mit dem die Schwelle der Sprachwahrnehmung (SRT) in Ruhe und im Störgeräusch für Sätze ermittelt werden kann. An das Sprachmaterial wurden hohe Anforderungen gestellt, da schon kleine Veränderungen des SRT im Störgeräusch von wenigen dB erfasst werden sollen. Diese können z.B. durch Änderungen des Azimuts der Schallquelle oder der Nachhallzeit bzw. durch geringen Hörverlust hervorgerufen werden. Der Test sollte fließende Sprache repräsentieren, kurz genug sein um wiederholt werden zu können und weder zu simpel noch zu schwierig aufgebaut sein.

In PLOMP und MIMPEN (1979b) ist die Vorgehensweise der Testerstellung beschrieben:

- Es wurden 130 Sätze mit etwa gleicher Sprachverständlichkeit ausgewählt, bestehend aus je 8-9 Silben. Wörter mit mehr als 3 Silben wurden vermieden.
- Das Sprachmaterial wurde in 10 Listen mit etwa gleicher Phonemanzahl eingeteilt und von einer weiblichen Sprecherin gesprochen.
- Der Störschall wurde aus dem Langzeitspektrum der 130 Sätze gebildet.

Die Ermittlung der Schwelle der Sprachwahrnehmung erfolgte adaptiv. Dazu wurde der erste Satz der Liste dargeboten und der Pegel solange angehoben, bis der Satz korrekt wiederholt wurde. Danach erfolgte eine Verringerung des Pegels um 2 dB und die Darbietung des zweiten Satzes. Bei einer korrekten Antwort wurde der Pegel um 2 dB abgesenkt, ansonsten um 2 dB angehoben. Das Verfahren wurde für alle Sätze wiederholt. Aus dem mittleren Darbietungspegel für die Sätze 5 bis 14 ergab sich die gesuchte SRT.

Die Schwelle der Sprachwahrnehmung für alle Listen sollte nur gering differieren. Daher erfolgte ein Test unter fünf verschiedenen Bedingungen. Die daraus berechnete Standardabweichung lag bei nur 1,1 dB (mit Kopfhörern 1,6 dB).

Es wurden umfangreiche Sprachtests mit dem entwickelten Material absolviert. Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Der Gewinn durch beidohriges Hören im Störgeräusch betrug 1,4 dB für identisches Rauschen auf beiden Ohren, 2,1 dB für diffuses Rauschen und 3,7 dB für unkorreliertes Rauschen auf beiden Ohren.
- Der Abfall der Verständlichkeitsfunktion im Störgeräusch in Abhängigkeit vom Pegel betrug 15%/dB.
- Sowohl der Median der SRT als auch die Quartile zeigten eine Abhängigkeit vom Alter der Versuchsperson.

Wie bereits beschrieben wurde, ist entsprechend PLOMP (1978) jeder Hörverlust für Sprache (Hearing loss for Speech, SHL) als die Summe von Hörverlusten der Klasse A (Attenuation = Verstärkung) und Hörverlusten der Klasse D (Distortion = Verzerrung) interpretierbar. Hörverluste der Klasse A sind durch eine Verringerung von Sprach- und Störgeräuschpegel charakterisiert. Hörverluste der Klasse D gehen mit einem verringerten Signal-Rausch-Abstand (SNR) einher (PLOMP und MIMPEN (1979a)). Sowohl der SHL_{A+D} (Hörverlust in Ruhe) als auch der SHL_D (Hörverlust bei hohen Störgeräuschpegeln) steigen oberhalb eines Alters von 50 Jahren progressiv an (s. Abbildung 4.1). Dabei weichen die individuellen Hörverluste für Sprache (SHL) soweit voneinander ab, dass Personen mit gleichem Sprachhörverlust, bei der Fähigkeit, Sprache im Störgeräusch zu verstehen, in Ruhe beträchtliche Unterschiede aufweisen.

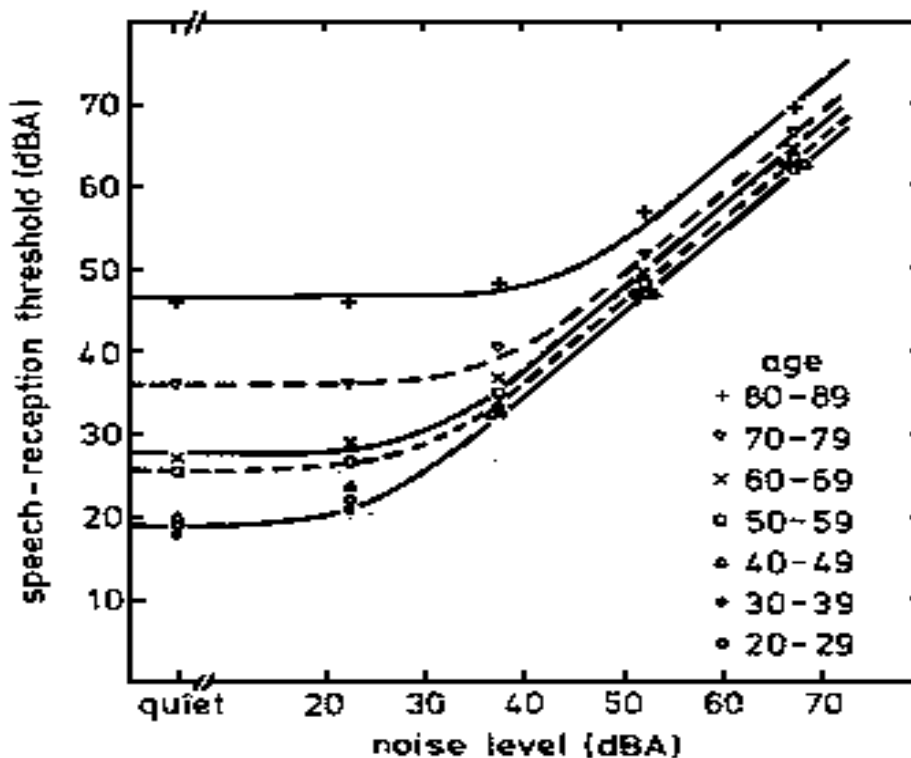


Abb. 4.2: SRT-Mittelwerte für Sätze in Abhängigkeit von Geräuschpegel und Alter nach PLOMP und MIMPEN (1979a)

Die Abhängigkeit des Sprachverstehens vom Störschallpegel ist beschreibbar durch:

$$\text{SRT} = 10 \log \left[10^{(19 \text{ dB} + A + D) / 10 \text{ dB}} + 10^{(L_N + D - 5,4 \text{ dB}) / 10 \text{ dB}} \right] \text{ dB.} \quad (4.7)$$

Im Gegensatz dazu ist der Fletcher-Index für eine Abschätzung der Beeinträchtigung des Sprachverstehens in Ruhe nicht geeignet.

Die Daten der Testreihe bestätigen, dass sich eine Hörbeeinträchtigung bei vielen älteren Personen hauptsächlich in einer störrauschbehafteten Umgebung bemerkbar macht. *Von älteren Menschen genutzte Räume sollten 5 bis 10 dB geringere Störrauschpegel aufweisen als Räume, die Normalhörende nutzen.*

In weiteren Untersuchungen zur SRT wurde von PLOMP und DUQUESNOY (1980) der Einfluss der Nachhallzeit auf das Sprachverstehen beschrieben. Folgende, bis dahin weiterhin angewandte Methoden der Nachhallberücksichtigung bei Normalhörenden sind dabei erwähnt:

- LOCHNER und BURGER (1961): Die Berechnung der Sprachverständlichkeit bei Nachhall erfolgt hier durch eine Splittung der Raumreflexionen in frühe (Nutzsignal = Reflexionen bis 95 ms) und späte (= Maskierungsrauschen) Reflexionen. Daraus ist eine Wortverständlichkeit berechenbar.
- PEUTZ und KLEIN (1973): Der Artikulationsverlust (AL_C) für Konsonanten steigt in Abhängigkeit von der Quellenentfernung l bis $l = 0,2 \cdot (V/T)^{1/2}$, wobei die Entfernung l in m, das Volumen V in m^3 und die Nachhallzeit T in s anzugeben sind. Bei größerer Entfernung ist der AL_C konstant und nur von der Nachhallzeit T abhängig.
- HOUTGAST und STEENEKEN (1973): Es erfolgt eine Berechnung der Modulationsübertragungsfunktion MTF, die aus der Fouriertransformierten der Impulsantwort gebildet wird. Die MTF ist abhängig vom Raumvolumen, der Nachhallzeit, dem Signal-Rausch-Abstand und der Entfernung. Es kann ein Einzahlwert, der Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index, STI), angegeben werden. Das Verfahren ist für eine Quantifizierung des Kombinationseffektes von Rauschen und Nachhall auf die Sprachverständlichkeit sehr geeignet.
- HOUTGAST und STEENEKEN (1973): Es wird ein sinusförmig moduliertes Rauschen eingeführt (Maskierungsrauschen), um die Glättungseigenschaften des Raumes zu beschreiben. Reflexionen und Echos glätten die zeitliche Hüllkurve des Signals. Wie auch bei der MTF kann eine Glättung durch die Modulationstiefe der zeitlichen Hüllkurve in Abhängigkeit von der Modulationsfrequenz beschrieben werden.

Bei PLOMP und DUQUESNOY (1980) kamen fünf unterschiedliche Nachhallvarianten zur Anwendung. Der Störgeräuschpegel (Langzeitsprachspektrum) blieb in allen Fällen konstant. Die Versuchspersonen wurden anhand der maximalen Nachhallzeit, bei der ein korrektes Sprachverstehen noch gegeben war, abschließend in Gruppen eingeteilt. Dabei zeigte sich für jede Untergruppe, dass die SRT in den verschiedenen Nachhall-Schallfeldern auch durch den STI (Speech Transmission Index) beschreibbar ist.

In PLOMP und DUQUESNOY (1980) wird eine Kombination des SRT-Modells nach PLOMP (1978) mit dem STI-Modell nach HOUTGAST und STEENEKEN (1973) vorgestellt, die auch den Nachhalleffekt berücksichtigt. Damit lässt sich das Ausmaß der

Beeinflussung des Verstehens fließender Sprache bei Normalhörenden und Altersschwerhörigen durch eine Kombination von Nachhall und Rauschen erfassen. Die Verständlichkeit von Wörtern in Ruhe nimmt für Normalhörende bis 2 s Nachhallzeit moderat ab (80% bei $T = 1$ s). Bei zusätzlichem Rauschen tritt eine beschleunigte Abnahme auf. Bei Hörgeschädigten ist der Abfall der Wortverständlichkeit ebenfalls größer.

Die Abhängigkeit des Sprachübertragungsindex STI von der Nachhallzeit T bei unterschiedlichen Signal-Rausch-Abständen ist in Abbildung 4.3 dargestellt:

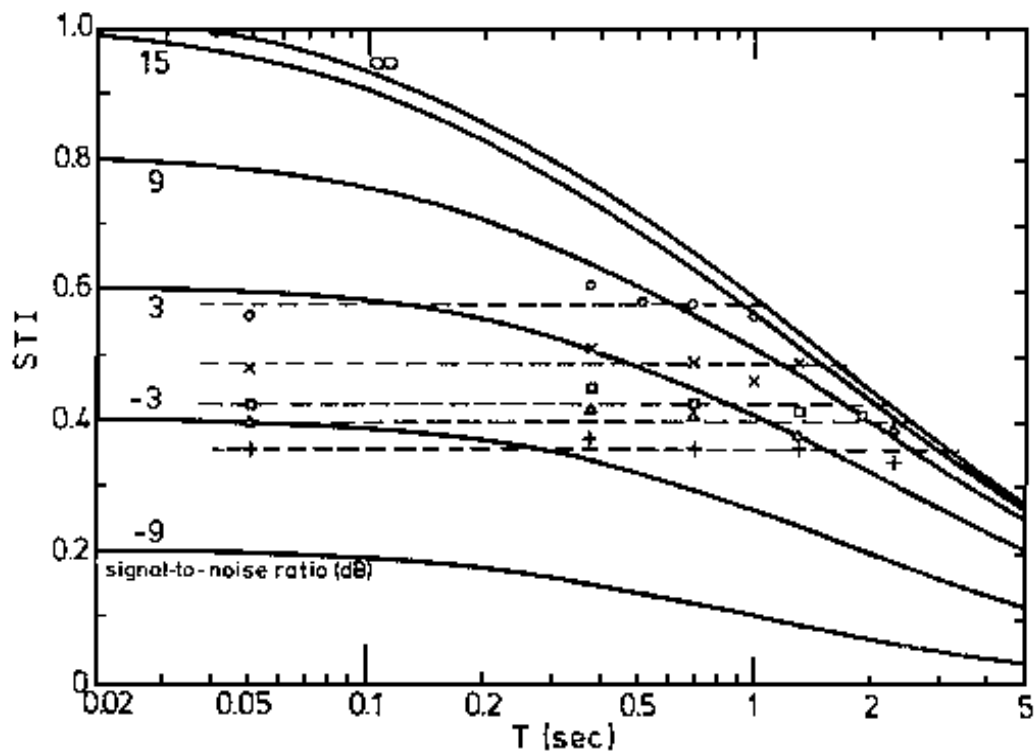


Abb. 4.3: Abhängigkeit des STI von der Nachhallzeit nach PLOMP und DUQUESNOY (1980)

SMOORENBURG, DE LAAT und PLOMP (1982) untersuchten in Fortführung von PLOMP und MIMPEN (1979a, 1979b) ebenfalls die Sprachverständlichkeit Hörgeschädigter und Normalhörender im Störgeräusch und den Zusammenhang mit anderen auditorischen Funktionen. Die gemessenen SRT-Werte zeigt Abbildung 4.4.

Oberhalb eines Störgeräuschpegels von 40 dB(A) ist ein nahezu konstanter Signal-Rausch-Abstand zu verzeichnen. Für Normalhörende betrug bei einem $L_{SN} = -5,5$ dB die SRT in Ruhe $L_0 = 16$ dB(A). Für die Gruppe der Hörgeschädigten lag sie mit einem $L_{SN} = -1,8$ dB bei $L_0 = 22,8$ dB(A).

Daraus lässt sich folgern, dass der mittlere Signal-Rausch-Abstand für das geschädigte Ohr 3,7 dB höher als für das normale Ohr ist, was einer etwa 60% niedrigeren Satzverständlichkeit entspricht.

In PLOMP, DUQUESNOY und SMOORENBURG (1983) wird der Hörverlust für Sprache im Störgeräusch als Funktion des Störgeräuschpegels untersucht. Der Hörverlust für Sprache ist wiederum als die Sprachwahrnehmungsschwelle (SRT) für Sätze (50% Erkennungsrate), relativ zur SRT für Normalhörende, definiert.

Die SRT ist über einen großen Bereich fast ausschließlich durch den Signal-Rausch-Abstand (SNR) bestimmt.

Interpretiert man die absolute Hörschwelle so, als wäre sie durch ein internes Rauschen im Ohr hervorgerufen, kann die SRT wie folgt mit PLOMP (1978) beschrieben werden:

$$SRT = 10 \log [10^{L_0 / 10 \text{ dB}} + 10^{(L_N - \Delta L_{SN}) / 10 \text{ dB}}] \text{ dB(A)} \quad (4.8)$$

mit L_0 ... SRT in dB(A) in Ruhe
 L_N ... Schalldruckpegel des Rauschens in dB(A)
 ΔL_{SN} ... Pegeldifferenz in dB; beschreibt, wie viel dB die SRT bei Störgeräusch unter dem Rauschpegel (L_N) liegt
 (entspricht dem SNR mit umgekehrtem Vorzeichen)

Jeder Hörverlust für Sprache kann entsprechend PLOMP (1978) als eine Kombination von Hörverlusten der Klassen A und D interpretiert werden. Hörverluste der Klasse A sind mit einer Dämpfung aller Schalle, die das Ohr erreichen gleichzusetzen. Hörverluste der Klasse D entsprechen einer Verzerrung dieser Schalle. Sie können ihre Ursache beispielsweise in einer Verschlechterung der Frequenzauflösungsfähigkeit oder einem Hörverlust bei hohen Frequenzen haben und erfordern sowohl in Ruhe als auch bei Störgeräusch einen höheren Signal-Rausch-Abstand.

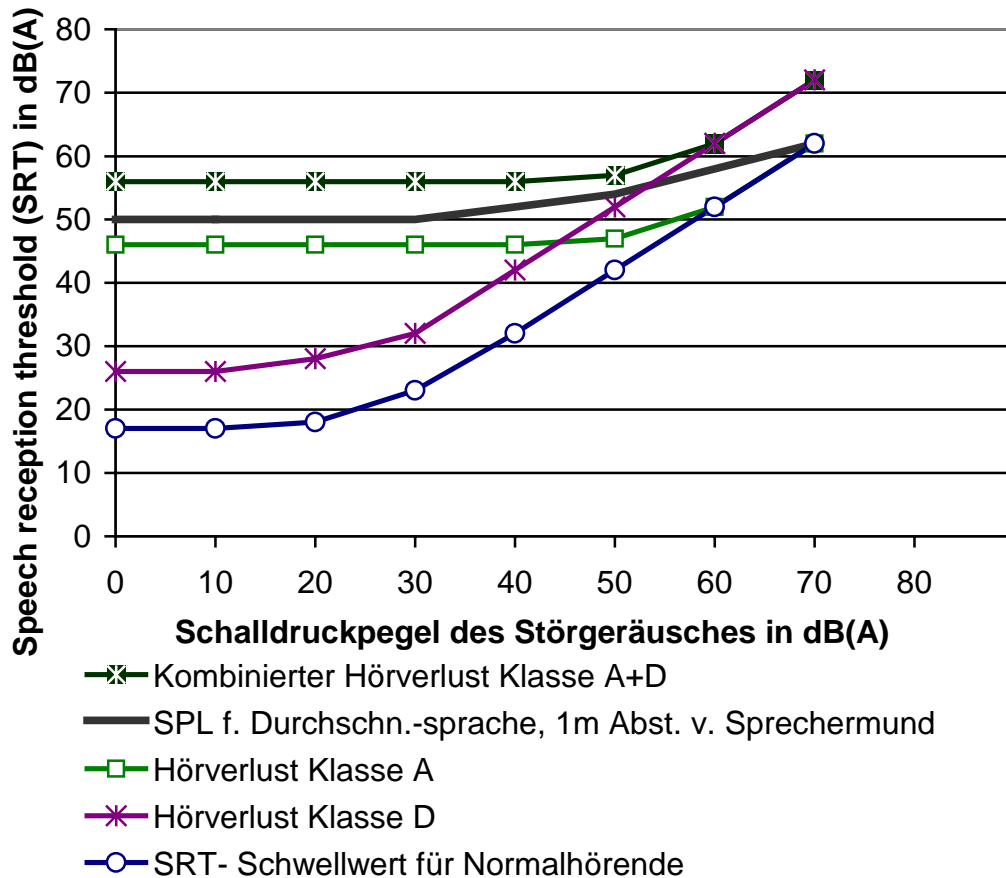


Abb. 4.4: Binauraler Sprachverständlichkeits-Schwellwert (SRT) für Sätze in Abhängigkeit vom Störgeräuschpegel nach PLOMP (1978)

Durch Erweiterung der Gleichung (4.8) erhält man die Beschreibung der Sprachverständlichkeit für eine Kombination beider Hörverlustarten:

$$\text{SRT} = 10 \log \left[10^{(L_0 + A + D) / 10 \text{ dB}} + 10^{(L_N - \Delta L_{SN} + D) / 10 \text{ dB}} \right] \text{ dB(A)} \quad (4.9)$$

Dabei ist A+D der Hörverlust für Sprache in Ruhe in dB(A) und D der Hörverlust für Sprache im Störgeräusch in dB(A). Die formale Unterscheidung zwischen den Hörverlusten der Klasse A und der Klasse D ist nicht zu verwechseln mit der traditionellen Unterscheidung zwischen konduktiven und sensorineuralen Hörverlusten. Für rein konduktive Hörverluste (Schallleitungsschwerhörigkeit) ist $D = 0$, für sensorineurale Hörverluste kann das Verhältnis $D/(A+D)$ beträchtlich variieren. Die Gleichung (4.9) kann jedoch nur als eine Näherung 1. Ordnung betrachtet werden. Von der Voraussetzung, dass D unabhängig vom Störpegel ist, kann beispielsweise bei speziellen (abfallenden) Audiogrammen und bei einem vorliegenden Recruitment nicht

ausgegangen werden. Beim Vergleich der Kurven für die Hörverluste der Klasse A und der Klasse D mit dem durchschnittlichen Schalldruckpegel für fließende Sprache werden die unterschiedlichen Beeinträchtigungen deutlich. Bei der Kurve für $A = 30$ dB ist für niedrige Pegel ein deutlicher Hörverlust zu verzeichnen, ab etwa 55 dB(A) ist jedoch das Hörvermögen nahezu normal. Die Kurve für $D = 10$ dB beschreibt einen geringeren Hörverlust für niedrige Störgeräuschpegel, über 55 dB(A) ist jedoch eine deutliche Beeinträchtigung vorhanden. Ab einem Störpegel von 52 dB(A) wird in diesem Fall fließende Sprache bei normalen Pegeln nicht mehr verstanden werden, für Normalhörende würde diese Grenze bei 68 dB(A) liegen. Hier wird wiederum deutlich, dass außer dem Hörverlust in Ruhe auch der Hörverlust für Sprache bei Störgeräusch eine wichtige Rolle spielt.

In das durch Gleichung (4.9) beschriebene Modell von PLOMP, DUQUESNOY und SMOORENBURG (1983) kann auf einfache Weise auch der Fall eines Hörgeräteträgers integriert werden. Die Verstärkung des Hörgerätes ist dabei von der Dämpfung A zu subtrahieren. Der Verzerrungseffekt, beschrieben durch den Signal-Rausch-Abstand (SNR), ist zu D zu addieren. Da das Hörgerät sowohl das Nutz- als auch das Störsignal verstärkt, verbessert sich der SNR nicht. Für Störpegel über 55 dB(A) bringt es in den meisten Fällen keinen Nutzen.

Der Prozentsatz von korrekt verstandenen Sätzen steigt mit dem SNR rapide um etwa 15 bis 20% pro dB an! Das bedeutet, dass es ein Hörverlust von nur 3 dB für Sprache im Störgeräusch nahezu unmöglich macht, einer Konversation zu folgen, die für Normalhörende vom SNR noch tolerabel ist.

In DRESCHLER und PLOMP (1980) wurde bei hörgeschädigten Jugendlichen der Zusammenhang zwischen psychophysikalischen Testergebnissen und Sprachwahrnehmungsschwellen (SRT's) in Ruhe und im Störgeräusch untersucht. Es zeigte sich, dass die Abhängigkeit der Sprachverständlichkeitsparameter in Ruhe und im Störgeräusch von anderen audiometrischen Parametern sehr unterschiedlich ist. Die Sprachwahrnehmungsschwelle in Ruhe zeigt verhältnismäßig geringe Abhängigkeit von anderen Parametern. Die Sprachwahrnehmungsschwelle im Störgeräusch ist hingegen stark mit dem Abfall des Audiogramms, der Frequenzselektivität und Verzerrungen in der Vokalwahrnehmbarkeit korreliert.

Weitere Untersuchungen zur SRT führte u.a. DUQUESNOY (1983b) durch. Er bestimmte binaurale Schwellwerte für Sätze, die entweder durch Störsprache maskiert waren oder durch Rauschen, das hinsichtlich Spektrum und Pegel der maskierenden Sprache gleich. Eine Testgruppe bestand aus jüngeren Normalhörenden, die andere aus älteren Personen mit Presbykuis. Während bei Normalhörenden die Störsprache nicht maskierend wirkte, trat bei Hörgeschädigten eine Maskierung auf.

Um einen eventuell vorhandenen Alterseffekt näher zu untersuchen, haben FESTEN und PLOMP (1986) Sprachwahrnehmungsschwellen im nichtstationären Störgeräusch auch für junge Hörgeschädigte gemessen. Als Störsignale wurden sowohl sinusförmig intensitätsmoduliertes Rauschen als auch Rückwärtssprache vom selben Sprecher, wie von dem für das Nutzsignal, verwendet. Für eine optimale Modulationsrate von 16 Hz hatten Normalhörende einen Gewinn von 5,5 dB im Signal-Rausch-Abstand, bezogen auf den Schwellwert für konstantes Rauschen; für die Gruppe der Hörgeschädigten betrug der Gewinn nur 1,2 dB. Folglich ist die Nichtmaskierung bei fluktuierendem Störgeräusch nicht nur auf Störsprache beschränkt. Dabei ist der zusätzliche Hörverlust bei Hörgeschädigten für Sprache im fluktuierenden Störgeräusch kein Alterseffekt.

In späteren Untersuchungen beschäftigten sich FESTEN und PLOMP (1990) wiederum mit Sprachwahrnehmungsschwellen für Sätze bei nichtstationärem Hintergrundgeräusch. Es waren sowohl Normalhörende als auch sensorineural Hörgeschädigte einbezogen. Die Störgeräusche hatten einen Pegel von 80 dB(A) und bestanden aus stationärem Rauschen, moduliertem Rauschen sowie Einzelstimmen. Für beide Sprecherstimmen (weiblich und männlich) wurde die SRT mit einem Rauschspektrum ermittelt, das einmal auf das weibliche und zum anderen auf das männliche Stimmspektrum begrenzt wurde.

Die Ergebnisse für Normalhörende zeigen, dass die ermittelte Sprachverständlichkeit in dieser Testgruppe durch stationäres Rauschen mehr beeinträchtigt wird als durch verdeckende Sprache. Die Sprachwahrnehmungsschwelle für Sätze in moduliertem Rauschen ist um 4 bis 6 dB niedriger als in stationärem Rauschen und um 6 bis 8 dB niedriger als für Sätze mit Sprechermaskierung.

Für sensorineural Hörgeschädigte ist verdeckende Sprache nahezu ebenso störend wie monotone Störsignale. Die Sprachwahrnehmungsschwellen liegen bei höheren Werten, es zeigt sich aber keine deutliche Abhängigkeit von der Maskiereränderung.

Des Weiteren sind folgende Effekte zu beobachten:

- Die Differenz der SRT zwischen Normalhörenden und Hörgeschädigten ist bei fluktuierendem Störgeräusch größer.
- Der größte Verdeckungseffekt wird bei rückwärts abgespieltem Sprachsignal erreicht (durch die Gleichartigkeit von Signal und Maskierer).
- Für Normalhörende ist die weibliche Stimme als Störsignal bei männlichem Sprachsignal störender als umgekehrt.
- Für Hörgeschädigte wirken beide Stimmen gleich maskierend, da Spektralkomponenten zwischen 3 und 6 kHz bei weiblicher Stimme zwar 10 dB lauter sind, dieser Effekt aber durch den Hochtonhörverlust kompensiert wird.
- Für Normalhörende hängt die SRT für Sätze im Störgeräusch von der zeitlichen Maskiererstruktur ab:
 - für Maskierer, die eine Hüllkurve wie Sprache aufweisen, liegen die Schwellwerte um 4 bis 6 dB niedriger als bei kontinuierlichem Rauschen,
 - für eine einzelne Störstimme sind diese sogar um 6 bis 8 dB niedriger.
- Für Hörgeschädigte mit mittlerem sensorineuralem Hörverlust treten erhöhte Sprachwahrnehmungsschwellen im Störgeräusch ohne erkennbaren Effekt durch Maskiererfluktuation oder Alter auf.
- Die Differenzen der Sprachwahrnehmungsschwelle zwischen Normalhörenden und Hörgeschädigten steigen von 4 dB (bei konstantem Störgeräusch) auf 10 dB (bei einzelner Störstimme).

Der Artikulationsindex (AI) ergibt für Hörgeschädigte bei konstantem Störgeräusch zu niedrige Werte; Hörgeschädigte benötigen einen signifikant höheren AI beim Schwellwert als Normalhörende.

Der Sprach-Übertragungsindex (STI) ergibt für fluktuierende Störgeräusche unzuverlässige Werte. Die Berechnung nur aus der Modulationstiefe ist für das Problem nicht angepasst, da keine Beziehung zwischen Signal- und Störgeräuschmodulation hergestellt wird.

Ein neuerer Algorithmus (LUDVIGSEN et al. 1990) basiert auf einer Korrelation der Intensitätsänderungen zwischen Sprache und gestörter Sprache. Damit wird eine gute Näherung an Daten von Normalhörenden erreicht.

4.3 Der Sprachübertragungsindex STI

Ausgehend vom Konzept des Artikulationsindex (AI) entwickelten STEENEKEN und HOUTGAST (1980) den Sprachübertragungsindex. Da beim AI Störungen im Zeitbereich nur über Korrekturfaktoren berücksichtigt werden können, wurde nach einer Möglichkeit gesucht, die solche Störungen direkt im Berechnungsverfahren bewertet.

Fließende Sprache weist typische Fluktuationen mit einem Maximum bei einer Modulationsfrequenz $f_{\text{mod}} \approx 4$ Hz auf (ZWICKER und FASTL, 1999). Diese für Sprache typischen Hüllkurvenmodulationen tragen entscheidend zur Sprachverständlichkeit bei (LUDVIGSEN, 1993) und wurden somit Ausgangspunkt für eine Modifikation der Sprachverständlichkeitsschätzung.

Zur Berechnung des STI wird das zu bewertende System als Black-Box betrachtet und ein definiertes Testsignal, z.B. ein moduliertes Rauschsignal, am Eingang eingespeist. Der am Ausgang gemessene verminderte Modulationsgrad des Testsignals wird zur Ermittlung des STI verwendet.

Im Folgenden sind die von STEENEKEN und HOUTGAST (1980) angegebenen Berechnungsschritte wiedergegeben. Zuerst wird in jedem der sieben Oktavbänder ($f_{\text{mOct}} = 125 \dots 8000$ Hz mit den Indizes $k = 1 \dots 7$) der Modulationsindex m_k anhand des Verhältnisses der mittleren Intensitäten des Testsignals \bar{I}_{Test} und des Störgeräuschs \bar{I}_{SG} bestimmt, wobei gilt:

$$m_k = \bar{I}_{\text{Test}} / (\bar{I}_{\text{Test}} + \bar{I}_{\text{SG}}). \quad (4.10)$$

Weiterhin berücksichtigen Steeneken und Houtgast die Maskierung durch das angrenzende niedrigere Oktavband $k - 1$, indem der im Oktavband k auftretende maskierende Intensitätsanteil $I_{\text{AM},k}$ ermittelt wird:

$$I_{AM,k} = \bar{I}_{(k-1)} * AMF. \quad (4.11)$$

Dazu wird ein Dämpfungsfaktor eingeführt, welcher die Maskierwirkung vom Oktavband $k - 1$ zum nachfolgenden höheren Oktavband k beschreibt. Steeneken und Houtgast bezeichnen diesen Faktor als "auditory masking attenuation factor" AMF . Für diesen, durch FRENCH und STEINBERG (1947) experimentell ermittelten Faktor geben sie einen Wert von $AMF = 0,0003$ an. Somit errechnet sich aus der Intensität des Maskierers und der mittleren Intensität im Oktavband k der auditive Korrekturfaktor ACF_k zu

$$ACF_k = \bar{I}_k / (\bar{I}_k + I_{AM,k}), \quad (4.12)$$

womit sich der korrigierte Modulationsindex zu

$$m'_k = ACF_k - m_k \quad (4.13)$$

ergibt. Anhand des korrigierten Modulationsindex $0 \leq m'_k \leq 1$ wird der Signal-Rausch-Abstand zu

$$SNR_k = 10 \lg [m'_k / (1 - m'_k)] \text{ dB} \quad (4.14)$$

bestimmt. Aus dem SNR_k wird der Übertragungsindex im jeweiligen Oktavband TI_k ermittelt. Dabei wird analog zum AI nur ein Dynamikbereich von 30 dB betrachtet und die Grenze, bei der der Übertragungsindex den Wert $TI_k = 0$ erreicht, auf $S = -15 \text{ dB}$ festgelegt. Damit ergibt sich der Übertragungsindex in einem Oktavband k zu

$$TI_k = \frac{SNR_k + 15 \text{ dB}}{30 \text{ dB}}, \quad 0 \leq TI_k \leq 1. \quad (4.15)$$

Aus den Übertragungsindexwerten aller sieben Oktavbänder kann abschließend der Sprachübertragungsindex als gewichteter Mittelwert berechnet werden:

$$STI = \sum_{k=1}^7 (W_k \cdot TI_k) \cdot 100\% . \quad (4.16)$$

Der Gewichtungsfaktor W_k beschreibt den Beitrag der einzelnen Oktavbänder zur Sprachverständlichkeit und damit zum STI. Durch eine Gleichung 3. Grades kann die Beziehung zwischen der Sprachverständlichkeit und dem STI beschrieben werden, wobei ebenfalls eine Anpassung anhand der Gewichtungsfaktoren W_k möglich ist.

LUDVIGSEN (1993) gibt eine modifizierte Berechnungsmethode für den STI an. Dabei wird der Korrelationskoeffizient zwischen Testsignal am Eingang und Summensignal am Ausgang bestimmt. Dies verhindert, dass Fluktuationen im Störgeräusch zu einem zu hohen STI-Wert führen.

Als Testsignal wurde ursprünglich ein aus sieben, auf 2/3 Oktavbandbreite begrenzten Rauschsignalen zusammengesetztes Signal verwendet, welches gepulst oder mit einer Kosinusfunktion intensitätsmoduliert wurde (STEENEKEN und HOUTGAST, 1980). Anstelle eines Rauschsignals ist es ebenfalls möglich, Sprache als Testsignal zu verwenden (LUDVIGSEN, 1993; PAYTON und BRAIDA, 1999).

Eine einfache Modifizierung des STI, bezeichnet als modifizierter Sprachübertragungsindex (mSTI), wurde von HUMES et al. (1986) vorgestellt und von HUMES et al. (1987) erneut diskutiert. Es wurde davon ausgegangen, dass der mSTI eine recht genaue Beschreibung der Erkennung von Sprache unter Bedingungen zeitlicher und spektraler Störungen (Nachhall und Filterung) liefern könnte und damit bessere Daten liefert, als der unmodifizierte STI. Jedoch sei es notwendig, vor der Nutzung des Berechnungsverfahrens für den mSTI mehrere Prämissen zu setzen. Diese sind u.a. folgende:

- Der Hörer befindet sich nicht in einem Freifeld oder in einem Direktfeld einer nicht reflexionsfreien Umgebung.
- Die Signalquelle (Lautsprecher) besitzt eine Richtcharakteristik, die mit der eines typisch menschlichen Sprechers vergleichbar ist.
- Das Störgeräusch besitzt eine ähnliche Richtcharakteristik und entspringt derselben Stelle im Schallfeld wie das Nutzsignal.
- Weiterhin ist zu unterstellen, dass die Person monaural hört.

Dem mSTI mangelt es nach HUMES et al. (1987) letztlich, die Wirkungen des Raumvolumens und den Sprecher-Hörer-Abstand auf die Spracherkennung in Betracht zu ziehen. Er macht daher nur von einigen wenigen, der vielen relevanten Va-

riablen Gebrauch, welche die Spracherkennungsleistung in einem Schallfeld beeinflussen, dem Signal-Rausch-Abstand (SNR) und der Nachhallzeit (T). Selbst zur Beurteilung der Sprachwahrnehmung Normalhörender erscheint das Wissen von lediglich dem Signal-Rausch-Abstand und der Nachhallzeit unzureichend, um eine genaue Beschreibung der Spracherkennungsleistung zu liefern.

HOUTGAST, STEENEKEN und PLOMP (1980) beschrieben ein Berechnungsschema für den STI, welches viele der zusätzlichen wichtigen Variablen einbezieht und das HUMES et al. (1987) als STI_x bezeichnen. Die derzeit einzige verfügbare Version dieses Schallfeld-Kalkulationsschemas war nicht frequenzspezifisch. Es wurde angenommen, dass die relevanten Variablen nicht mit der Frequenz variieren. Obwohl dies eine bedeutende Einschränkung der STI_x Berechnung ist, sind die Bedingungen, die diesen Anforderungen entsprechen, für normalhörende Personen in vielen alltäglichen Hörsituationen angenähert. Wenn STI_x Berechnungen für hörbeeinträchtigte Hörer oder für normalhörende Personen unter weniger typischen Situationen, also in einem breiteren Bereich von Schallfeldbedingungen zu machen sind, dann wird eine frequenzspezifische Modifikation des STI_x , (analog dem mSTI ein $mSTI_x$), benötigt.

4.4 Der Modulations-Transfer-Index MTI

Der MTI als ein Berechnungsschema zur Vorhersage der Qualität von Signalübertragungen und der gleichfalls in die Berechnung des STI einfließt, wird u.a. von KOCH (1993) wie folgt charakterisiert:

„Der MTI erfüllt weitestgehend die Forderungen bzgl. der Bewertung von Sprachübertragung. Dies bezieht sich u.a. auf Fälle, wo nichtlineare Verzerrungsprodukte auftreten, die nicht isoliert vom Eingangssignal messbar sind und wo zeitlich und spektral stark fluktuierende Störgeräusche auftreten, deren Verdeckungseffekte berücksichtigt werden sollten.“

KOCH (1993) sieht im MTI folgende Vor- und Nachteile gegenüber anderen Berechnungsverfahren:

Vorteile des MTI sind, dass er

- mit natürlicher Sprache arbeitet,
- spektrale und zeitliche Verdeckungseffekte berücksichtigt,
- die Feinstruktur der Sprache und des Störgeräusches berücksichtigt,
- geeignet ist, die Verständlichkeit zu beurteilen, die durch nichtlineare Übertragungsstrecken übertragen wurde,
- als Zwischenergebnis eine Frequenz- / Zeitdarstellung der Sprachverständlichkeit liefert.

Demgegenüber stehen die folgenden Nachteile des MTI:

- Der MTI fordert einen relativ *hohen Rechenaufwand*.
- Er benötigt das *ungestörte Nutzsignal* und das *übertragene, gestörte Signal* in der Form, dass eine Korrelation berechnet werden kann. Sie müssen denselben zeitlichen Ausschnitt beinhalten und mit derselben Abtastrate vorliegen.
- Die Berücksichtigung der Feinstruktur von Nutz- und Störgeräusch kann zu großen Schwankungen der MTI-Werte für unterschiedliche Signalausschnitte führen.

4.5 Der Sprach-Interferenz-Pegel SIL nach DIN EN ISO 9921 (2002) und der Signal-Rausch-Abstand SNR (Signal to Noise Ratio)

„Die Bestimmung des Sprach-Interferenz-Pegels bietet ein einfaches Verfahren zur Vorhersage oder Bewertung der Sprachverständlichkeit in Fällen direkter Kommunikation in einer lärmgefüllten Umgebung an (BERANEK, 1947 und LAZARUS 1990). Hier werden ein einfacher Durchschnittswert des Störspektrums (ohne Beitrag der Frequenzabhängigkeit), der Stimmaufwand des Sprechers und der Abstand zwischen Sprecher und Hörer berücksichtigt. Das Verfahren sollte nur in solchen Fällen angewendet werden, wo andere Bewertungs- und Vorhersageverfahren für die Sprachverständlichkeit nicht einsetzbar sind“ (DIN EN ISO 9921, 2002).

Der SIL wird in den Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen $f_m = 500 \text{ Hz}$, 1000 Hz , 2000 Hz und 4000 Hz berechnet. Hierzu wird in diesen Oktavbändern der Sprach-

Interferenz-Pegel L_{SIL} des Störgeräusches als Mittelwert der Schalldruckpegel der Störgeräusche und der Pegel des Sprachsignals $L_{S,A,L}$ (Stimmaufwand des Sprechers) bestimmt. Die Sprachsignalpegel variieren dabei in Abhängigkeit des Störgeräuschpegels (Lombard-Effekt), der Auswirkungen lauten Sprechens (Verzerrungen des Sprachsignals), der Verwendung von Gehörschutz (Minderung des Sprechpegels), des Sprecher-Hörer-Abstandes (Anpassung des Sprechpegels) sowie der Verwendung einer Fremdsprache und werden dementsprechend bei der Berechnung berücksichtigt. Der Stimmaufwand wird durch den äquivalenten A-bewerteten Dauerschalldruckpegel der Sprache in einer Entfernung von 1 m vom Mund des Sprechers beschrieben und ist für verschiedene Sprechweisen in Tabelle D.1 des Standards angegeben.

Der SIL ist die Differenz aus $L_{S,A,L}$ minus L_{SIL} , die beide am Ort des Hörers bestimmt werden. Eine angemessene Verständlichkeit der Sprachkommunikation wird sichergestellt, wenn diese Differenz ≥ 10 dB beträgt.

Eine grobe Einstufung der Verständlichkeit nach fünf Kategorien in Abhängigkeit der SIL-Werte, sowie auch der STI- und der SII-Werte gibt Anhang A.4 des Standards. Für das Ziel, die Sprachverständlichkeit auch für Fälle von unterschiedlichen Gehörbeeinträchtigungen bewerten zu können, bleibt die Frage offen, ob die hier verwendete Vorgehensweise und die Ermittlung des Signal-Rausch-Abstandes nur in Oktavbändern sensibel genug ist und den gestellten Ansprüchen genügt.

Der Signal-Rausch-Abstand (Signal-to-Noise-Ratio) SNR ist ein ausschlaggebender Faktor für die Sprachverständlichkeit und liegt allen Vorhersageverfahren zur Sprachverständlichkeit zugrunde. Dieses Verhältnis allein ist jedoch wenig aussagefähig, wenn eine befriedigende Vorhersagequalität für eine Vielfalt von Ausbreitungsbedingungen und psychophysischer Eigenschaften der Hörer und Sprecher erreicht werden sollen. Selbst der A-bewertete Signal-Rausch-Abstand L_{SNA} unter Einbeziehung eines Korrekturfaktors K_{S2} , der die verminderte Sprachverständlichkeit bei lautem Sprechen (LAZARUS, 1990) einbezieht, wird diesen Anforderungen nicht ausreichend gerecht.

4.6 Der Sprachverständlichkeitsindex SII

Der Sprachverständlichkeitsindex SII nach ANSI S3.5-1997 ist ein physikalisches Maß, das hoch mit der Verständlichkeit von Sprache unter einer Vielfalt ungünstiger Hörbedingungen, wie z.B. Störgeräusch, Filterung und Nachhall, korreliert. Es ist möglich, verschiedene Messorte (z. B. Freifeld für Bauakustik oder Mittelohr für Telephonie) einzubinden. Das Verfahren beruht auf neuen Daten, die seit der Veröffentlichung des amerikanischen nationalen Standards zum Artikulationsindex (ANSI S3.5-1969) für die in der Berechnung genutzten verschiedenen Parameter und Vorgehensweisen erforscht worden bzw. bekannt geworden sind. Diese schließen den Umfang der Maskierung, den spektralen Standard-Sprachpegel und die relative Bedeutung verschiedener Frequenzen für die Sprachverständlichkeit ein.

Die Vorhersagen nach diesem Standard gelten für Hörbedingungen, unter denen die Eingangsvariablen des SII – Modells exakt beurteilt werden können. Die Eingangsvariablen beinhalten den äquivalenten spektralen Sprachpegel, den äquivalenten spektralen Störgeräuschpegel und den äquivalenten spektralen Hörschwellenpegel. Der Vorsatz „äquivalent“ bedeutet in diesem Zusammenhang bei den spektralen Sprach- und Störgeräuschpegeln, dass es sich um die Werte am Punkt der Mitte des Kopfes der Hörer (in Abwesenheit der Hörer) und beim Hörschwellenpegel um das arithmetische Mittel der Reintonschwellenpegel über eine Gruppe der Ohren der Hörer, für welche die SII Berechnungen durchgeführt werden, handelt.

Standardwerte als Eingangsvariablen, wie die Bandbedeutung, der spektrale Standardsprachpegel für unterschiedliche Sprechweisen, der interne spektrale Referenzgeräuschpegel und die spektrale Übertragungsfunktion vom Freifeld zum Trommelfell liefern für das SII Verfahren mit 21 Bändern, das SII Verfahren mit 17 gleichverteilten Bändern und die SII Verfahren in Terz- und Oktavbandbreite die Tabellen 1 bis 4 des Standards. Am Beispiel des Terzband SII Verfahrens sind die entsprechenden Werte in Tabelle 4.1 am Ende dieses Abschnittes wiedergegeben. Der Standardsprachpegel für vier verschiedene typische Sprechweisen ist im Anschluss an die Tabelle 4.2 grafisch in Abbildung 4.3 veranschaulicht.

Mess- und Berechnungsverfahren zur genauen Bestimmung der Eingangsvariablen, mit denen der SII für eine Vielzahl in der Praxis anzutreffender Bedingungen, wie externe Störgeräuschmaskierung, widerhallende Sprache, einohriges Hören und einige Bedingungen beidohrigen Hörens, zu berechnen ist, gibt Abschnitt 5 des Standards. Beispieltberechnungen mit Arbeitsblättern liefert der Anhang C des Standards.

Die Vorhersagen, die auf der Grundlage dieses Standards getroffen wurden, sind nur im Mittel korrekt, d. h. über eine Gruppe von Sprechern und eine Gruppe von Hörern beider Geschlechter. Der Geltungsbereich des Standards ist beschränkt auf natürliche Sprache, auf normalhörende (ohrgesunde) Hörer und auf Kommunikationsbedingungen, welche keine mehrfachen, scharf gefilterten Bänder der Sprache oder scharf gefilterten Störgeräusche beinhalten. Darüber hinaus sollten die Hörer keine linguistischen oder sonstigen Erkennungsmängel bezüglich der benutzten Sprache aufweisen.

Eine Erweiterung der SII – Berechnungsmethode für Personen mit Hörverlust ist im Anhang A des Standards beschrieben. Obwohl der äquivalente Hörschwellenpegel eine der Eingangsvariablen des SII Protokolls ist, wird der Geltungsbereich des SII Standards auf otologisch normale Hörer begrenzt. Der Grund dafür ist, dass einige Hörpathologien Effekte auf die Sprachverständlichkeit haben können, die über die auf der Grundlage des Hörschwellenpegels allein vorhergesagten hinausgehen. Verschiedene Verfahren sind für die Korrektur des SII Protokolls vorgeschlagen worden, um solche Supraschwellendefizite einzuschließen (Anhang A von ANSI S3.5-1997). Weil die Existenz von überschwelligen Defiziten nicht genügend dokumentiert worden ist, bietet jedoch dieser Anhang eine Methode zur Berechnung des SII, *die nur den Effekt eines höheren Hörschwellenpegels einbezieht*.

Der SII, der nach diesem Anhang berechnet wurde, repräsentiert die mittlere Leistungscharakteristik einer Gruppe von Personen mit demselben Audiogramm und *keinen Supraschwellendefiziten*.

Der berechnete SII ist zu keinem entsprechenden Wert der Sprachverständlichkeit gleichzusetzen. Er kann als ein Verhältnis der gesamten Anzahl der Sprachstichwörter, die beim Hörer verfügbar sind, interpretiert werden. Der maximale Wert des

SII (1,0) besagt, dass alle Sprachstichwörter den Hörer erreichen, während sein Minimum (0,0) bedeutet, dass keine Wörter vom Hörer verstanden werden. Ein SII Wert von 0,5 würde gleichermaßen die Verständlichkeit der Hälfte der dargebotenen Sprachstichwörter nahe legen.

Der Wert der Sprachverständlichkeit ist eine monoton steigende Funktion des SII. Die exakte Form dieser Funktion (Übertragungsfunktion) hängt, wie auch beim AI und STI, von der Natur der Nachricht, welche übertragen wird (z. B. von ihrer Syntaktik, Semantik, Linguistik und ihren Kontextzwängen), sowie von den Fertigkeiten der Sprecher und Hörer (beeinflusst z.B. von Sprachgewandtheit, verfügbarem Wortschatz, Lebensalter usw.) ab. Die Übertragungsfunktion sollte vom Nutzer des Berechnungsverfahrens selbst entwickelt werden.

Dies erfolgt in Abhängigkeit

- vom Typ des Sprachmaterials, dessen Verständlichkeit vorausbestimmt werden soll, und
- von den eingesetzten Hörern und Sprechern mit deren Kompetenz (also deren Fertigkeiten, ein bestimmtes Sprachmaterial zu sprechen und zu verstehen, d.h., fachlich damit vertraut zu sein), welche als Stichprobe jene Population bilden, die mit dem Verfahren bewertet wird.

Darüber hinaus sollte der SII für eine höhere Vorhersagegenauigkeit unter Anwendung der Bedeutungsfunktionscharakteristik und des Inhaltes des aktuell genutzten Sprachmaterials berechnet werden. Anhang B 2 des Standards liefert Bedeutungsfunktionen verschiedener Typen von Sprachmaterial, die hier in Tabelle 4.2 wiedergegeben sind.

Visuelle Signale (s. Anhang B 1 von ANSI S3.5-1997) vom Beobachten der Lippen oder des Gesichtes des Sprechers tragen zur Verständlichkeit der Sprache bei. Daher können Übertragungs- und Bedeutungsfunktionen, die für rein auditive Sprache entwickelt wurden, nicht benutzt werden. Für jede spezifische audiovisuelle Kommunikationssituation muss eine angemessene Übertragungs- und Bedeutungsfunktion entwickelt werden. Eine alternative, für verbundene Sprache geeignete Lösung ist es, die Übertragungs- und Bedeutungsfunktion für rein auditive Sprache zu nutzen, den Wert aber vorherzusagen, der auf dem audiovisuellen SII basiert.

Im Allgemeinen ist der Vorteil, der durch visuelle Signale geboten wird, umso geringer, je größer der Grad der Redundanz zwischen den visuellen und den auditiven Bedingungen ist.

Tab. 4.1: Terzband SII Verfahren: Bandbedeutungsfunktion (relative Bedeutung eines Bandes i für die Sprachverständlichkeit) und Standardsprachspektren in 1 m Abstand vom Mund des Sprechers (Mittel über eine große Gruppe von männlichen und weiblichen Sprechern). (Auszug aus ANSI S3.5-1997, Tabelle 3)

Frequenzband			Spektraler Standardsprachpegel für die angegebene Sprechweise in dB			
Band Nr.	Nominale Bandmittenfrequenz Hz	Bandbedeutung	<i>Normal</i>	<i>Gehoben</i>	<i>Laut</i>	<i>Schreien</i>
1	160	0,0083	32,41	33,81	35,29	30,77
2	200	0,0095	34,48	33,92	37,76	36,65
3	250	0,0150	34,75	38,98	41,55	42,50
4	315	0,0289	33,98	38,57	43,78	46,51
5	400	0,0440	34,59	39,11	43,30	47,40
6	500	0,0578	34,27	40,15	44,85	49,24
7	630	0,0653	32,06	38,78	45,55	51,21
8	800	0,0711	28,30	36,37	44,05	51,44
9	1000	0,0818	25,01	33,86	42,16	51,31
10	1250	0,0844	23,00	31,89	40,53	49,63
11	1600	0,0882	20,15	28,58	37,70	47,65
12	2000	0,0898	17,32	25,32	34,39	44,32
13	2500	0,0868	13,18	22,35	30,98	40,80
14	3150	0,0844	11,55	20,15	28,21	38,13
15	4000	0,0771	9,33	16,78	25,41	34,41
16	5000	0,0527	5,31	11,47	18,35	28,24
17	6300	0,0364	2,59	7,67	13,87	23,45
18	8000	0,0185	1,13	5,07	11,39	20,72
Gesamt SPL in dB			62,35	68,34	74,85	82,30

Tab. 4.2: Bedeutungsfunktionen verschiedener Sprachtests am Beispiel für das Berechnungsverfahren des SII in Terzbändern nach ANSI S3.5-1997

Band-Nr.	Mittenfrequenz [Hz]	NNS ^a	CID-22 ^b	NU6 ^c	DRT ^d	Kurze Pasagen ^e	SPIN ^f
1	160	0,0000	0,0365	0,0168	0,0000	0,0114	0,0000
2	200	0,0000	0,0279	0,0130	0,0240	0,0153	0,0255
3	250	0,0153	0,0405	0,0211	0,0330	0,0179	0,0256
4	315	0,0284	0,0500	0,0344	0,0390	0,0558	0,0360
5	400	0,0363	0,0530	0,0517	0,0571	0,0898	0,0362
6	500	0,0422	0,0518	0,0737	0,0691	0,0944	0,0514
7	630	0,0509	0,0514	0,0658	0,0781	0,0709	0,0816
8	800	0,0584	0,0575	0,0644	0,0751	0,0660	0,0770
9	1000	0,0667	0,0717	0,0664	0,0781	0,0628	0,0718
10	1250	0,0774	0,0873	0,0802	0,0811	0,0672	0,0718
11	1600	0,0893	0,0902	0,0987	0,0961	0,0747	0,1075
12	2000	0,1104	0,0938	0,1171	0,0901	0,0755	0,0921
13	2500	0,1120	0,0928	0,0932	0,0781	0,0820	0,1026
14	3150	0,0981	0,0678	0,0783	0,0691	0,0808	0,0922
15	4000	0,0967	0,0498	0,0562	0,0460	0,0483	0,0719
16	5000	0,0728	0,0312	0,0337	0,0330	0,0453	0,0461
17	6300	0,0551	0,0215	0,0177	0,0270	0,0274	0,0306
18	8000	0,0000	0,0253	0,0176	0,0240	0,0145	0,0000

^aNNS (Tests mit verschiedenartigen sinnlosen Silben, wobei die meisten englischen Phoneme gleichhäufig auftreten), ^bCID-W22 (PB-Wörter), ^cNU6 einsilbige Wörter, ^dDRT (Diagnostik Reimtest), ^e kurze Passagen eines einfach lesbaren Materials, ^fSPIN einsilbige Wörter

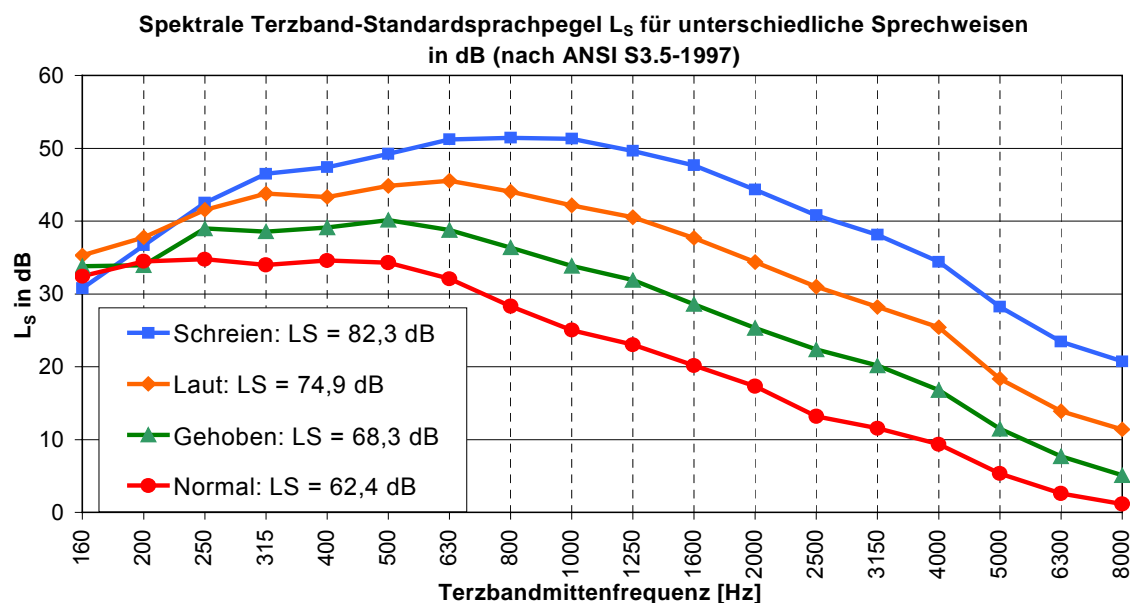


Abb. 4.5: Spektrale Standardsprachpegel für verschiedene Sprechweisen in dB nach ANSI S3.5-1997

4.7 Das Perzeptionsmodell nach Holube, Kollmeier, Püschel und Wesselkamp

Bei objektiven Sprachverständlichkeitsbeurteilungsverfahren wie AI oder STI erfolgte eine abschließende Zuordnung zu Sprachverständlichkeitswerten aus subjektiven Tests jeweils anhand einer monotonen Transformation. HOLUBE (1993) und HOLUBE und KOLLMEIER (1994) stellten einen Ansatz zur Sprachverständlichkeitsbestimmung anhand eines psychoakustisch motivierten Perzeptionsmodells vor, (gegenüber PATTERSON et al. (1982), (1991) modifiziert), bei dem eine Transformation in diesem Sinne nicht notwendig ist (HOLUBE und KOLLMEIER, 1996). Mit Hilfe dieses Modells soll eine Vorhersage der Sprachverständlichkeit für Normal- und Schwerhörige aus dem Audiogramm und weiteren psychoakustischen Tests ermöglicht werden.

Hier modellieren Vorverarbeitungsstufen die auditive Signalverarbeitung im menschlichen Gehör. Diese Vorverarbeitung ermittelt von einem auftretenden Schallereignis die zugehörige interne Repräsentation. Als interne Repräsentation wird hier das nach der Vorverarbeitung im peripheren auditiven System vorliegende Aktivitätsmuster im Zeit-Frequenzbereich bezeichnet. Im Anschluss wird aus dieser internen Repräsentation durch Mustererkennung die Übereinstimmung zwischen der Repräsentation des gerade verarbeiteten Schallereignisses und einer Auswahl von abgespeicherten Repräsentationen ermittelt. Davon wird das am besten übereinstimmende Paar ausgewählt. In der Untersuchung von HOLUBE und KOLLMEIER (1994) erfolgte die Sprachverständlichkeitsschätzung durch Worterkennung innerhalb eines Reimtests, wobei ein Wort dem Perzeptionsmodell als Schallereignis dient und mit einer zuvor abgespeicherten Wortliste verglichen wurde. Anhand dieses Reimtests wurde die Sprachverständlichkeit für verschiedene Konstellationen bestimmt.

Für die Modellierung werden Sprachmaterial und Störgeräusch mit einer Gamma-Ton-Filterbank in 30 Bandpass-Kanäle (zwischen 100 Hz und 8 kHz) gefiltert. Die Filterbank modelliert die durch psychoakustische Experimente festgestellten Frequenzgruppen und lässt eine sinnvolle Modifikation für Schwerhörige zu. Sprachsignal und Störgeräusch werden anschließend mit einem zeitlichen Nachregelmodell verarbeitet (PÜSCHEL, 1988). Mit dem Nachregelmodell soll zum einen die hohe Zeitauflösung des menschlichen Gehörs durch lineare Abbildung schneller Änderun-

gen und zum anderen die großen Zeitkonstanten durch langsame Adaptation bei der Nachregelung der Empfindlichkeit nachgebildet werden.

Als Parameter für die Nachregelschleifen dienen Zeitkonstanten, die aus Experimenten zur zeitlichen Nachverdeckung gewonnen und für die Schwerhörigen individuell eingestellt werden.

Ein Vergleich von gemessenem und berechnetem Sprachverständlichkeitsindex zeigt eine höhere Treffsicherheit für die Vorhersage unter Störgeräuschen. Mit dem modifizierten Perzeptionsmodell ist eine Unterscheidung des Einflusses von Audiogramm und anderen psychoakustischen Parametern möglich.

Den größten Teil der Veränderung der Sprachverständlichkeit bei Schwerhörigen beschreibt erwartungsgemäß der Hörverlust. Für Sprachverständlichkeit in Ruhe ist die Vorhersage mit dem beschriebenen Perzeptionsmodell (wie auch mit dem STI) schwierig, da die Testsituation stark von äußeren Einflüssen und körpereigenen Geräuschen beeinflusst sein kann. Diese lassen sich annähernd durch ein Gaußsches Rauschen mit einem Schallleistungspegel zwischen 5 bis 10 dB simulieren. Neben der dadurch erreichten Anhebung der Ruhehörschwelle spielt aber auch die zeitliche Struktur der fluktuierenden körpereigenen Geräusche eine Rolle, die sich auf die Sprachverständlichkeitsvorhersage auswirken kann.

Laut HOLUBE und KOLLMEIER (1996) konnte gegenüber dem AI und STI die Abweichung der Sprachverständlichkeitsvorhersage von den Messergebnissen für Normal- und Schwerhörige mit dem Perzeptionsmodell verringert werden. Die Vorhersage lässt sich durch Einbeziehung der individuellen Nachverdeckung und Frequenzgruppenbreiten noch weiter verbessern. (Im Vergleich zum Einfluss der Audiogrammgenauigkeit sind diese Effekte jedoch gering.) Vorteilhaft ist, dass durch die genauere Beschreibung der auditiven Sprachsignalverarbeitung zusätzliche Korrekturfaktoren und Transformationen entfallen können.

Da die Berechnungen mit dem Perzeptionsmodell bisher nur für eine stark begrenzte Anzahl von Versuchspersonen durchgeführt wurde, wird eine Vorhersage der Sprachverständlichkeit mit dieser Methode nicht favorisiert.

WESSELKAMP, HOLUBE und KOLLMEIER (1995) stellten ein weiteres Berechnungsverfahren für die objektive Sprachverständlichkeit vor, das auf dem modifizierten Perzeptionsmodell von HOLUBE (1993) und PÜSCHEL (1988) basiert. Es erlaubt wie HOLUBE (1993) die Berechnung der Sprachverständlichkeit in gestörter Umgebung, ist jedoch auch für die Vorhersage der Satzverständlichkeit geeignet (WESSELKAMP, 1994).

Die Vorhersage wortspezifischer Diskriminationsfunktionen mit Hilfe dieses auditorischen Modells erreicht jedoch keine höhere Genauigkeit als beispielsweise die mit dem AI.

5 Bewertung der Modelle zur Sprachverständlichkeitsvoraussage und Auswahl von Vorzugsmodellen

Die nachfolgenden Tabellen 5.1 und 5.2 zeigen einen zusammenfassenden bewertenden Überblick ausgewählter Modelle zur Sprachverständlichkeitsabschätzung, die in den voranstehenden Abschnitten analysiert und diskutiert worden sind.

Bezugnehmend auf die Zielstellung des hier vorgestellten Forschungsvorhabens waren bestehende Modelle zur Voraussage der Sprachverständlichkeit dahingehend zu bewerten, inwieweit sie auch unter den Umständen von Hörbeeinträchtigungen unterschiedlichen Grades und bei vorhandenen Störgeräuschen sowie bei Nachhall zufriedenstellend anwendbar sind.

Tab. 5.1: Vergleich ausgewählter Vorhersagemodelle (AI mit Modifizierungen, SII) (Blatt 1)

<p>AI Artikulationsindex (Articulation Index) ANSI S3.5-1969</p> <p>Ziel: Beschreibung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache, Berechnung des SNR in den Bändern</p>	<p>AI Artikulationsindex (Articulation Index) Modifiziert n. Pavlovic et al.</p> <p>Ziel: siehe AI</p>	<p>AI Artikulationsindex (Articulation Index) Modifiziert nach Ludvigsen</p> <p>Ziel: siehe AI</p>	<p>MAI Modifizierter Sprachverständlichkeitsindex (Modif. Speech Intell. Index) ISO/CD 9921-2:1997</p> <p>Ziel: siehe AI Bedingung: Nachhallzeit < 2s bei 500 Hz</p>	<p>SII Sprachverständlichkeitsindex (Speech Intelligibility Index) ANSI S3.5-1997</p> <p>Ziel: Beschreibung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache, Berechnung des SNR in den Bändern</p>
<p>AI Artikulationsindex (Articulation Index) ANSI S3.5-1969</p> <p>Ziel: Beschreibung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache, Berechnung des SNR in den Bändern</p> <p>Testsignal: Sprache Jedoch keine Bewertung des Sprachmaterials und des Trainings</p> <p>Eingangsdaten: Nutz- und Störsignal getrennt</p>	<p>AI Artikulationsindex (Articulation Index) Modifiziert n. Pavlovic et al.</p> <p>Ziel: siehe AI</p> <p>Testsignal: verschiedene Sprachmaterialien: bedeutungslose Silben, kontinuierliche Unterhaltung, durchschnittliches Sprachmaterial Entfernen von Sprechpausen!</p> <p>Eingangsdaten: siehe AI</p>	<p>AI Artikulationsindex (Articulation Index) Modifiziert nach Ludvigsen</p> <p>Ziel: siehe AI</p> <p>Testsignal: Sprache, Entfernen von Sprechpausen</p> <p>Eingangsdaten: siehe AI</p>	<p>MAI Modifizierter Sprachverständlichkeitsindex (Modif. Speech Intell. Index) ISO/CD 9921-2:1997</p> <p>Ziel: siehe AI Bedingung: Nachhallzeit < 2s bei 500 Hz</p> <p>Testsignal: einsilbige Wörter als worst case</p> <p>Eingangsdaten: Störsignal: A-bewerteter Schalldruckpegel am Sprecherort (Lombart-Effekt) Oktavband-Schalldruckpegel am Hörerort Nutzsignal: A-bewerteter Sprechpegel in 1m Abstand vom Sprecher mit und ohne Gehörschutz A-bewerteter Sprechpegel am Hörerort</p>	<p>SII Sprachverständlichkeitsindex (Speech Intelligibility Index) ANSI S3.5-1997</p> <p>Ziel: Beschreibung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache, Berechnung des SNR in den Bändern</p> <p>Testsignal: Sprache, Unterschiedliche Wichtung für Silben, Wörter, Sätze</p> <p>Eingangsdaten: Nutz- und Störsignal getrennt</p>

Tab. 5.1: Fortsetzung (Blatt 2)

AI	AI	AI	MAI	SII
<p>Aufteilung: In 20 Bänder mit gleichem Beitrag zur Verständlichkeit, Frequenzgruppen nach Zwicker, in 15 Terzbänder bzw. in 5-6 Oktavbänder mit Gewichtung</p>	<p>Aufteilung: 20 Bänder mit gleichem Beitrag zur Verständlichkeit oder Zwicker-Frequenzgruppen bei Anhebung der Hörschwelle von mehr als 15 dB erfolgt Anpassung der Frequenzgruppenbreite</p>	<p>Aufteilung: 20 Bänder mit gleichem Beitrag zur Verständlichkeit</p>	<p>Aufteilung: Oktavbänder von 250 bis 4000 Hz</p>	<p>Aufteilung: In 21 Frequenzgruppen oder 17 Frequenzgruppen oder 18 Terzbänder oder 6 Oktavbänder</p>
<p>Gewichtung: Gewichtungsfaktoren W_i gewichten 125, 250 und 8000 Hz-Bänder sehr gering</p>	<p>Gewichtung: Lineare Intensitätsgewichtung</p>	<p>Gewichtung:</p>	<p>Gewichtung: Frequenzgewichtung gemäß ISO/CD 9921-2:1997</p>	<p>Gewichtung: Bandgewichtungsfunktion hängt vom verwendeten Sprachmaterial ab</p>
<p>Verdeckung: Selbstmaskierung der Sprache nicht berücksichtigt bei Kryter (1962) und ANSI (1969) bei Fletcher & Galt Auf- und Abwärtsmaskierung sowie spektrale Selbstmaskierung der Sprache und „roll-over-Effekt“ berücksichtigt</p>	<p>Verdeckung:</p>	<p>Verdeckung: Einzelne Berechnung von Maskierung durch Sprache und Geräusch -> 2 x 20 Maskierungsspektren Zunahme der Aufwärtsmaskierung bei cochlear beeinträchtigtem Hören um einen Betrag, der proportional dem HV bei den maskierten Frequenzen ist Einbeziehung von Modellen zur Frequenz- und Zeitauflösung</p>	<p>Verdeckung: Berücksichtigt Auf- und Abwärtsmaskierung sowie spektrale Selbstmaskierung der Sprache, nicht bei Oktavbändern!!</p>	<p>Verdeckung: Berücksichtigt Auf- und Abwärtsmaskierung sowie spektrale Selbstmaskierung der Sprache, nicht bei Oktavbändern!!</p>
<p>Korrekturfaktoren: Für Störungen im Zeitbereich</p>	<p>Korrekturfaktoren:</p>	<p>Korrekturfaktoren:</p>	<p>Korrekturfaktoren: Modifizierte Parameter für laute Sprache, Gehörschutz, Gehörschäden, Sprecher-Hörer-Abstand</p>	<p>Korrekturfaktoren: Zusätzliche Berechnungsvorschriften für Nachhall, externes Störgeräusch</p>

Tab. 5.1: Fortsetzung (Blatt 3)

AI	AI	AI	MAI	SII
<p>Eignung: Gute Eignung für spektral verzerrte Signale</p> <p>Auch anwendbar auf gefilterte und maskierte Sprache; bei zeitlich verzerrter Sprache (Nachhall) ist Korrekturfaktor notwendig</p>	<p>Eignung: siehe AI</p> <p>(Nur bei geringer Testpersonenzahl überprüft)</p>	<p>Eignung: siehe AI</p> <p>Nicht für die Vorhersage der individuellen Sprachverständlichkeit geeignet</p>	<p>Eignung: Nicht für Routinezwecke empfohlen, da detaillierte Informationen über Geräusch- und Sprachcharakteristik notwendig</p>	<p>Eignung: Vorhersage für eine Gruppe von Sprechern und eine Gruppe von Hörern beider Geschlechter, Bei Nachhall, einohrigem Hören und einigen Bedingungen beidohrigen Hörens; Kommunikationsbedingungen, die keine mehrfachen, scharf gefilterten Bänder der Sprache oder scharf gefilterten Störgeräusche beinhalten;</p>
<p>Eignung bei Hörschäden: Anwendbar auf Gehörschäden durch Einbeziehung des Audiogramms</p> <p>Angehobene Hörschwelle durch „internes Rauschsignal“ modelliert</p>	<p>Eignung bei Hörschäden: Anwendbar auf Gehörschäden</p> <p>Angehobene Hörschwelle durch „internes Rauschsignal“ modelliert</p> <p>Einbeziehung eines Sprachdesensibilisierungsfaktors D(f), der Abhängigkeit des Hörverlustes von der Frequenz beschreibt</p> <p>Gut geeignet für geringer Hörschädigte (Hörschwellenanhebung < 50 dB), für stärker Hörschädigte zu gute Vorhersagewerte</p>	<p>Eignung bei Hörschäden: Anwendbar auf Gehörschäden</p> <p>Angehobene Hörschwelle durch „internes Rauschsignal“ modelliert</p> <p>Einbeziehung einer Korrektur für die verminderte Zeitauflösung bei cochlear einträchtigem Hören</p> <p>Vorhersagegenauigkeit für NH und HG etwa gleich gut</p>	<p>Eignung bei Hörschäden: Anwendbar auf Gehörschäden</p> <p>effektive maskierte Hörschwelle des Hörer wird durch maskierendes Geräusch, Hörvermögen und Gehörschutz bestimmt</p>	<p>Eignung bei Hörschäden: Hörschäden ohne Supraschwellendefizite geeignet für Hörschädigte</p>

Tab. 5.1: Fortsetzung (Blatt 4)

AI	AI	AI	MAI	SII
<p>Berechnung: pro Band auf 30 dB Dyna- mikbereich begrenzt (-12dB bis +18 dB) Nicht RMS-Wert für Spra- che, sondern 12 dB Spit- zenwertzuschlag auf Sprachsignal</p> $AI = \sum_{i=1}^n W_i [(SNR_i + 12) / 30]$	<p>Berechnung: siehe AI</p> <p>Einbeziehung von tatsächli- chen Sprachspitzenpegeln statt 12dB über Langzeit- mittel</p>	<p>Berechnung: siehe AI</p>	<p>Berechnung:</p>	<p>Berechnung: $S = \sum_{i=1}^n I_i A_i$ (i = 1 ... n)</p> <p>I_i...Bandgewichtungsfunktion A_i...Bandhörbarkeit</p>
				<p>Einstufung: SII > 0,75: gute Sprachver- ständlichkeit SII < 0,45: schlechte Sprachverständlichkeit</p>

Tab. 5.2: Vergleich ausgewählter Vorhersagemodelle (STI, MTI, SIL und SRT)
(Blatt 1)

STI Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index) IEC 60268-16	MTI Modulationsübertragungsindex (Modulation Transfer Index)	SIL Sprachinterferenzpegel (Speech Interference Level) EN ISO 9921 (D)	SRT Spracherkennungsschwelle (Speech Reception Threshold)
<p>Ziel: Beschreibung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache, Modulationsgradänderung zwischen Ein- und Ausgangssignal ausgewertet</p>	<p>Ziel: Beschreibung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache, Modulationsgradänderung zwischen Ein- und Ausgangssignal ausgewertet</p>	<p>Ziel: Bestimmung der max. Entfernung für zufriedenstellende Sprachkommunikation</p>	<p>Ziel: Sprachpegel mit 50% Sprachverständlichkeit bei konstantem Störgeräuschpegel</p>
<p>Testsignal: Ursprünglich künstliches Sprachsignal (spektral begrenztes Zufallsrauschen mit Langzeit-RMS-Wert von fließender Sprache), Durchschnittssprache</p>	<p>Testsignal: Natürliche Sprache (Reimtest, Sätze)</p>	<p>Testsignal: Störgeräusch am Hörerort, Sprachpegel je nach Stimmaufwand</p>	<p>Testsignal: Sprache (Sätze)</p>
<p>Eingangsdaten: Nutzsignal gestört und ungestört</p>	<p>Eingangsdaten: Nutzsignal gestört und ungestört</p>	<p>Eingangsdaten: Störspektrum, Stimmaufwand, Abstand Sprecher-Hörer</p>	<p>Eingangsdaten: Nutz- und Störsignal getrennt</p>
<p>Aufteilung: in sieben Oktavbänder (125-8000 Hz)</p>	<p>Aufteilung: Oktavbänder</p>	<p>Aufteilung: In vier Oktavbänder (500-4000 Hz)</p>	<p>Aufteilung: keine</p>
<p>Gewichtung: Gewichtungsfaktoren W_i gewichtet 125, 250 und 8000Hz-Bänder nahezu wie die übrigen</p>	<p>Gewichtung: Keine Frequenzgewichtung</p>	<p>Gewichtung: Keine Frequenzgewichtung</p>	<p>Gewichtung: keine</p>

Tab. 5.2: Fortsetzung (Blatt 2)

STI	MTI	SIL	SRT
<p>Verdeckung: Berücksichtigt von niedrigeren auf höhere Oktavbänder</p> <p>Korrekturfaktoren: (Nachhall etc.) direkt im Berechnungsverfahren bewertet (verminderter Modulationsgrad des Testsignals)</p>	<p>Verdeckung: Berücksichtigung spektraler und zeitlicher Verdeckungseffekte</p> <p>Korrekturfaktoren: (Nachhall etc.) direkt im Berechnungsverfahren bewertet (verminderter Modulationsgrad des Testsignals)</p>	<p>Verdeckung: Nicht berücksichtigt</p> <p>Korrekturfaktoren: Nicht berücksichtigt</p>	<p>Verdeckung:</p> <p>Korrekturfaktoren:</p>
<p>Eignung: Gute Eignung für temporal verzerrte Signale (Nachhall) und Bedingungen, die keine abrupten oder extremen Sprachsignaländerungen aufweisen</p> <p>Systemanalyse-Ansatz macht STI geeignet für Anwendungen des täglichen Lebens wie Hörgerätetechnik, MTF kann auch psychologisch gemessen werden → Vorhersage für ein bestimmtes Subjekt möglich</p>	<p>Eignung: Auch geeignet für nichtlineare Übertragungsstrecken</p> <p>Gute Eignung für temporal verzerrte Signale (Nachhall) und Bedingungen, die keine abrupten oder extremen Sprachsignaländerungen aufweisen</p> <p>Sprachsignaländerungen</p>	<p>Eignung: Grobe Abschätzung der Sprachverständlichkeit, keine Einbeziehung von Hörschaden, Nachhall, Verzerrungen</p>	<p>Eignung:</p>
<p>Eignung bei Hörschäden: Nur Aufteilung in Oktavbänder (125-8000 Hz) vorgesehen → nachteilig bei Hörschäden bedingt geeignet für Hörschädigte</p>	<p>Eignung bei Hörschäden: Bedingt geeignet für Hörschädigte</p>	<p>Eignung bei Hörschäden: keine Einbeziehung von Hörschaden, nicht geeignet für Hörschädigte</p>	<p>Eignung bei Hörschäden: geeignet für Hörschädigte</p>

Tab. 5.2: Fortsetzung (Blatt 3)

STI	MTI	SIL	SRT
<p>Berechnung: SNR in jedem Band ermittelt pro Band auf 30 dB Dynamikbereich begrenzt (-15 dB bis +15 dB) in jedem Kanal wird Reduktion des Modulationsgrades durch das System gemessen (System kann Raum, Hörgerät, Hörgeschädigter etc. sein) $STI = \sum_{i=1}^n W_i [(SNR_i + 15) / 30]$</p>	<p>Berechnung: Mit hohem Rechenaufwand verbunden, da Korrelationen zu berechnen sind</p>	<p>Berechnung: $L_{SIL} = \frac{1}{4} \sum_{N, oct, i} L_{N, oct, i}$ für $i = 1 \dots 4$ $L_N \dots$ Schalldruckpegel der Störgeräusche im Oktavband i</p>	<p>Berechnung: $SRT = 10 \log [10^{(L0+A+D)/10 \text{ dB}} + 10^{(L_N - \Delta L_{SN} + D)/10 \text{ dB}}] \text{ dB(A)}$ Dabei ist A+D der Hörverlust für Sprache in Ruhe in dB(A) und D der Hörverlust für Sprache im Störgeräusch in dB(A).</p>
<p>Einstufung: STI > 0,75: ausgezeichnete Sprachverständlichkeit 0,6 < STI ≤ 0,75: gute Sprachverständlichkeit 0,45 < STI ≤ 0,6: angemessene Sprachverständlichkeit 0,3 < STI ≤ 0,45: schwache Sprachverständlichkeit STI ≤ 0,3: schlechte Sprachverständlichkeit</p>	<p>Einstufung:</p>	<p>Einstufung: SIL = 21: ausgezeichnete Sprachverständlichkeit 15 ≤ SIL < 21: gute Sprachverständlichkeit 10 ≤ SIL < 15: angemessene Sprachverständlichkeit 3 ≤ SIL < 10: schwache Sprachverständlichkeit SIL < 3: schlechte Sprachverständlichkeit</p>	<p>Einstufung:</p>

5.1 Allgemeine Charakterisierung von Modellen zur Vorhersage bzw. Abschätzung der zu erwartenden Sprachverständlichkeit unter verschiedenen Randbedingungen

Die vielen verschiedenen Modifizierungen zeigen, dass es bislang noch kein Modell gibt, welches eine hohe Vorhersagegenauigkeit für eine möglichst große Vielfalt unterschiedlichster Randbedingungen gewährleistet. Zudem ist nicht aus dem Auge zu verlieren, dass Vorhersagen zur Sprachverständlichkeit, gleich mit welchem Modell und mit welcher Modifikation, nicht auf das Einzelindividuum sondern stets auf eine Population von Individuen (Sprecher und Hörer) mit vergleichbaren Sprech- und Hörereigenschaften getroffen werden können.

Die Bewertung der Modelle soll unter folgenden Gesichtspunkten erfolgen:

- Zufriedenstellende Vorhersagequalität für eine umfangreichere Variation von Randbedingungen,
- praktikable Anwendung bei vertretbarem Rechenaufwand,
- Möglichkeit der Berechnung auch mit standardisierten Eingangsvariablen, z.B. Standardsprachspektrum nach ANSI S3.5-1997, (also nicht notwendigerweise erforderliche spektrale Messung der Nutz- und Störsignale).

Ein Mangel an der Praktikabilität aller Modelle zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit ist, dass der berechnete Wert, in der Regel zwischen 0 und 1, nicht einfach einem prozentualen Wert korrekt verstandener Sprachmuster gleichgesetzt werden kann. Einige Autoren der verschiedenen Modelle bzw. deren Modifizierungen empfehlen Übertragungsfunktionen, die einerseits relativ unscharf sind, andererseits von den Nutzern an die spezielle Aufgabenstellung des Einsatzfeldes anzupassen oder gar selbst zu entwickeln sind. Hierzu wird mehrfach vorgeschlagen, die Ergebnisse aus Berechnungsmodellen mit Werten der prozentualen Verständlichkeit zu vergleichen, welche in Hörversuchen mit einem bestimmten Sprachtest und einem definierten Sprachmaterial unter solchen akustischen Randbedingungen gewonnen wurden, die auch dem Berechnungsmodell als Eingangsvariable dienen, und daraus eine Übertragungsfunktion genau für diesen Test und dieses Sprachmaterial abzuleiten.

Unbestritten ist, dass die Art des Sprachmaterials einen erheblichen Einfluss auf diese Übertragungsfunktion hat. Zum Beispiel für das Berechnungsverfahren des SII nach ANSI S3.5-1997 liefert der Standard sogenannte Bedeutungsfunktionen in Tabellenform für unterschiedliches Sprachmaterial und die vier möglichen Berechnungsverfahren (vgl. Abschnitt 4.6 mit Tabelle 4.2).

Bei subjektiven Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit von zweistelligen Zahlen und einsilbigen Substantiven, in denen die Sprachsignale eines standardisierten Sprachtests (WESTRA, 1976) im Nachbarraum über Lautsprecher und mit unterschiedlichen Sprechpegeln dargeboten und durch verschiedene Arten von Trennwänden (Montagewände aus Gipsplatten) in den Hörerraum transmittiert wurden, zeigten sich ebenfalls gravierende Unterschiede zwischen der korrekten Erkennung von Zahlen und Wörtern (JOIKO, BORMANN und KRAAK, 2002). Die frequenzabhängige Dämmcharakteristik der Trennwand bewirkte einerseits eine erhebliche Pegelminderung und gleichzeitig eine spektrale Filterung des übertragenen Sprachsignals, so dass die Signale am Ort des Hörers an der Grenze zum unterschweligen Pegelbereich wahrgenommen wurden.

Abbildung 5.1 stellt diese Verständlichkeitsunterschiede zwischen Zahlen und Wörtern am Beispiel zweier unterschiedlicher Wände mit entsprechend verschiedener spektraler Dämmcharakteristik dar.

Vorab soll jedoch der Effekt erklärt werden, dass bei diesem Beispiel die Wand mit dem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß nach DIN EN ISO 140-04 (1998) sowie DIN EN ISO 717-01 (1997) von $R'_w = 48$ dB (als Einzahlwert), welches das der anderen Wand um 2 dB überschritt, offensichtlich widersprüchlich, eine gleichfalls bessere Sprachverständlichkeit des transmittierten Signals ergab. Trotz des leicht höheren Bau-Schalldämm-Maßes zeigte die Wand mit $R'_w = 48$ dB jedoch in wesentlichen Abschnitten des für die Sprachwahrnehmung relevanten Spektralbereiches (in diesem Fall zwischen den Terzbändern mit den Mittenfrequenzen 200 Hz und 2000 Hz) eine um 2 bis 3 dB schlechtere spektrale Schalldämmung gegenüber der Wand mit $R'_w = 46$ dB, wogegen sich in den für die Sprachwahrnehmung weniger bedeutsamen Randbereichen des gemessenen Spektrums das Schalldämmverhalten deutlich umgekehrt verhielt.

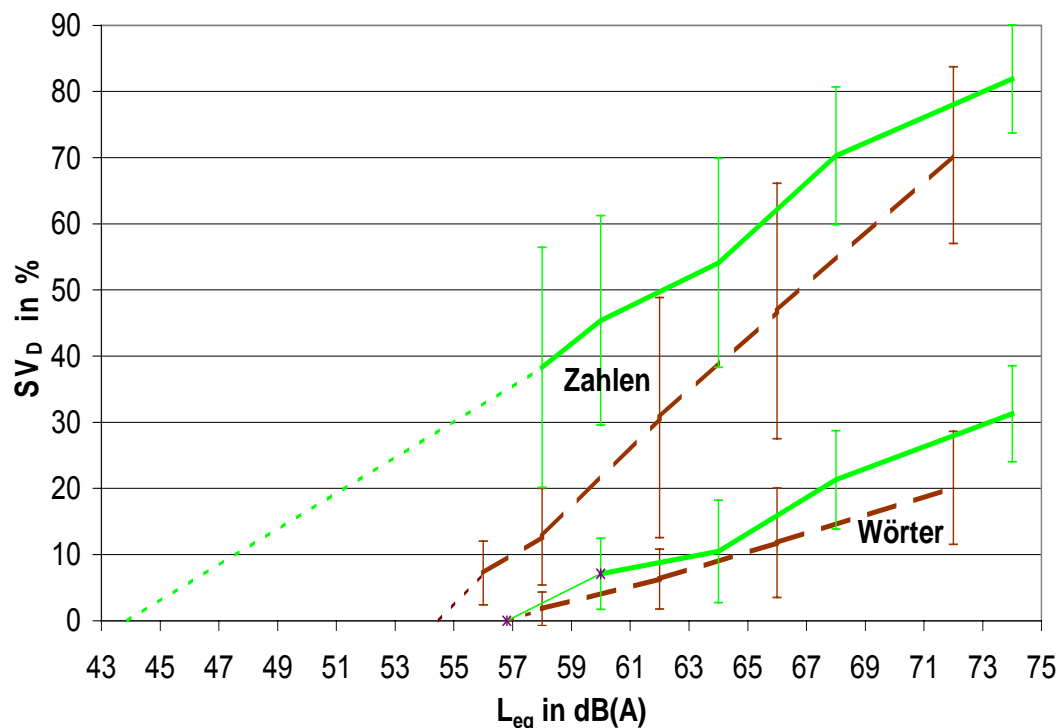


Abb. 5.1: In subjektiven Hörversuchen ermittelte Sprachverständlichkeit für zweistellige Zahlen und einsilbige Substantive, transmittiert durch Montagewände aus Gipsplatten bei verschiedenen Sprechpegeln zum Vergleich mit der frequenzabhängigen Dämmcharakteristik dieser Wände nach JOIKO et al. (2002).

Legende: *unterbrochene Linie:*
 CW50/75; $m'' = 12,5 \text{ kg/m}^2$; $R'_w (C; C_{tr}) = 46 (-5; -12) \text{ dB}$;
durchgängige Linie:
 CW50/100; $m'' = 8,5 \text{ kg/m}^2$; $R'_w (C; C_{tr}) = 48 (-2; -8) \text{ dB}$.

In der Legende zur Abbildung 5.1 stehen bei der Bezeichnung der Wandtypen CW für die Art des Ständerprofils, die nachfolgenden, durch Schrägstrich getrennten Zahlen für die Profilstärke (innerer mit Dämmstoff gefüllter Hohlraum der Wand) und für die Gesamtwandstärke, m'' für die flächenbezogene Masse der Gipsplatten, R'_w für das bewertete Bau-Schalldämm-Maß und C sowie C_{tr} sind Korrekturwerte für übliche Geräuscharten und für Verkehrslärm.

Inwiefern die zwar geringfügigen spektralen Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Stimmlagen die Sprachverständlichkeit beeinflussen, ist bislang in der Literatur wenig diskutiert. Wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben, hat KRYTER (1962b) seine Methode ausschließlich für das verwendete Sprachmaterial mit männlichen Sprechern evaluiert. Wird die Berechnung des SII (ANSI S3.5-1997) nach den dort

gegebenen Standardsprachpegeln vorgenommen, fließen auch hier keine spektralen Unterschiede zwischen der weiblichen und der männlichen Stimme ein.

Dass aber bereits geringfügige Unterschiede der Sprechpegel von 2 bis 3 dB in sprachrelevanten Frequenzbändern, insbesondere bei niedrigen Signalpegeln am Hörerplatz, bereits merklich die Sprachverständlichkeit verändern, zeigten die Untersuchungen, die im Zusammenhang mit Abbildung 5.1 diskutiert worden sind.

Im Zusammenhang mit dem in DIN EN 60268-16 (1999) beschriebenen Verfahren zum Sprach-Übertragungsindex (speech transmission index, STI), einschließlich einiger Modifizierungen, gibt diese Norm sowohl Oktavbandpegel in dB für männliche und weibliche Sprache, bezogen auf den auf 0 normierten A-bewerteten Langzeit-Sprachpegel, als auch zusätzliche Bewertungsfaktoren für den dort überarbeiteten Sprach-Übertragungsindex STI_r , der den Überdeckungseffekt und die absolute Hörschwelle berücksichtigt, getrennt nach männlicher und weiblicher Stimmlage an.

Nach den in DIN EN 60268-16, Tabelle A-2, gegebenen Zahlenwerten zeigt sich der Unterschied zwischen dem männlichen und dem weiblichen Sprachspektrum in Abbildung 5.2 grafisch wie folgt:

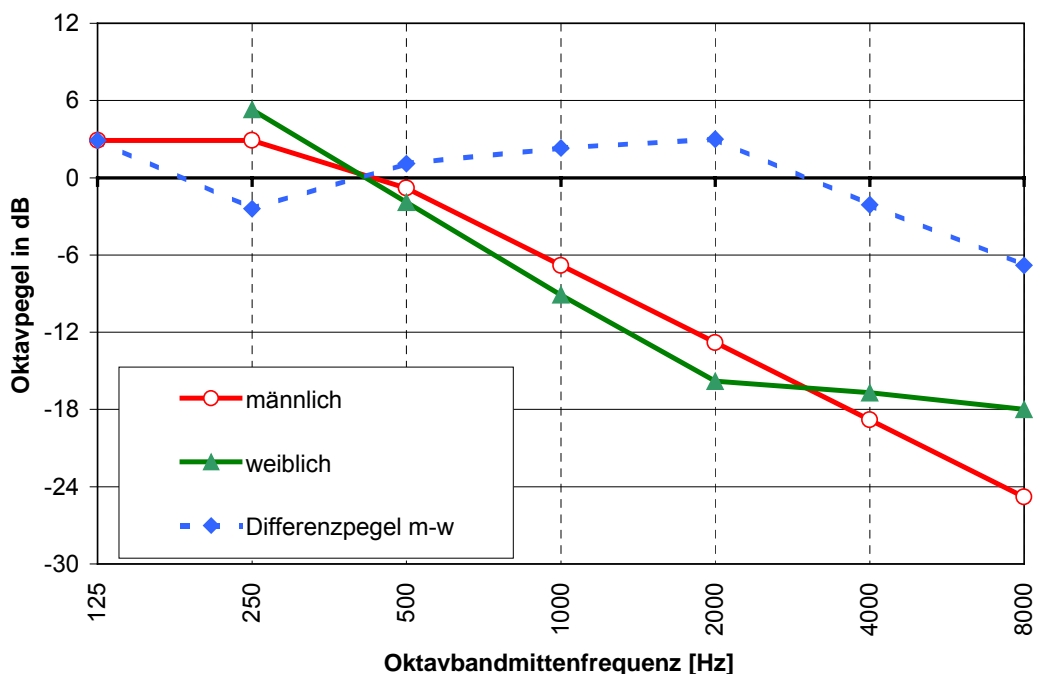


Abb. 5.2: Oktavbandpegel in dB für männliche und weibliche Sprache, bezogen auf den auf 0 normierten A-bewerteten Langzeit-Sprachpegel nach DIN EN 60268-16 (1999)

KRYTER (1962a) stellt in seiner Arbeit in Anlehnung an FRENCH und STEINBERG (1949) sowie MILLER (1947) Übertragungsfunktionen für verschiedenes Sprachmaterial in grafischer Form vor, die einen direkten Bezug zwischen dem berechneten Artikulationsindex AI und der zu erwartenden prozentualen Sprachverständlichkeit darstellen. Diese sind Auszugsweise für Sätze sowie für nicht sinnbehaftete Einsilber in Abbildung 5.3 dargestellt.

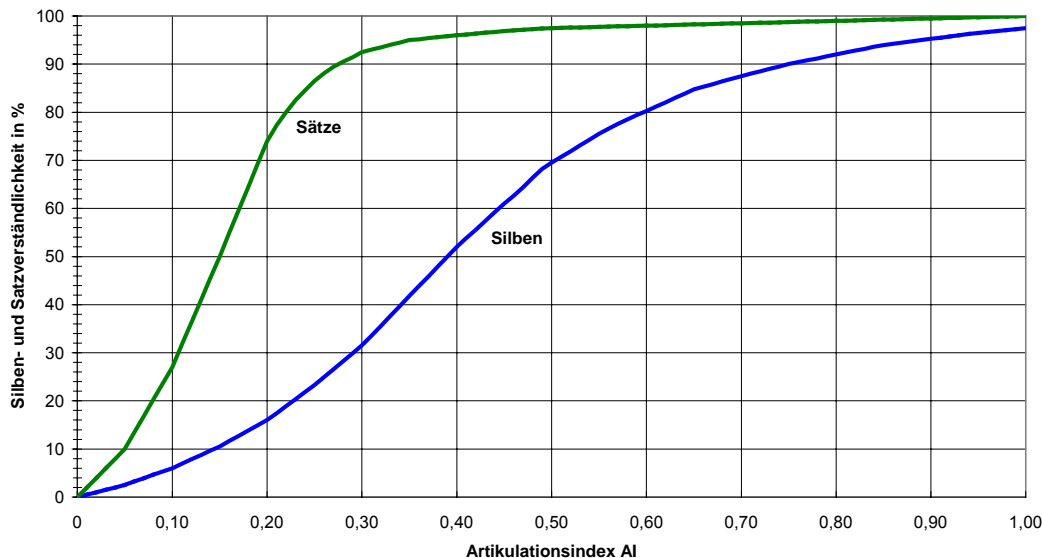


Abb. 5.3: Übertragungsfunktion zwischen dem Artikulationsindex und der zu erwartenden prozentualen Verständlichkeit von Sätzen und nicht sinnbehafteten Einsilbern (Auszug) nach KRYTER (1962) in Anlehnung an FRENCH und STEINBERG (1949) und MILLER (1947); Grafik von KRAAK (1997), nachbearbeitet von den Autoren der vorliegenden Arbeit (2002).

Dass eine Übertragungsfunktion, die im Wesentlichen nur die Art des Sprachtests und des dazu verwendeten Sprachmaterials (Sätze, Zahlen, Wörter, Einsilber usw.) berücksichtigt, noch keine ausreichende Schlussfolgerung von einem berechneten Modellwert auf einen prozentualen Wert der korrekt verstandenen Sprachmuster zulässt, zeigen sowohl Ergebnisse und deren Interpretation aus eigenen Untersuchungen (JOIKO, BORMANN und KRAAK, 2002) als auch verschiedene Literaturbefunde. So führten u.a. PAVLOVIC und STUDEBAKER (vgl. Abschnitt 4.1.3) in der AI - Berechnung einen Fertigkeitfaktor ein, welcher die Artikulationsgüte des Sprechers und die Vertrautheit des Hörers mit dem Sprachmaterial berücksichtigen soll und den sie in Ihrem Falle mit P bezeichneten. Jedoch erkannten sie gleichzeitig, dass ein

solcher Faktor schwer zu bestimmen ist und einen nicht unerheblichen Fehler bereits aus der subjektiven Einschätzung des Beurteilers in sich bergen kann. Daher setzten sie aus Gründen der Praktikabilität diesen Faktor $P = 1$, was bedeutet, dass er ohne Einfluss bleibt und somit von ihnen wieder vernachlässigt wird.

Für die Entwicklung einer Übertragungsfunktion durch den Nutzer des Vorhersagemodells empfiehlt das Verfahren zur Berechnung des SII nach ANSI S3.5-1997 allerdings, die Fertigkeiten von Sprechern und Hörern, d.h., wie gut sie mit dem gegebenen Sprachmaterial fachlich vertraut sind, dieses korrekt aussprechen und verstehen, mit einzubeziehen.

5.2 Subjektive Einflüsse auf die Sprachverständlichkeit

Wie bedeutsam subjektive Faktoren sowohl seitens des Sprechers als auch des Hörers bezüglich einer möglichen Fehleinschätzung der prozentualen Sprachverständlichkeit sein können, sollen nachfolgende Argumente verdeutlichen.

(1) Die Aussprache des vom Hörer zu erkennenden Sprachmaterials übt einen erheblichen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit aus. Die Vertrautheit des Sprechers mit dem vorzutragenden Sprachmaterial spielt dabei eine wesentliche Rolle für eine flüssige Aussprache sowie eine natürliche Artikulation und richtige Betonung. KLIEM und KOLLMEIER (1992) beklagten z.B. die übermäßige Betonung der Items des nach DIN 45621-01 (1995) und DIN 45626-01 (1995) standardisierten Freiburger Zahlen- und Wörterverständnistests (WESTRA, 1976) und verbanden damit eine Verfälschung der Ergebnisse der mit diesem Testmaterial durchgeführten subjektiven Sprachverständlichkeitsuntersuchungen.

(2) Die Gebräuchlichkeit (Alter bzw. Aktualität) des dargebotenen Wortschatzes trägt ebenfalls zur Sprachverständlichkeit bei. Ein im aktuellen Sprachgebrauch übliches Wort, das beim Hörer als Muster gespeichert ist, wird von ihm nach dem Wahrnehmen eher für das entsprechende erkannt und richtig wiedergegeben werden können, als ein nicht gespeichertes, das nur als Vokal-Konsonanten- oder als Silbenfolge nachgesprochen wird, ohne sich der Bedeutung bewusst zu sein.

Bei Sprachtestverfahren mit nicht sinnbehafteten Einsilbern ist dieses Argument natürlich bedeutungslos. Bei Satzverständlichkeitstests hingegen ist die Wirkung der Kontextunterstützung von Bedeutung.

(3) Unabhängig von hörphysiologischen Eigenschaften dürften psychosoziale Komponenten der Hörerpopulation ebenfalls sehr entscheidend zur Sprachverständlichkeit beitragen.

Die Geschwindigkeit und Korrektheit der Identifikation wahrgenommener Sprache, d.h., das Vermögen, für etwas Gehörtes im Sinne des richtigen Verstehens schnellstmöglich das passende verfügbare Muster zu finden und dies wiederzugeben (nachzusprechen oder niederzuschreiben), hängen vom verfügbaren Wortschatz und der damit verbundenen Sprachgewandtheit der Hörer ab. Jedoch sind Wortschatz und Sprachgewandtheit von einer Reihe individueller Faktoren des Hörers abhängig. Zur Entwicklung des Sprachwortschatzes und seiner Aktualität tragen zum Beispiel das persönliche Lebensalter und das des Verwandten- und Bekanntenkreises, der Grad der eigenen Bildung und der des Personenkreises des täglichen Umganges, der ausgeübte Beruf, individuelle Interessenlagen und Neigungen, wie Belesenheit, Kunst- und Kulturkenntnisse usw. und ebenso die individuelle Entwicklung und Erziehung im Elternhaus bei. Eventuelle psychische Beeinträchtigungen, wie gehäufte Konzentrationsstörungen oder Lernschwächen, sind gleichfalls nicht zu vernachlässigen.

Die Ausprägung der Sprachgewandtheit, einerseits auf der Grundlage des verfügbaren Sprachwortschatzes, andererseits als Ergebnis des entwickelten Sprachgefühls und Sprachstils, stehen in engem Zusammenhang mit der Fähigkeit, den Kontext zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit zu nutzen. Dies kann bei Sprachtestverfahren mit einer Darbietung von Sätzen eine erhebliche Rolle spielen.

Nach COLLINGS (2002) hat das menschliche Hirn eine „bemerkenswerte Fähigkeit, unvollständig empfangene auditive Muster zu dekodieren und zu kompensieren“, was eine wichtige Hilfe für Personen mit geringfügigen Hörbeeinträchtigungen sein kann. Am Beispiel von Unterrichts- bzw. Ausbildungsstätten sind jedoch Schüler mit Lernschwächen oder unterdurchschnittlich ausgeprägter Sprachgewandtheit und Schüler, deren Muttersprache nicht gleich der Unterrichtssprache ist, wiederum benachteiligt. Besonders betroffen sind auch jüngere Schüler. Aufgrund ihres eingeschränkteren Wortschatzes und noch fehlender Erfahrung im Umgang mit der Spra-

che können sie weniger als ältere Schüler und Studenten vom Kontext profitieren und im Satz fehlende Wörter auffüllen (vgl. auch NELSON und SOLI (2002)).

Der Effekt, wie sich unterschiedliche Sprachgewandtheit auf die Satzverständlichkeit auswirkt, zeigte sich auch in Ergebnissen des bereits zitierten Forschungsvorhabens zur Untersuchung der verbleibenden Sprachverständlichkeit bei der Transmission von Sprachsignalen aus dem Nachbarraum, welche dort mit unterschiedlichen Sprechpegeln, die typischen Sprechweisen entsprachen, dargeboten wurden (JOIKO, BORMANN und KRAAK, 2002). Bei Versuchsreihen mit dem Marburger Satzverständnistest (WESTRA, 1973) spielten dabei aufgrund des sehr niedrigen Signalpegels im Hörerraum infolge der mehr oder weniger guten Schalldämmung der Trennwände der Kontext und die Sprachgewandtheit offenbar eine entscheidende Rolle. Obwohl bei diesen Versuchsreihen nahezu ausschließlich Studenten als Testpersonen zum Einsatz kamen, bei denen man von einem vergleichbaren Bildungsgrad ausgehen sollte, schwankte der Wert korrekt verstandener Sätze zwischen 10% und 70% (was zur Folge hatte, dass nach der zweiten Testwand die Satzverständlichkeit nicht weiter geprüft wurde). Die These des Einflusses des Sprachgefühls wurde in den Versuchen dadurch gestützt, dass der beste Wert korrekt verstandener Sätze mit 70% von einer Studentin der Sprachwissenschaften im Fach Romanistik / Germanistik erbracht wurde. Der verwendete Sprachtest war ihr, wie auch allen anderen Probanden, vorher nicht bekannt. Als Nachteil am verwendeten Marburger Satzverständnistest wurde empfunden, dass einige Sätze einen Sprichwortcharakter trugen. Probanden, die mit Sprichwörtern gut vertraut sind, hatten dadurch den Vorteil, aus wenigen erkannten Wörtern den gesamten Satz bilden zu können.

Ein interessantes Ergebnis des vorstehend zitierten Forschungsvorhabens war gleichfalls, dass ein anfangs nur fallweise, in weiteren Versuchsreihen jedoch zunehmend häufiger angestellter Vergleich der Ergebnisse der audiometrischen Voruntersuchungen mit denen der Hörtests mehrfach deutlich gegenläufige Tendenzen zeigten. So erreichten in mehreren Fällen Probanden mit ermittelten Hörschwellen im unteren tolerierten Grenzbereich zum Teil überdurchschnittliche bis hervorragende Werte der Verständlichkeit durchhörter Sprache. Dagegen gab es Versuchspersonen mit auffällig sehr guten Audiogrammen, bei denen jedoch die Sprachverständlichkeit deutlich unter dem Durchschnitt der jeweiligen Gruppe lag. Sicher mag hierbei das

Bestreben zur Kompensation schlechterer Höreigenschaften durch eine höhere Anstrengung sowie auch unterschiedlicher Ehrgeiz der Probanden, trotz einer vergleichbaren hohen Motivation aller, eine gewisse Rolle spielen.

Natürlich lassen sich derartige persönliche Voraussetzungen der Probanden weder in Vorbefragungen noch in Vorversuchen hinreichend genau abschätzen. Zumal, wie bereits im Kapitel 4 dargelegt, der mit Modellen berechnete Wert der Sprachverständlichkeit nur Aussagen für Gruppen von Individuen mit vergleichbaren hörphysiologischen Eigenschaften zulässt, ist es ein nahezu aussichtsloses Bemühen, eine treffende Übertragungsfunktion von einem berechneten Vorhersagewert zu einer real zu erwartenden prozentualen Sprachverständlichkeit einer entsprechenden Population zu entwickeln. Die vorangestellten Argumente zeigen aber, dass eine Übertragungsfunktion, die lediglich auf der Art des verwendeten Sprachmaterials aufbaut (z.B. die nach Kryter zu Beginn des Kapitels 5), unter ungünstigen Voraussetzungen der Hörergruppe eine zu hohe prozentuale Verständlichkeit versprechen kann.

5.3 Frequenzeinflüsse auf die Sprachverständlichkeit bei unterschiedlichem Testmaterial

Erfahrungen aus vorangegangenen Forschungsvorhaben (z.B. JOIKO, BORMANN und KRAAK, 2002) zeigen, wie sensibel selbst bei „hörgesunden“ jungen Testpersonen die Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von Sprachmaterial und Frequenzband insbesondere im unterschwelligem Pegelbereich reagiert. Hierbei wurde unter anderem festgestellt, dass bei Verständlichkeitstests mit unterschiedlichen Sprachsignalen, die durch trennende Bauteile verschiedener frequenzabhängiger Dämmcharakteristiken übertragen wurden (was mit einer linearen Filterung des Sprachsignals vergleichbar ist), für die korrekte Verständlichkeit einsilbiger Substantive der Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 3150 Hz maßgeblich ist, während bei mehrsilbigen (zweistelligen) Zahlen der Bereich zwischen 315 Hz und 500 Hz offensichtlich ausreichend war.

Das legt nahe, dass insbesondere für Personengruppen mit Hörbeeinträchtigungen jene Vorhersageverfahren für die Sprachverständlichkeit zu favorisieren sind, die mit

einem hinreichend schmalbandigen Frequenzspektrum arbeiten. Um für diese Personengruppen, die in Abhängigkeit von Art und Grad ihrer Hörbeeinträchtigung sehr sensibel auf fehlende Frequenzgruppen reagieren können, den Einfluss von Auf- und Abwärtsmaskierung, der Selbstmaskierung der Sprache sowie der Maskierung durch bestimmte Störgeräuschkpektren mit einer möglichst hohen Genauigkeit in Betracht zu ziehen, erscheint eine Analyse der Eingangsvariablen im Oktavspektrum als nicht ausreichend. Daher sollten Verfahren zur Anwendung kommen, die wenigstens in Terzbandbreite arbeiten. Bezüglich der Praktikabilität und des Berechnungsaufwandes im Vergleich zur erzielbaren Analysetiefe der Signalcharakteristiken scheinen Vorhersagemodelle auf der Basis von Terzbändern für ein großes Spektrum von Anwendungen einem Optimum nahe zu kommen. Zumal sind Terzanalysen in der gesamten Akustik weit verbreitet. Folglich ist die verfügbare Messtechnik meist für diese Zwecke geeignet.

5.4 Vorzugsmodelle

Die im Abschnitt 4.1.4 zitierten Arbeiten von PAVLOVIC et al. beschreiben anhand der Modifizierung des Artikulationsindex (AI) eine Möglichkeit der Verwendung von objektiven Methoden zur Sprachverständlichkeitsbestimmung bei Gehörschäden (PAVLOVIC, 1987). Ein Vorteil der Modifikation von PAVLOVIC et al. ist, dass zur Anpassung ausschließlich das Audiogramm herangezogen wird. Dadurch kann der erforderliche Aufwand gering gehalten werden, wobei sich ihre Veröffentlichungen durch die sehr detaillierte Auflistung sämtlicher zur Berechnung des Artikulationsindex benötigten Größen für eine weitere Verwendung anbieten. Im Zusammenhang mit der Berücksichtigung von Gehörschäden erweist es sich weiterhin als vorteilhaft, dass zur Berechnung des Artikulationsindex im Vergleich zum Sprachübertragungsindex neben einer Aufteilung in Oktavbänder ebenfalls eine Aufteilung in Frequenzgruppen oder Terzbänder vorgesehen ist. Vielfach wird jedoch auch im Falle vorliegender Gehörschäden eine Berechnung der Sprachverständlichkeit in Oktavbändern als ausreichend angesehen. Besonders gut geeignet ist das Verfahren für geringer Hörgeschädigte mit einer Hörschwellenanhebung von bis zu 50 dB. Bei darüber hinaus liegenden Hörschwellen ergeben sich in der Regel zu gute Vorhersage-

werte. Als Testsignal können verschiedene Sprachmaterialien von bedeutungslosen Silben bis hin zur kontinuierlichen Unterhaltung (mit entfernten Sprechpausen zum Einsatz kommen).

Ebenso scheint der von LAZARUS (1990) und in ISO/CD 9921-2:1997 vorgestellte Modifizierte Artikulationsindex MAI einen guten Ansatz darzustellen, Sprachverständlichkeit unter Störbedingungen und bei unterschiedlichen Arten von Gehörbeeinträchtigungen mit einer befriedigenden Genauigkeit vorhersagen zu können. Vorteilhaft ist, dass der MAI das unbewusste Anheben des Sprechpegels infolge von Störgeräuschen am Ort des Sprechers in die Berechnung einbezieht und auch den Einfluss des Tragens von Gehörschutz auf den Sprechpegel vorsieht.

Der Sprachverständlichkeitsindex (SII) dient der Beschreibung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache. Er ist ein in den USA standardisiertes Vorhersageverfahren. Die Detailliertheit der Frequenzbänder und damit der erforderliche Berechnungsaufwand lässt sich zwischen 21 Bändern, 17 gleichverteilten Bändern, 18 Terzbändern oder 6 Oktavbändern wählen. Das Testsignal ist Sprache. Für die verschiedenen Sprachmaterialien gibt der Standard die jeweiligen Gewichtungen an. Das Berechnungsverfahren zum Sprachverständlichkeitsindex ist auch für die Berücksichtigung von Hörschäden geeignet. Es lässt sich jedoch nicht für Hörbeeinträchtigungen mit Supraschwellendefiziten anwenden. Darüber hinaus bietet dieses Verfahren eine nur recht grobe qualitative Bewertung der Sprachverständlichkeit mit gut bei $SII > 0,75$ und schlecht bei $SII < 0,45$.

Durch die Möglichkeit der Nutzung bereitgestellter Eingangsvariablen (Standardsprachspektren bei unterschiedlichen Sprechweisen, Bandbedeutungsfunktionen für verschiedene Sprachtests, Gewichtungsfaktoren usw.) ist eine übersichtliche, gut strukturierte Berechnung gewährleistet.

Der Sprachübertragungsindex (STI) beschreibt, wie auch der SII, die Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von unmaskierten Spektralanteilen der Sprache, wobei hier die Modulationsgradänderung zwischen Ein- und Ausgangssignal ausgewertet wird. Die Berechnung erfolgt in 7 Oktavbändern zwischen 125 Hz und 8000 Hz. Sie berücksichtigt die Verdeckung von niedrigeren auf höhere Oktavbänder. Nachhall wird direkt im Berechnungsverfahren bewertet. Das Verfahren liefert jedoch nur bei

wenig fluktuierendem Störgeräusch zufriedenstellende Ergebnisse. Es ist zudem nur bedingt für den Einsatz bei der Einbeziehung von Hörschäden geeignet. Die in IEC 60268-16 ebenfalls standardisierte Berechnungsmethode liefert eine gut detaillierte qualitative Einstufung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit des ermittelten STI-Wertes zwischen 0 und 1 zwischen schlecht bis hin zu ausgezeichnet.

Beispielrechnungen zu den Methoden des SII, des STI und des AI in der Modifikation nach Pavlovic sind im nachfolgenden Kapitel 6 angestellt. Der Abschnitt 6.4 gibt hierzu einen Vergleich und eine zusammenfassende Bewertung dieser drei Verfahren.

6 Beispielrechnungen zu ausgewählten Vorhersageverfahren

Zu einigen ausgewählten objektiven Vorhersageverfahren wurde im folgenden modellhaft die Sprachverständlichkeit berechnet. Unter der Voraussetzung vergleichbarer Ausgangsgrößen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Sprecher und Hörer sind Muttersprachler
- weder Sprecher noch Hörer tragen Gehörschutz
- die Nachhallzeit beträgt 1 s bei 500 Hz
- der Stimmaufwand entspricht normaler Sprache (kein Verlust der Sprachqualität durch lautes Sprechen)
- es werden drei Gruppen unterschiedlichen Hörvermögens betrachtet (siehe Tabelle 6.1.)
- es wird ein Störgeräusch entsprechend ANSI S 3.5-1997, Tabelle C1 (siehe Tabelle 6.2; Wert für $i = 1$ geschätzt) angenommen (kein Lombard-Effekt)
- das Sprachspektrum entspricht ANSI S 3.5-1997, Tabelle C1 (siehe Tabelle 6.2; Wert für $i = 1$ geschätzt)
- die Berechnung erfolgt auf der Grundlage von Oktavpegeln

Verglichen werden die folgenden Verfahren:

- Sprachverständlichkeitsindex (Speech Inteligibility Index, SII)

- Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index, STI) und
- Artikulationsindex (Articulation Index, AI) in der Modifizierung nach Pavlovic.

Tab. 6.1: Angenommene Hörverluste

Bandnummer i	Frequenz in Hz	Hörverlust Nor- malhörend in dB	Hörverlust mo- derat höre- geschädigt in dB	Hörverlust stark hörgeschädigt in dB
1	125	0	0	10
2	250	0	10	30
3	500	0	10	57
4	1000	0	30	60
5	2000	0	60	60
6	4000	0	50	70
7	8000	0	60	90

Tab. 6.2: Sprach- und Störpegel

Bandnummer i	Frequenz in Hz	Störgeräuschpegel in dB	Sprachpegel am Ort des Sprechers in dB
1	125	50	25
2	250	70	50
3	500	65	40
4	1000	45	40
5	2000	25	30
6	4000	1	20
7	8000	-15	0

6.1 Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII)

Die Berechnung des Sprachverständlichkeitsindex (Speech Intelligibility Index) kann nach ANSI S 3.5-1997 u.a. in sechs Oktavbändern von 250 Hz bis 8 kHz erfolgen. Dafür sind folgende Größen im Standard vereinbart:

Tab. 6.3: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Ausgewählte Eingangsgrößen nach ANSI S3.5-1997

Frequenz / Hz	Internes Referenz-Störschallspektrum X_i in dB	Standartsprachspektrum U_i für Normalsprache in dB	Band-Gewichtung I_i für Durchschnittsprache
250	-3,9	34,75	0,0617
500	-9,7	34,27	0,1671
1000	-12,5	25,01	0,2373
2000	-17,7	17,32	0,2648
4000	-25,9	9,33	0,2142
8000	-7,1	1,13	0,0549

Bei der Berechnung des SII in Oktavbandbreite werden standartgemäß keine Maskierungseffekte berücksichtigt! Das äquivalente Maskierungsspektrum Z_i ist damit gleich dem äquivalenten Störschallspektrum N_i' , siehe Tabelle 6.2.

Bei der Bestimmung des Sprachspektrums erfolgt nach ANSI S 3.5-1997 keine Eliminierung der Pausen!

Abfolge:

1. Berechnung des äquivalenten internen Störschallspektrums gemäß Gleichung $X_i' = X_i + \text{Hörverlust } T_i$ unter Annahme der Werte für die Hörverluste entsprechend Tabelle 6.1.

Tab. 6.4: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 1

Frequenz in Hz	Internes Referenz-Störschallspektrum X_i in dB	$X_{i1}' = X_i + \text{Hörverlust } T_{i1}$ in dB	$X_{i2}' = X_i + \text{Hörverlust } T_{i2}$ in dB	$X_{i3}' = X_i + \text{Hörverlust } T_{i3}$ in dB
250	-3,9	-3,9	6,1	26,10
500	-9,7	-9,7	0,3	47,30
1000	-12,5	-12,5	17,5	47,50
2000	-17,7	-17,7	42,3	42,30
4000	-25,9	-25,9	24,1	44,10
8000	-7,1	-7,1	52,9	82,90

2. Das äquivalenten Störschallspektrum D_i ergibt sich durch Ermittlung des Maximalwertes aus dem äquivalenten Maskierungsspektrum Z_i (für Oktavbandbetrachtungen gleich dem äquivalenten Störschallspektrum N_i') und dem äquivalenten internen Störschallspektrums X_i' : $D_i = \max. (N_i', X_i')$

Tab. 6.5: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 2

Frequenz in Hz	Störschallspektrum D_{i1} in dB	Störschallspektrum D_{i2} in dB	Störschallspektrum D_{i3} in dB
250	70,00	70,00	70,00
500	65,00	65,00	65,00
1000	45,00	45,00	47,50
2000	25,00	42,30	42,30
4000	1,00	24,10	44,10
8000	-7,10	52,90	82,90

3. Berechnung des Verzerrungspegel-Faktors L_i entsprechend der Gleichung $L_i = 1 - (E_i - U_i - 10)/160$ und anschließende Begrenzung auf max. $(L_i) = 1$
4. Ermittlung der temporären Variablen K_i entsprechend der Gleichung $K_i = (E_i' - D_i + 15)/30$ und anschließende Begrenzung auf den Wertebereich 0 bis 1

Tab. 6.6: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 3 und 4

Frequenz in Hz	$K_{i1} = (E_i' - D_{i1} + 15)/30$	$K_{i2} = (E_i' - D_{i2} + 15)/30$	$K_{i3} = (E_i' - D_{i3} + 15)/30$
250	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00
1000	0,33	0,33	0,25
2000	0,67	0,09	0,09
4000	1,00	0,36	0,00
8000	0,74	0,00	0,00

5. Berechnung der Band-Hörbarkeitsfunktion A_i durch Bildung des Produktes aus L_i und K_i

Tab. 6.7: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 5

Frequenz in Hz	$L_i = 1 - (E_i - U_i - 10) / 160$	$A_{i1} = L_i * K_{i1}$	$A_{i2} = L_i * K_{i2}$	$A_{i3} = L_i * K_{i3}$
250	0,97	0,00	0,00	0,00
500	1,00	0,00	0,00	0,00
1000	0,97	0,32	0,32	0,24
2000	0,98	0,66	0,09	0,09
4000	1,00	1,00	0,36	0,00
8000	1,00	0,74	0,00	0,00

6. Berechnung des Sprachverständlichkeits-Index SII durch Summierung der Produkte $A_i * I_i$ (Band-Hörbarkeitsfunktion * Bandgewichtung)

Tab. 6.8: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 6

Frequenz in Hz	$A_{i1} * I_i$	$A_{i2} * I_i$	$A_{i3} * I_i$
250	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00
1000	0,08	0,08	0,06
2000	0,17	0,02	0,02
4000	0,21	0,08	0,00
8000	0,04	0,00	0,00
	SII₁ = 0,50	SII₁ = 0,18	SII₁ = 0,08

Damit ergibt sich für den **Fall 1** (kein Hörverlust) ein Sprachverständlichkeitsindex von 0,50, was im Bereich **zwischen guter und schlechter Sprachverständlichkeit** liegt.

Für den weniger schweren Hörverlust **Fall 2** beträgt der Sprachverständlichkeitsindex 0,18, was einer **schlechten Sprachverständlichkeit** zuzuordnen ist.

Auch im Fall des schwereren Hörverlustes **Fall 3** mit einem Sprachverständlichkeitsindex von 0,35 ist eine Einordnung als **schlechte Sprachverständlichkeit** vorzunehmen.

6.2 Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI)

Die Berechnung des STI erfolgt in sieben Oktavbändern von 125 Hz bis 8 kHz entsprechend dem Verfahren nach Steenecken und Houtgast (1980), wie in Kapitel 4.3. beschrieben. Es wird ein wenig variierendes Störgeräusch vorausgesetzt.

Abfolge:

1. Für jedes Band wird anhand des Verhältnisses der mittleren Intensitäten des Testsignals und des Störgeräuschs (siehe Tabelle 6.2.) der Modulationsindex m_i bestimmt:

Tab. 6.9: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Eingangsgrößen nach Tabelle 6.2 und Zwischenergebnis aus Berechnungsabfolge 1

Bandnummer i	Frequenz in Hz	Störgeräusch- pegel /dB	Sprachpegel /dB am Ort des Sprechers	Modulations- index m_i
1	125	50	25	0,33
2	250	70	50	0,42
3	500	65	40	0,38
4	1000	45	40	0,47
5	2000	25	30	0,55
6	4000	1	20	0,95
7	8000	-15	0	0,00

2. Da im vorliegenden Fall keine zeitlichen Verzerrungen (Nachhall) einzubeziehen sind, besteht der nächste Schritt in der Berechnung der Maskierungswirkung des i -1ten Bandes $I_{am,i}$. Dazu wird die Intensität des i -1ten Bandes mit einem auditiven Maskierungsfaktor von $AMF = 0,000316$ multipliziert.

Tab. 6.10: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern
– Zwischenergebnis aus Berechnungsabfolge 2

Bandnummer i	Frequenz in Hz	Intensität der auditiven Maskierung $I_{am,i}$
1	125	0,000
2	250	0,000
3	500	0,015
4	1000	0,012
5	2000	0,012
6	4000	0,009
7	8000	0,006

3. Danach werden die Modulationswerte um die den Maskierungsfaktor und die Hörschwelle korrigiert. Man erhält den korrigierten Modulationsfaktor m_i' mit:

$$m_i' = m_i \cdot I_i / (I_i + I_{am,i} + I_{HV,i})$$

mit

I_i ... Intensität im i-ten Band,

$I_{am,i}$... Intensität der auditiven Maskierung im i-ten Band

$I_{HV,i}$... Hörverlust-Faktor im i-ten Band

Tab. 6.11: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern
– Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 3

Bandnummer i	Frequenz in Hz	Korrigierter Modulationsindex $m_{i,HV1}'$	Korrigierter Modulationsindex $m_{i,HV2}'$	Korrigierter Modulationsindex $m_{i,HV3}'$
1	125	0,3	0,3	0,2
2	250	0,4	0,3	0,3
3	500	0,4	0,3	0,2
4	1000	0,5	0,3	0,2
5	2000	0,5	0,2	0,2
6	4000	1,0	0,3	0,2
7	8000	0,4	0,0	0,0

4. Anhand der korrigierten Modulationsindizes wird der Signal-Rausch-Abstand SNR_i bestimmt nach: $SNR_i = 10 \lg [m_i' / (1-m_i')] \text{dB}$

Tab. 6.12: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 4

Bandnummer i	Frequenz in Hz	$SNR_{i,HV1}$	$SNR_{i,HV2}$	$SNR_{i,HV3}$
1	125	-3,01	-3,01	-5,05
2	250	-1,46	-2,74	-4,53
3	500	-2,11	-3,58	-7,30
4	1000	-0,51	-4,34	-6,35
5	2000	0,79	-6,53	-6,53
6	4000	12,97	-4,27	-5,71
7	8000	-15,00	-15,00	-15,00

5. Aus dem SNR_i wird der Übertragungsindex TI_i im jeweiligen Oktavband i ermittelt. Dabei wird analog zum AI nur ein Dynamikbereich von 30 dB betrachtet: $TI_i = (SNR_i + 15 \text{ dB}) / 30 \text{ dB}$ mit $0 \leq TI_i \leq 1$.

Tab. 6.13: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 5

Bandnummer i	Frequenz in Hz	$TI_{i,HV1}$	$TI_{i,HV2}$	$TI_{i,HV3}$
1	125	0,40	0,40	0,33
2	250	0,45	0,41	0,35
3	500	0,43	0,38	0,26
4	1000	0,48	0,36	0,29
5	2000	0,53	0,28	0,28
6	4000	0,93	0,36	0,31
7	8000	0,00	0,00	0,00

6. Aus den Übertragungsindexwerten aller sieben Oktavbänder kann abschließend der Sprachübertragungsindex als gewichteter Mittelwert berechnet werden: $STI = \sum (W_i * TI_i) * 100\%$. Der Gewichtungsfaktor gilt für einen männlichen Sprecher:

Tab. 6.14: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 6

Band- nummer i	Frequenz in Hz	Band- wichtung W_i	$W_i * T_{i,HV1}$	$T_{i,HV2}$	$T_{i,HV3}$
1	125	0,085	0,03	0,03	0,03
2	250	0,127	0,06	0,05	0,04
3	500	0,230	0,10	0,09	0,06
4	1000	0,230	0,11	0,08	0,07
5	2000	0,309	0,16	0,09	0,09
6	4000	0,224	0,21	0,08	0,07
7	8000	0,173	0,00	0,00	0,00
			STI = 0,67	STI = 0,42	STI = 0,35

Damit ergibt sich für den **Fall 1** (kein Hörverlust) ein Sprachübertragungsindex von 0,67, was einer **guten Sprachverständlichkeit** entspricht.

Für den weniger schweren Hörverlust **Fall 2** beträgt der Sprachübertragungsindex 0,42, was einer **schwachen Sprachverständlichkeit** zuzuordnen ist.

Auch für den **Fall 3** (schwereren Hörverlust) mit einem Sprachübertragungsindex von 0,35 ist eine Einordnung als **schwache Sprachverständlichkeit** vorzunehmen.

6.3 Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic

Die Berechnung des AI in der modifizierten Vorgehensweise nach Pavlovic erfolgt i.a. in 20 oder 21 Bändern. In der vorliegenden Beispielrechnung wird aus Gründen der Vergleichbarkeit eine Berechnung in sechs Oktavbändern von 250 Hz bis 8 kHz vorgenommen. Bei der Bestimmung des Sprachspektrums erfolgt im Gegensatz zum SII eine Eliminierung der Pausen! Die Leistungsdichte des Sprach- und Störsignals sind Tabelle 6-2 zu entnehmen. Für die Artikulationsgüte des Sprechers und die Vertrautheit des Hörers mit der Sprecherstimme wird der Optimalfall mit $P=1$ angesetzt.

Abfolge:

1. Für jedes Band wird die Leistungsdichte des maskierenden Rauschsignals N_i aus der Leistungsdichte des „internen“ Rauschsignals X_i und der Leistungsdichte des extern auftretenden Störgeräuschs $N_{e,i}$ ermittelt. Über das interne Rauschsignal erfolgt auch die Anpassung bei einer veränderten Hörschwelle, indem die Hörschwellenanhebung zu den tabellierten Werten X_i addiert wird. Die Leistungsdichte des maskierenden Rauschsignals N_i erhält man, indem aus beiden Signalen der Maximalwert benutzt wird.

Tab. 6.15: Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic in 6 Oktavbändern – Eingangsrößen und Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 1

Bandnummer i	Frequenz in Hz	Störgeräuschpegel in dB $N_{e,i}$	Internes Rauschsignal $X_{i, HV1}$	Internes Rauschsignal $X_{i, HV2}$	Internes Rauschsignal $X_{i, HV3}$	Maskierendes Rauschsignal $N_{i, HV1}$	Maskierendes Rauschsignal $N_{i, HV2}$	Maskierendes Rauschsignal $N_{i, HV3}$
1	250	70	-3,9	6,1	26,1	70,00	70,00	70,00
2	500	65	-9,7	0,3	47,3	65,00	65,00	65,00
3	1000	45	-12,5	17,5	47,5	45,00	45,00	47,50
4	2000	25	-17,7	42,3	42,3	25,00	42,30	42,30
5	4000	1	-25,9	24,1	44,1	1,00	24,10	44,10
6	8000	-15	-7,1	52,9	82,9	-7,10	52,90	82,90

2. Aus dem Sprachspitzenpegel, der sich aus der Summe des Langzeitmittelwertes der Sprache S_i plus 12 dB ergibt, und dem Pegel des maskierenden Rauschsignals N_i lässt sich der Informationsübertragungsfaktor W_i berechnen:

$$W_i = (S_i + 12 \text{ dB} - N_i) / 30 \text{ dB} \quad \text{mit } 0 \leq W_i \leq 1.$$

Tab. 6.16: Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic in 6 Oktavbändern –Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 2

Bandnummer i	Frequenz in Hz	Informations- übertragungs- faktor $W_{i, HV1}$	Informations- übertragungs- faktor $W_{i, HV2}$	Informations- übertragungs- faktor $W_{i, HV3}$
1	250	0,00	0,00	0,00
2	500	0,00	0,00	0,00
3	1000	0,23	0,23	0,15
4	2000	0,57	0,00	0,00
5	4000	1,00	0,26	0,00
6	8000	0,64	0,00	0,00

3. Unter Berücksichtigung der Bandgewichtungsfunktion I_i für durchschnittliche Sprache (Pavlovic 1997) berechnet sich der Artikulationsindex aus $AI = \sum (I_i * W_i)$.

Tab. 6.17: Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic in 6 Oktavbändern –Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 3

Band- nummer i	Frequenz in Hz	Band- wichtungs- funktion I_i	Informa- tionsüber- tragungs- faktor $W_{i, HV1}$	Informa- tionsüber- tragungs- faktor $W_{i, HV2}$	Informa- tionsüber- tragungs- faktor $W_{i, HV3}$
1	250	0,0617	0,00	0,00	0,00
2	500	0,1671	0,00	0,00	0,00
3	1000	0,2373	0,06	0,06	0,04
4	2000	0,2648	0,15	0,00	0,00
5	4000	0,2142	0,21	0,06	0,00
6	8000	0,0549	0,03	0,00	0,00
			AI = 0,45	AI = 0,11	AI = 0,04

4. In PAVLOVIC (1986) wird die Verwendung eines Sprachdesensibilisierungsfaktors D_i für Hörverluste > 15 dB empfohlen. Es gilt dabei
- $$D(f) = 1 \text{ für } L(f) < 15$$
- $$D(f) = 1,19 - 0,0127 * L(f) \text{ für } L(f) \geq 15 \leq 94$$
- $$D(f) = 0 \text{ für } L(f) > 94,$$

wobei $L(f)$ den Hörverlust in dB beschreibt.

Bezieht man diesen Faktor in die Betrachtungen ein, ergeben sich folgende Änderungen für den Artikulationsindex:

Tab. 6.18: Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic in 6 Oktavbändern –Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 4

Bandnummer i	Frequenz in Hz	$D_{i,HV1}$	$D_{i,HV2}$	$D_{i,HV3}$	$I_i * D_{i,HV1}^*$ $W_{i, HV1}$	$I_i * D_{i,HV2}^*$ $W_{i, HV2}$	$I_i * D_{i,HV3}^*$ $W_{i, HV3}$
1	250	1,0	1,0	0,8	0,00	0,00	0,00
2	500	1,0	1,0	0,5	0,00	0,00	0,00
3	1000	1,0	0,8	0,4	0,06	0,04	0,02
4	2000	1,0	0,4	0,4	0,15	0,00	0,00
5	4000	1,0	0,6	0,3	0,21	0,03	0,00
6	8000	1,0	0,4	0,0	0,03	0,00	0,00
					0,45	0,08	0,02

5. Für die Umwandlung der berechneten AI-Werte in Sprachverständlichkeitswerte ist eine Transformationsbeziehung notwendig. Dazu lässt sich die Übertragungsfunktion entsprechend Abb. 5.3 heranziehen.

Damit ergibt sich für den **Fall 1** (kein Hörverlust) mit einem AI von 0,45 eine prozentuale Satzverständlichkeit von 96%, was einer **sehr guten Sprachverständlichkeit** entspricht.

Für den weniger schweren Hörverlust **Fall 2** mit einem AI von 0,11 bzw. 0,08 beträgt die prozentuale Satzverständlichkeit 32%, was einer **schwachen Sprachverständlichkeit** zugeordnet werden könnte.

Im Fall des schwereren Hörverlustes **Fall 3** mit einem AI von 0,04 bzw. 0,02 liegt die prozentuale Satzverständlichkeit bei 3%; damit wäre eine Einordnung als **schlechte Sprachverständlichkeit** vorzunehmen.

6.4 Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Unter den vereinbarten Randbedingungen liefern alle drei ausgewählten Berechnungsverfahren für die angenommenen Hörverluste eine differenzierte Aussage zur erwartenden Sprachverständlichkeit.

Dabei zeigen die Ergebnisse für das SII - Verfahren die geringsten Unterschiede in der Prognose. Der Artikulationsindex liefert hingegen eine nahezu überproportionale Aufweitung der Sprachverständlichkeitsunterschiede.

Das STI - Verfahren scheint dahingegen eine deutliche Differenzierung vorzunehmen, ohne die Unterschiede überzubewerten. Es stellt damit für die vorliegenden Ausgangsdaten eine der am besten geeigneten Möglichkeiten zur objektiven Ermittlung der Sprachverständlichkeit dar.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war eine Bestandsaufnahme und Wertung bestehender Verfahren zur Vorhersage der Sprachverständlichkeit, auch unter Randbedingungen wie Hörbeeinträchtigungen und Störgeräuschen, als ein nicht zu unterschätzender Faktor der ergonomischen Beurteilung und Gestaltung von Arbeitsstätten.

Aufbauend auf umfangreichen Literaturrecherchen wurden die bekanntesten Vorhersagemodelle für die Sprachverständlichkeit hinsichtlich der Funktionsweise, des Berechnungsaufwandes, der Eignung für unterschiedliche Anwendungsfälle und der damit zu erwartenden Vorhersagegenauigkeit analysiert.

Keines der Modelle erfüllt vollständig die gestellten Erwartungen, dass es für eine möglichst umfassende Breite von Einsatzfeldern und deren Randbedingungen uneingeschränkt gültig ist. Daher ist unter Anwendung der Aussagen in den Kapiteln 4 und 5 eine Auswahl zu treffen, welches Modell mit seinen Eingangsvariablen die gegebene Situation am ehesten beschreibt.

Aus den recherchierten und in den Tabellen 5.1 und 5.2 zusammengefassten Vorhersagemodellen ist lediglich der Sprachinterferenzpegel (SIL) nicht für die Beurteilung der zu erwartenden Sprachverständlichkeit geeignet. Als bedingt geeignet muss

der Sprachübertragungsindex (STI) und der Modulationsübertragungsindex (MTI) angesehen werden. Der Sprachverständlichkeitsindex (SII) ist für Personen mit Hörbeeinträchtigungen geeignet, jedoch nicht bei Supraschwellendefiziten.

Bei den in dieser Arbeit analysierten und in Beispielrechnungen unter vergleichbaren Bedingungen von ausgewählten Eingangsbedingungen (angenommene Hörverluste, spektraler Sprach- und Störpegel sowie Bandgewichtung für Durchschnittssprache) verglichenen Modellen (SII, AI und STI) ergeben sich differenzierte Urteile zur zu erwartenden Sprachverständlichkeit. Unter den in den Tabellen 6.1 bis 6.3 vereinbarten Eingangsbedingungen zeigt der Artikulationsindex (AI) eine merklich überproportionale Aufweitung der Unterschiede der zu erwartenden Sprachverständlichkeit wogegen der Sprachverständlichkeitsindex SII die geringste Differenzierung aufweist. Ohne die Unterschiede überzubewerten, scheint der Sprachübertragungsindex (STI) unter den vereinbarten Randbedingungen eine deutliche Differenzierung vorzunehmen und könnte damit offensichtlich eine der derzeit am ehesten geeignete Möglichkeit unter den dargestellten Modellen sein, obwohl dieser in der zitierten Literatur als eher bedingt geeignet für Hörbeeinträchtigungen dargestellt wird.

Wenngleich aufgrund der sehr detailliert erforderlichen Eingangsdaten über Hintergrundgeräusch- und Sprachcharakteristik, die einen Vergleich zu den anderen Modellen verfälschen könnten und damit in die Beispielrechnungen nicht einbezogen wurde, berücksichtigt der Modifizierte Artikulationsindex (MAI) sowohl zusätzlich das Tragen von Gehörschutz als auch verschiedene Gehörschäden, somit die effektive Hörschwelle des Hörers. Er ist damit in der Berechnung aufwendiger als andere Verfahren und für Routineverfahren weniger geeignet.

Für alle Verfahren zusammen gilt, dass eine getroffene Vorhersage immer nur für eine Population unter vergleichbaren Umgebungsbedingungen, vergleichbaren Höreigenschaften und vergleichbaren Sprachcharakteristiken der Sprecher gilt, nicht jedoch für ein Einzelindividuum.

Eine Interpretation berechneter Vorhersagewerte hinsichtlich der tatsächlich erzielbaren prozentualen Sprachverständlichkeit war im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgesehen. Da die für die Umrechnung erforderlichen Übertragungsfunktionen an Grenzen stoßen (vgl. Kapitel 4 und 5), wären für jede interessierende Hörsituation und für jedes interessierende Vorhersagemodell subjektive Untersuchungen der Sprachverständlichkeit erforderlich. Dies müsste mit Hilfe realer, subjektiver Hörversuche, mög-

lichst unter Feldbedingungen, zumindest aber unter praxisnahen Laborbedingungen mit ausreichend großen Populationen von Hörbeeinträchtigten, welche jeweils einen vergleichbaren Grad der Gehörschädigung aufweisen, erfolgen. Hinsichtlich einer tiefergreifenden Dokumentation und einer umfassenderen Verifizierung der Modelle in Abhängigkeit der Geltungsbereiche und erzielbaren Vorhersagegenauigkeiten wäre dies eine lohnenswerte Aufgabenstellung. Für einige Fälle von Hörbeeinträchtigungen ist dies mit Hilfe von Simulationsverfahren denkbar, was den Untersuchungsaufwand erheblich einschränken könnte. Werden diese Untersuchungen mittels Simulation unterschiedlicher Hörbeeinträchtigungen mit jeweils der gleichen Gruppe von normalhörenden Versuchspersonen durchgeführt, ließen sich zudem zueinander besser vergleichbare Ergebnisse erzielen.

8 Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

(1) Im Bericht ausgewertete und zitierte Literaturstellen aus Zeitschriftenaufsätzen, Monografien, Berichten und Internetpublikationen

ADI private Informatik-Akademie gGmbH: Lärmschwerhörigkeit. In: der-gruene-faden.de. Magdeburg: 2001. Download unter: <http://der-gruene-faden.de/basic/impressum.html> bzw. <http://der-gruene-faden.de/text/text1044.html> am 31.01.2003.

ASA - Acoustical Society of America: Classroom Acoustics (Booklet). <http://asa.aip.org/classroom/booklet.html> . Aug. 2000. Download: 02.07.2002.

Beranek, L.L.: The design of speech communication Systems. Proc. IRE 35 (1947), 880–890.

Berger, H.J.: Zur Bewertung von Lärm hinsichtlich seiner Gehörschädlichkeit. Diss., Techn. Univ. Dresden 1978.

Borchgrevink, H.M.: One third of 18 year old male conscripts show noise induced hearing loss > 20 dB before start of military service. The incidence beeing doubled since 1981. Reflecting increased leisure noise? In: Berglund, B.; Berglund, U.; Karlsson, J.; Lindvall, T. (eds.): Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Health Problem, Swedish Council for Building Research. Vol. 2, 27-32. Stockholm, Sweden, 1988.

Bormann, V.; Fuder, G.; Heinecke-Schmitt, R.: Hörminderung und Sprachverständlichkeit bei Schülern in unterrichtstypischen Situationen. Vortrag zum 9. Oldenburger Symposiums zur Psychologischen Akustik: „Hören in Schulen“. Eingereicht zur Veröffentlichung in: Schick et al. (eds.): Contributions to Psychological Acoustics: Results of the 9th Oldenb. Symp. on Psychol. Acoust. Oldenburg: Bibl.- u. Inf.-syst. d. Univ. Oldenburg.

Bronkhorst, A.W.: The Cocktail Party Phenomenon: A Review of Research on Speech Intelligibility in Multiple-Talker Conditions. Acustica 86 (2000), 117-128.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 97 - Lärmbeurteilung – Gehörschäden. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 1996.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Gesundheitsschutz 4 - Lärmwirkungen: Gehör, Gesundheit, Leistung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, 2002.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Bericht der Bundesregierung vom Dezember 1998.

Bundesregierung Deutschlands: Hervorragende Bilanz bei Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz. Bericht der Bundesregierung. In: Sozialpolitische Umschau 44 (2002), 4 vom 22.01.2002.

- Carhart, R.C.; Tillmann, T.W.:** Interaction of competing speech signals with hearing losses. *Arch. Otolaryng.* 91 (1970), 273-279.
- Collings (PE), D.A.:** The Impact of Room Acoustics on Classroom Communication. <http://www.connix.com/~collings/classroom.html> . Download: 03.07.2002.
- Dieroff, H.-G. :** Physiologie und Morphologie der Gehörschäden. In: Fasold, W.; Kraak, W.; Schirmer, W. (Hrsg.): Taschenbuch Akustik (Kap. 2.3). 1. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1984.
- Dieroff, H.-G. :** Lärmschwerhörigkeit. 3. Aufl. Jena, Stuttgart: G.Fischer 1994.
- Dijkhuizen van, J.N.; Festen, J.M.; Plomp, R.:** The effect of varying the amplitude-frequency response on the masked speech-reception threshold of sentences for hearing-impaired listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 086 (1989), 02, 621-628.
- Dirks, D.D.; Bell, T.S.; Rossmann, R.N.; Kincaid, G.E.:** Articulation Index predictions of contextually dependent words. *J. Acoust. Soc. Am.* 080 (1986), 01, 82-92.
- Dreschler, W.A.; Plomp, R.:** Relation between psychophysical data and speech perception for hearing-impaired subjects I. *J. Acoust. Soc. Am.* 068 (1980), 06, 1608-1615.
- Dreschler, W.A.; Plomp, R.:** Relation between psychophysical data and speech perception for hearing-impaired subjects II. *J. Acoust. Soc. Am.* 078 (1985), 04.
- Dugal, R.L.; Braida, L.D.; Durlach, N.I.:** Implication of previous research for the selection of frequency-gain characteristics. In: Studebaker, G.A.; Hochberg, I. (eds.): *Acoustical Factors Affecting Hearing Aid Performance*. University Park Baltimore, MD: (1980), Chap. 17, 379-403.
- Duquesnoy, A.J.:** Effect of a single interfering noise or speech source upon the binaural sentence intelligibility of aged persons. *J. Acoust. Soc. Am.* 074 (1983a), 03, 739-743.
- Duquesnoy, A.J.:** The intelligibility of sentences in quiet and in noise in aged listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 074 (1983b), 04, 1136-1144.
- Duquesnoy, A.J. Plomp, R.:** Effect of reverberation and noise on the intelligibility of sentences in case of presbycusis. *J. Acoust. Soc. Am.* 068 (1980), 02, 537-544.
- Felchlin, I.; Hohmann, B.W.:** Gehörgefährdung durch "Walkman"-Geräte. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA '97*. Oldenburg: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. c/o Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, FB Physik. Akustik 1997. 493-494.
- Festen, J.M.; Plomp, R.:** Relations between functions in impaired hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 073 (1983), 02.
- Festen, J.M.; Plomp, R.:** Speech-reception threshold in noise with one and two hearing aids. *J. Acoust. Soc. Am.* 079 (1986), 02, 465-471.
- Festen, J.M.; Plomp, R.:** Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception for impaired and normal hearing. *J. Acoust. Soc. Am.* 088 (1990), 04, 1725-1736.
- Fletcher, H.; Galt, R.H.:** The Perception of Speech and its Relation to Telephony. *J. Acoust. Soc. Am.* 022 (1950) 02, 89-151.

- Fletcher, H.; Steinberg, J.C.:** Articulation testing methods. Bell Sys. Tech. 08 (1929), 806-854.
- Fontanellaz, G.:** Objektive Verständlichkeitsmessungen an Teilnehmerapparaten. Technische Mitteilungen, PTT 12 (1951) (Reprint).
- French, N.R.; Steinberg, J.C.:** Factors governing the intelligibility of speech sounds. J. Acoust. Soc. Am. 019 (1947), 01, 90-119.
- Fuder, G.:** Beurteilung der gehörschädigenden Wirkung von Lärm anhand der vollständigen Erfassung verschiedenartiger Lärmexpositionen. In: Fortschritte der Akustik - DAGA '93. Bad Honnef: DPG-GmbH 1993.
- Fuder, G.:** Einbeziehung des altersabhängigen Hörverlustes in Lebensdosismodelle zur Prognose lärmbedingter Gehörschäden. In: Fortschritte der Akustik - DAGA '94. Bad Honnef: DPG-GmbH 1994.
- Fuder, G., Herhold, J., Kracht, L.:** Das Dresdner Gehörschadensmodell. In: Hörbericht. Informationen für den HNO-Arzt. 46, Schriftenreihe von Hörgeräte-GEERS. Dortmund 1991.
- Fuder, G.; Kracht, L.:** Zur Schadenswirkung quasistationären Lärms auf den Menschen. Diss. Techn. Univ. Dresden 1973.
- Harten, H.:** Qualitätsbewertung von binauralen Hörgeräten. FH Lübeck, FB Angewandte Naturwissenschaften / Technisches Gesundheitswesen - Deutsches Hörgeräteinstitut: Diplomarbeit 2000. <http://www.dhi-online.de/DhiNeu/Harten/doku/start.htm> ff. Download: 18.04.2001.
- Hawkins, J.E.; Stevens, S.S.:** The masking of pure tones and of speech by white noise. J. Acoust. Soc. Am. 022 (1950), 01, 6-13.
- Holube, I.:** Experimente und Modellvorstellungen zur Psychoakustik und zum Sprachverstehen bei Normal- und Schwerhörigen. Diss., Univ. Göttingen 1993.
- Holube, I.; Kollmeier, B.:** Ein psychoakustisch motiviertes Perzeptionsmodell zur Sprachverständlichkeitsvorhersage. In: Fortschritte der Akustik - DAGA '94. Bad Honnef: DPG-GmbH 1994.
- Holube, I.; Kollmeier, B.:** Speech intelligibility prediction in hearing impaired listeners based on a psychoacoustically motivated perception model. J. Acoust. Soc. Am. 100 (1996), 03, 1703-1716.
- Horst, J.W.:** Frequency discrimination of complex signals, frequency selectivity, and speech perception in hearing-impaired subjects. J. Acoust. Soc. Am. 082 (1987), 03, 875-885.
- Houtgast, T.; Steeneken, H.J.M.:** Evaluation of Speech Transmission Channels by Using Artificial Signals. Acustica 25 (1971), 355-367.
- Houtgast, T.; Steeneken, H.J.M.:** The Modulation Transfer Function in Room Acoustics as a Predictor of Speech Intelligibility. Acustica 28 (1973), 66-73.
- Houtgast, T.; Steeneken, H.J.M.; Plomp, R.:** Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function. I. General Room Acoustics. Acustica 46 (1980), 60-72.

- Humes, L.E.; Dirks, D.D.; Bell, T.S.; Ahlstrom, C.; Kincaid, G.E.:** Application of the Articulation Index and the Speech Transmission Index to the Recognition of Speech by Normal Hearing and Hearing-Impaired Listeners. *J. Speech Hear. Res.* 29 (1986), 447-462.
- Humes, L.E.; Dirks, D.D.; Bell, T.S.; Kincaid, G.E.:** Recognition of nonsense syllables by hearing-impaired listeners and by noise masked normal hearers. *J. Acoust. Soc. Am.* 081 (1987a), 03, 765-773.
- Humes, L.E.; Boney, St.; Loven, F.:** Further validation of the speech transmission index (STI). *J. Speech Hear. Res.* 30 (1987b), 403-410.
- Irwin, R.J.; McAuley, S.F.:** Relations among temporal acuity, hearing loss and the perception of speech distorted by noise and reverberation. *J. Acoust. Soc. Am.* 081 (1987), 05.
- Ising, H.; Babisch, W.; Gandert, J.; Scheuermann, B.:** Hörschäden bei jugendlichen Berufsanfängern aufgrund von Freizeitlärm und Musik. *Z. Lärmbekämpf.* 35 (1988) 2, 35-41.
- Joiko, K.; Bormann, V.; Kraak, W.:** Durchhören von Sprache bei Leichtbauwänden. *Z. Lärmbekämpf.* 49 (2002) 3, 79-85.
- Jokinen, K.:** Presbycusis. VI. Masking of speech. *Acta Otolaryngol.* 76 (1973), 426-430.
- Kamm, C.A.; Dirks, D.D.; Bell, T.S.:** Speech recognition and the articulation index for normal and hearing-impaired listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 077 (1985) 01, 281-288.
- Kliem, K.; Kollmeier, B.:** Ein Zweisilber-Reimtest in deutscher Sprache. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. Heidelberg: Median 1992, 287-310.
- Koch, R.:** Gehörgerechte Schallanalyse zur Vorhersage und Verbesserung der Sprachverständlichkeit. Diss., Univ. Göttingen 1993. In: *VDI Fortschr. Ber. R 17 Biotechnik*, Nr. 94.
- Kraak, W.:** Investigations on criteria for the risk of hearing loss due to noise. In: *Hearing Research and Theory*. New York: Academic Press Vol.1 (1981), 187-303.
- Kraak, W.:** Vorausbestimmung der Gehörbeeinträchtigung durch Lärm. In: Fasold, W.; Kraak, W.; Schirmer, W. (Hrsg.): *Taschenbuch Akustik*. 1. Aufl. Berlin: VEB Verlag Technik 1984.
- Kraak, W.:** Berechnungsbeispiel zum Artikulationsindex. Unveröffentlichtes Arbeitspapier. Dresden: 1997.
- Kraak, W.; Kracht, L. and Fuder, G.:** The formation of hearing damage as a consequence of accumulated noise effects. *Acustica* 38 (1977).
- Kristian, A.:** Telekommunikation für Gehörlose. *Funkschau* (1999), 3, 44-45.
- Kryter, K. D.:** Effects of ear protective devices on the intelligibility of speech in noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 018 (1946), 413-417.
- Kryter, K. D.:** Methods for the Calculation and Use of the Articulation Index. *J. Acoust. Soc. Am.* 034 (1962a), 11, 1689-1697.

- Kryter, K. D.:** Validation of the Articulation Index. *J. Acoust. Soc. Am.* 034 (1962b), 11, 1698-1702.
- Kryter, K. D.:** Impairment to hearing from exposure to noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 39 (1973), 1211-1234.
- Lazarus, H.:** Ein Modell zur sprachlichen Kommunikation unter Störbedingungen und deren Bewertung. *Rundfunktech. Mitteilungen* 30 (1986a), 2, 59-72.
- Lazarus, H.:** Prediction of Verbal Communication in noise - A review: Part 1. *Appl. Acoust.* 19 (1986b), 439-464.
- Lazarus, H.:** Prediction of verbal Communication in noise - A development of generalised SIL curves and the quality of communication: Part 2. *Appl. Acoust.* 20 (1987), 2, 245-261.
- Lazarus, H.:** New methods for describing and assessing direct speech communication under disturbing conditions. *Environment International* 16 (1990), 373-392.
- Lazarus, H.:** Noise and communication. In: Carter, N.; Job, R.F.S. (eds): *Noise Effects '98 Vol. 1. 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem.* Sydney: 1998, 157-162.
- Lazarus, H.; Lazarus-Mainka, G.; Schubeius, M.:** *Sprachliche Kommunikation unter Lärm.* L. Kiehl Verlag GmbH: Ludwigshafen (Rhein) 1985.
- Lazarus-Mainka, G.:** Speech communication under the influence of disturbing noise in a speaker-hearer interaction. In: Schick, A.; Höge, H.; Lazarus-Mainka, G. (eds.): *Contributions to psychological acoustics.* Oldenburg: Bibliotheks- u. Informationssystem der Universität Oldenburg 1986, 185-222.
- Lazarus-Mainka, G.; Lazarus, H.:** Der Einfluss der Sprechweise auf die Sprachverständlichkeit. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA '84.* Bad Honnef: DPG-GmbH 1994, 865-867.
- Lazarus-Mainka, G.; Reck, S.:** Sprachverständlichkeit als Funktion der Prosodie. *Psychol.* 194 (1986), 191-204.
- Lazarus-Mainka, G.; Tkocz, N.:** Sprechen und Sprechanstrengung. *Z. Lärm-bekämpf.* 35 (1988), 6, 157-162.
- Lee, L.W.; Humes, L.E.:** Evaluating a speech-reception threshold model for hearing-impaired listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 093 (1993), 05, 2879-2885.
- Lochner, J.P.A.; Burger, J.F.:** The intelligibility of speech under reverberant conditions. *Acustica* 11 (1961), 195-200.
- Ludvigsen, C.:** Relations among some psychoacoustic parameters in normal and cochlearly impaired listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 078 (1985), 04, 1271-1280.
- Ludvigsen, C.:** Prediction of speech intelligibility for normal-hearing and cochlearly hearing-impaired listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 082 (1987), 04, 1162-1171.
- Ludvigsen, C.:** The use of objective methods to predict the intelligibility of hearing aid processed speech. In: Beilin, J. (Ed.): *Recent Developments in Hearing Instrument Technology.* Scanticon, Kolding, Dänemark 1993, S. 81-94.
- Ludvigsen, C.; Poulsen, T.; Elberling, C.:** Prediction of intelligibility of nonlinearly processed speech. *Acta Otolaryngol. Suppl.* 78 (1990), 156.

- Miller, G.A.:** The Masking of Speech. Psychol. Bull. 44 (1947), 105-129.
- Miller, G.A.; Lickleder, J.C.R.:** The intelligibility of interrupted speech, J. Acoust. Soc. Am. 22 (1950), 167-173.
- Moore, B.J.C.:** An introduction to the psychology of hearing. London: Academic Press (1997).
- Müsch, H.:** Fletcher and Galt's Method for calculating the Articulation Index. Unter: <http://www.cdsp.neu.edu/info/students/hmuesch/> ; Last update 11.1999. Download: 02.2001.
- Müsch, H.:** Review and computer implementation of Fletcher and Galt's Method for calculating the Articulation Index. Acoust. Res. Lett. Onl. 2 (2001), 1. Publ. Onl. 28.12.00. © 2000 Acoust. Soc. of Am. <http://server1.cdsp.neu.edu/info/students/hmuesch/> . Download 05.2002.
- Müsch, H.; Buus, S.:** A model for predicting speech intelligibility. J. Acoust. Soc. Am. 109 (2001), 06 Pt 2, 2896-2909.
- Nakladal, C.; Henning, P.:** Bewertung der Hörbarkeit und des Ortungsvermögens von Warnsignalen beim Tragen von Gehörschutz unter den Gesichtspunkten der Vermeidung von Unfällen und der Motivation zur Erhöhung der Tragebereitschaft. In: Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (Hrsg.), (1996).
- Nakladal, C.; Listner, T.:** Objektivierung der Sprachverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz zur Verbesserung der Tragebereitschaft. In: Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (Hrsg.), (1997).
- Nelson, P.B. & Soli, S.:** Acoustical Barriers to Learning: Children at Risk in Every Classroom. Hearit Company, N. Mammoth Dr. Tucson. <http://www.hearitllc.com/asha012.htm> . Download: 03.07.2002.
- Palva, T.:** Studies of hearing for pure tones and speech in noise. Acta Otolaryngol. 45 (1955), 231-243.
- Patterson, R.D.; Nimmo-Smith, L.; Weber, D.L.; Milroy, R.:** The deterioration of hearing with age: Frequency selectivity, the critical ratio, the audiogram and spectral threshold. J. Acoust. Soc. Am. 72 (1982), 06, 1788-1803.
- Patterson, R.D.; Robinson, K.; Holdsworth, J.; McKeown, D.; Zhang, C.; Allershand, M.:** Complex sound and auditory images. In: Casals, Y. et al. (eds.): Advances in the Biosciences 83. Pergamon, London 1991.
- Pavlovic, C.V.:** Use of the articulation index for assessing residual auditory function in listeners with sensorineural hearing impairment. J. Acoust. Soc. Am. 075 (1984), 04, 1253-1258.
- Pavlovic, C.V.:** Derivation of primary parameters and procedures for use in speech intelligibility predictions. J. Acoust. Soc. Am. 082 (1987), 02, 413-422.
- Pavlovic, C.V.; Studebaker, G.A.:** An evaluation of some assumptions underlying the articulation index. J. Acoust. Soc. Am. 075 (1984), 05, 1606-1612.
- Pavlovic, C.V.; Studebaker, G.A.; Sherbecoe, R.L.:** An articulation index based procedure for predicting the speech recognition performance of hearing-impaired individuals. J. Acoust. Soc. Am. 080 (1986), 01, 50-57.

- Payton, K.L.; Braida, L.D.:** A method to determine the speech transmission index from speech waveforms. *J. Acoust. Soc. Am.* 106 (1999), 06, 3637-3648.
- Peutz, V.M.A.; Klein, W.:** Articulation loss of consonants influenced by noise, reverberation and echo. In: *Proc. Of the 1973 FASE Symposium of Speech Intelligibility*. Liege, Belgium 1973, 89-97.
- Pfander, F.:** *Das Knalltrauma*. Berlin: Springer 1975.
- Picard, M.; Bradley, J.S.:** Revisiting Speech Interference by Noise in Classrooms and Considering Some Possible Solutions. In: *Acoustical Soc. of America: 133rd Meeting Lay Language Papers*, June 1997).
<http://www.acoustics.org/press/133rd/2paaa3.html> . Download: 03.07.2002.
- Pickett, J.M.:** Effects of vocal force on the intelligibility of speech sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 028 (1956), 902-905.
- Plomp, R.:** Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. *J. Acoust. Soc. Am.* 063 (1978), 533-549.
- Plomp, R.:** A signal- to- noise- ratio model for the speech reception threshold of the hearing impaired. *J. Speech Hear. Res.* 29 (1986), 146-154.
- Plomp, R.; Duquesnoy, A.J.; Smoorenburg, G.F. :** Effects of noise and reverberation on the speech reception threshold of hearing-impaired listeners. Rossi, G. et al. (Eds.): *Noise as a public health problem* (pp. 489-500). Milano 1983.
- Plomp, R.; Mimpfen, A.M.:** Speech reception threshold for sentences as a function of age and noise level. *J. Acoust. Soc. Am.* 066 (1979a) 05, 1333-1342.
- Plomp, R.; Mimpfen, A.M.:** Improving the Reliability of Testing the Speech Reception Threshold for Sentences. *Audiology* 18 (1979b), 43-52.
- Püschel, D.:** *Prinzipien der zeitlichen Analyse beim Hören*. Diss., Univ. Göttingen 1988.
- Rankovic, C.M.:** Prediction of speech reception for listeners with sensorineural hearing loss. In: Jesteadt, W. (edt): *Modeling sensorineural hearing loss*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. 1997, 421-431.
- Rankovic, C.M.:** Factors governing speech reception benefits of adaptive linear filtering f. listeners with sensorineural hearing loss. *J. Acoust. Soc. Am.* 103 (1998), 02, 1043-1057.
- Rostolland, D.:** Phonetic structure of shouted voice. *Acustica* 51 (1982a), 80-89.
- Rostolland, D.:** Acoustic features of shouted voice. *Acustica* 50 (1982b), 118-125.
- Rostolland, D.:** Intelligibility of shouted voice. *Acustica* 57 (1985), 103-121.
- Rostolland, D.; Parant, C.:** Distortion and intelligibility of shouted voice. *Symposium Speech Intelligibility*. Liege: Editions Derouaux; 1973.
- Schick, A.:** Zum Tag der Ruhe am 25. April 2001 – gewidmet den Lehrern und Schülern. <http://www.dalaerm.de/> . Download: 08.2002.
- Schick, A. et al.:** Die Lärmbelastung von Lehrern und Schülern - ein Forschungsstandsbericht. *Z. Lärmbekämpf.* 46 (1999), 3, 77-87.

- Schick, A. et al.:** Noise Stress in Classrooms. In: Schick, A.; Meis, M.; Reckhardt, C. (eds.): Contributions to Psychological Acoustics: Res. of the 8th Oldenb. Symp. on Psych. Ac., pp. 533-569. Oldenbg.: Bibl.- u. Inf.syst. d. Univ. Oldenburg 2000. www.psychologie.uni-oldenburg.de/mub/schick.pdf . Download: 08.2002.
- Schijndel van, N.H.; Houtgast, T.; Festen, J.M.:** The effect of intensity perturbations on speech intelligibility for normal-hearing and hearing-impaired listeners. J. Acoust. Soc. Am. 109 (2001a), 05 Pt. 1, 2202-2210.
- Schijndel van, N.H.; Houtgast, T.; Festen, J.M.:** Effects of degradation of intensity, time or frequency content on speech intelligibility for normal hearing and hearing-impaired listeners. J. Acoust. Soc. Am. 110 (2001b), 01, 529-542.
- Skinner, M.W.; Miller, J.D.:** Amplification bandwidth and intelligibility of speech in quiet and noise for listeners with sensorineural hearing loss. Audiology 22 (1983), 253-279.
- Smooenburg, G.F.; de Laat, J.A.P.M.; Plomp, R.:** The effect of noise induced hearing loss on the intelligibility of speech in noise. In: Borchgreving, H.M. (Ed): Hearing & hearing prophylaxis. Scand. Audiol. Suppl. 16 (1982), 123-133.
- Sozialministerium Mecklenburg-Vorpommern:** Leitfaden Raumakustik in Unterrichtsräumen - ein aktuelles Thema der Schulhygiene. online-Redaktion des DAL, Frankenstr. 25, 40476 Düsseldorf. www.dalaerm.de . Dowload 08.2002.
- Steeneken, H.J.M.; Houtgast, T.:** A physical method for measuring speech-transmission quality. J. Acoust. Soc. Am. 067 (1980), 01, 318-326.
- Tyler, R.S.; Wood, E.J.; Fernandes, M.:** Frequency resolution and hearing loss. British Journal of Audiology 16 (1983), 45-63.
- Tennhardt, H.-P.:** Richtwerte für Nachhallzeiten großer Auditorien. iEMB-Info (www.), 2002.
- Wesselkamp, M.:** Messung und Modellierung der Verständlichkeit von Sprache. Diss., Univ. Göttingen 1994.
- Wesselkamp, M.; Holube, I.; Kollmeier, B.:** Untersuchungen zur objektiven Berechnung der Verständlichkeit von Sprache mit einem Modell des auditorischen Systems. In: Fortschritte der Akustik - DAGA '95. Hrsg. W. Arnold und S. Hirsekorn. Dortmund: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.v. c/o Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, FB Physik. Akustik 1995.
- Westra Electronic GmbH:** Gehörprüfung mit Sprache (Marburger Satzverständnistest) nach DIN 45621: Auf: WESTRA DIGITAL AUDIOMETRIE DISC NR. 2. Westra 1973.
- Westra Electronic GmbH:** Wörter für Gehörprüfung mit Sprache (Freiburger Zahlen- und Wörterverständnistest) nach DIN 45621 und 45626. Auf: WESTRA DIGITAL AUDIOMETRIE DISC NR. 1. Westra 1976.
- Zwicker, E., Fastl, H.:** Psychoacoustics - Facts and Models. Berlin, Heidelberg: Springer 1999, 345 ff.

(2) Im Bericht ausgewertete und zitierte Normen

ANSI S3.5-1969: Methods for the Calculation of the Articulation Index.

ANSI S3.5-1997: Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index.

DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittleren Räumen. Oktober 1968

DIN 33410: Sprachverständigung in Arbeitsstätten unter Einwirkung von Störgeräuschen; Begriffe, Zusammenhänge. Dezember 1981.

DIN 45621-01: Sprache f. Gehörprüfung; Ein- u. mehrsilbige Wörter (Ersatz für DIN 45621: Oktober 1973). August 1995.

DIN 45626-01: Tonträger mit Sprache für Gehörprüfung; Tonträger mit Wörtern nach DIN 45621-1 (Ersatz für DIN 45626: August 1976). August 1995.

DIN EN 60268-16: Elektroakustische Geräte; Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex. Februar 1999.

DIN EN ISO 140-04: Akustik - Messung von Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen; Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen. Dezember 1998.

DIN EN ISO 717-01: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen; Luftschalldämmung. Januar 1997.

DIN EN ISO 9921: Ergonomie; Beurteilung der Sprachkommunikation (ISO/DIS 9921:2001); Deutsche Fassung prEN ISO 9921:2001. Entwurf, Januar 2002.

IEC 60268-16: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech Intelligibility by speech transmission index. 1998.

ISO 1999 2nd edit.: Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. January 1990.

ISO 9921-1: Ergonomic assessment of speech communication - Part 2: Speech interference level and communication for persons with normal hearing capacity in direct communication (SIL method). April 1995 (E).

ISO/CD 9921-2: Ergonomic assessment of speech communication - Part 2: Assessing the speech communication by means of the modified articulation index (MAI method). January 1997.

ISO/TR 4870: Aufbau und Kalibrierung von Sprachverständlichkeitstests. 1991.

VDI 2058-2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. Juni 1988

8.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 2.1: Bereiche des Hörens und der Schwerhörigkeit nach: Gesundheitsschutz 4 – Lärmwirkungen: Gehör, Gesundheit, Leistung, BAuA (2002)
- Abb. 2.2: Wahrgenommene Lautstärke in Abhängigkeit vom Pegel bei Normal- und Schwerhörigen. Schematische Darstellung zur Erklärung der Recruitment-Phänomene nach: [Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 97: Lärmbeurteilung - Gehörschäden, BAuA (1996)]
- Abb. 2.3: Hörverluste aufgrund breitbandigem Dauerlärm in Abhängigkeit vom Einwirkungszeitraum nach: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 97: Lärmbeurteilung - Gehörschäden, BAuA (1996)
- Abb. 3.1: Stimmaufwand ohne und mit Gehörschutz in dB(A) als Funktion des Umgebungsgeräuschpegels beim Sprecher in dB(A) nach ISO 9921-1: 1995 (E)
- Abb. 4.1: Flussdiagramm zur Berechnung des MAI nach ISO/CD 9921-2 (1997)
- Abb. 4.2: SRT-Mittelwerte für Sätze in Abhängigkeit von Geräuschpegel und Alter nach PLOMP und MIMPEN (1979a)
- Abb. 4.3: Abhängigkeit des STI von der Nachhallzeit nach PLOMP und DUQUESNOY (1980)
- Abb. 4.4: Binauraler Sprachverständlichkeits-Schwellwert (SRT) für Sätze in Abhängigkeit vom Störgeräuschpegel nach PLOMP (1978)
- Abb. 4.5: Spektrale Standardsprachpegel für verschiedene Sprechweisen in dB nach ANSI S3.5-1997
- Abb. 5.1: In subjektiven Hörversuchen ermittelte Sprachverständlichkeit für zweistellige Zahlen und einsilbige Substantive, transmittiert durch Montagewände aus Gipsplatten bei verschiedenen Sprechpegeln zum Vergleich mit der frequenzabhängigen Dämmcharakteristik dieser Wände nach JOIKO et al. (2002)
- Abb. 5.2: Oktavbandpegel in dB für männliche und weibliche Sprache, bezogen auf den auf 0 normierten A-bewerteten Langzeit-Sprachpegel nach DIN EN 60268-16 (1999)

- Abb. 5.3: Übertragungsfunktion zwischen dem Artikulationsindex und der zu erwartenden prozentualen Verständlichkeit von Sätzen und nicht sinnbehafteten Einsilbern (Auszug) nach KRYTER (1962) in Anlehnung an FRENCH und STEINBERG (1949) und MILLER (1947); nachbearbeitet von KRAAK (1997) und den Autoren der vorliegenden Arbeit (2002)
- Abb. 6.1: Angenommener Hörverlust 1
- Abb. 6.2: Angenommener Hörverlust 2
- Abb. 6.3: Angenommener Hörverlust 3
- Abb. 6.4: Ergebnisse der AI-Berechnung bei angenommenem Hörverlust 1
- Abb. 6.5: Ergebnisse der AI-Berechnung bei angenommenem Hörverlust 2
- Abb. 6.6: Ergebnisse der AI-Berechnung bei angenommenem Hörverlust 3

8.3 Tabellenverzeichnis

- Tab. 2.1: Beispielhafte Annahme für Schalleexpositionen in Beruf und Freizeit
- Tab. 4.1: Terzband SII Verfahren – Frequenzen, Bandbedeutungsfunktion, Standardsprachspektren, internes Geräusch, Hörschwellenpegel und Übertragungsfunktion vom Freifeld zum Trommelfell
- Tab. 4.2: Bedeutungsfunktionen verschiedener Sprachtests am Beispiel für das Berechnungsverfahren des SII in Terzbändern nach ANSI S3.5-1997
- Tab. 5.1: Vergleich ausgewählter Vorhersagemodelle (AI mit Modifizierungen, SII) (Blätter 1 bis 4)
- Tab. 5.2: Vergleich ausgewählter Vorhersagemodelle (STI, MTI, SIL und SRT) (Blätter 1 bis 3)
- Tab. 6.1: Angenommene Hörverluste
- Tab. 6.2: Sprach- und Störpegel
- Tab. 6.3: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Ausgewählte Eingangsgrößen nach ANSI S3.5-1997
- Tab. 6.4: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 1

- Tab. 6.5: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 2
- Tab. 6.6: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 3 und 4
- Tab. 6.7: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 5
- Tab. 6.8: Beispielrechnung zum Sprachverständlichkeitsindex (SII) in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 6
- Tab. 6.9: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Eingangsgrößen nach Tabelle 6.2 und Zwischenergebnis aus Berechnungsabfolge 1
- Tab. 6.10: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Zwischenergebnis aus Berechnungsabfolge 2
- Tab. 6.11: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 3
- Tab. 6.12: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 4
- Tab. 6.13: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 5
- Tab. 6.14: Beispielrechnung zum Sprachübertragungsindex (STI) in 7 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 6
- Tab. 6.15: Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic in 6 Oktavbändern – Eingangsgrößen und Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 1
- Tab. 6.16: Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 2
- Tab. 6.17: Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 3
- Tab. 6.18: Beispielrechnung zum Artikulationsindex (AI) nach Pavlovic in 6 Oktavbändern – Zwischenergebnisse aus Berechnungsabfolge 4

Ch. A. Sust

H. Lazarus

Teil 2

Folgen von Schwerhörigkeit und Gehörschutz auf soziale und sprachliche Interaktion

Danksagung

Ein Projekt wie dieses kann nur durch die Unterstützung hilfreicher Geister realisiert werden. Daher möchten die Autoren denen danken, die zum Gelingen beigetragen haben:

Bei der Literaturrecherche und –aufbereitung des zweiten Teils haben insbesondere Wibke Albers und Rosa-Linde Fischer sowie Alcira Granados wertvolle Beiträge geleistet.

Bei der redaktionellen Überarbeitung waren uns Wibke Albers, Rosa-Linde Fischer und Alexander Schimanski behilflich.

Inhaltsverzeichnis

Kurzreferat	135
Abstract	136
Résumé	137
1	Zur Einführung in die Thematik..... 139
2	Ursachen, Ermittlungsverfahren und Verbreitung der Schwerhörigkeit . 142
2.1	Ursachen und Wirkungen der Schwerhörigkeit..... 142
2.1.1	Lärmschwerhörigkeit..... 142
2.1.2	Altersbegleitende Schwerhörigkeit..... 146
2.2	Verfahren zur Ermittlung der Schwerhörigkeit 149
2.2.1	Ton- und Sprachaudiogramme 150
2.2.2	Lärmschwerhörigkeit und Minderung der Erwerbstätigkeit 154
2.3	Verbreitung 158
2.4	Grenzwerte und Maßnahmen zur Prävention lärmbedingter Schwerhörigkeit 160
2.4.1	Grenzwerte, Auslöseschwellen..... 160
2.4.2	Schutzmaßnahmen..... 163
2.4.3	Information der Mitarbeiter..... 164
2.5	Wichtige Punkte im Überblick 164
3	Konsequenzen der Schwerhörigkeit: Auswirkungen auf die soziale Interaktion..... 166
3.1	Begleiterscheinungen der Schwerhörigkeit..... 166
3.2	Die Tabuisierung der Störung..... 168
3.3	Subjektives Erleben der Schwerhörigkeit 169
3.4	Die Auswirkungen auf Verhalten, Kommunikation und soziale Beziehungen..... 172
3.4.1	Verhalten 172
3.4.2	Kommunikation 173
3.4.3	Soziale Beziehungen 175
3.5	Die Auswirkungen der Störung auf die physische und psychische Gesundheit 177
3.6	Der Umgang mit der Störung (Kompensation und Rehabilitation) 178
3.7	Wichtige Punkte im Überblick 182
4	Die Sprachverständlichkeit Schwerhöriger unter realen (Stör-) Bedingungen 183
4.1	Einführung und Übersicht 183
4.2	Aspekte der Sprachverständlichkeit von Schwerhörigen: Einfluss von Geräuschen, Alter, Nachhall und Sprecher 189
4.3	Wichtige Punkte im Überblick..... 245

5	Auswirkungen von Gehörschutz und Schwerhörigkeit auf die akustische Verständigung im Betrieb	247
5.1	Gehörschutz und Schwerhörigkeit im betrieblichen Alltag	247
5.2	Mithörschwelle von Signalen und Gehörschutz	248
5.3	Identifizierung von Signalen.....	250
5.4	Ortung von Schallquellen.....	251
5.5	Sprachverständlichkeit und Gehörschutz	257
5.6	Sprachverständlichkeit, Gehörschaden und Gehörschutz	261
5.7	Sprachproduktion, Sprachkommunikation und Gehörschutz	266
5.8	Gehörschutz und akustische Verständigung - Perspektiven.....	272
5.9	Konsequenzen.....	276
5.10	Wichtige Punkte im Überblick	277
6	Zusammenfassung	279
7	Verzeichnisse	281
7.1	Abkürzungsverzeichnis	281
7.2	Literaturverzeichnis.....	284
7.3	Abbildungsverzeichnis	304
7.4	Tabellenverzeichnis	308

Folgen von Schwerhörigkeit und Gehörschutz auf soziale und sprachliche Interaktion

Kurzreferat

Einschränkungen der Kommunikation sind neben psychosozialen Faktoren auch durch akustischen Bedingungen gegeben: Schwerhörigkeit und Gehörschutz, die aufgrund der teilweise ähnlichen Folgen Gegenstand dieser Bestandsaufnahme sind. Dabei wird von einem Überblick über Ursachen der Schwerhörigkeit ausgegangen - hier insbesondere lärminduzierte Innenohrschäden, die ggf. durch Presbyakusis verschärft werden. Eine Auswahl von Ermittlungsverfahren – Ton- und Sprachaudiometrie – werden vorgestellt. Die Verbreitung sowie Maßnahmen zur Reduzierung lärminduzierter Schwerhörigkeit werden kurz aufgeführt. Im Detail werden die Folgen der Schwerhörigkeit betrachtet. Dazu zählt der mehr oder weniger geeignete Umgang mit der Schwerhörigkeit durch die Betroffenen selber, die Auswirkungen auf die Erwerbstätigkeit, auf das Verhalten, auf die Kommunikation, die Interaktionsfähigkeit sowie die allgemeine und psychische Gesundheit. Darüber hinaus werden einige bedeutsame Einflussfaktoren auf die Sprachverständlichkeit – wie Geräusche, Nachhall, Richtungshören – vorgestellt. Schwerhörige benötigen ein um 5 bis 20 dB niedrigeren Geräuschpegel, um sich wie Normalhörende verständigen zu können. Aufgrund der ähnlichen Problemlage werden die Auswirkungen von Gehörschutz auf Sprachverständlichkeit und die Wahrnehmung akustischer Signale diskutiert.

Schlagwörter:

Lärminduzierte Schwerhörigkeit, Presbyakusis, Gehörschutz, Sprachkommunikation, soziale Interaktion, soziales Verhalten

Consequences of hearing impairment and hearing protectors on social and verbal interaction

Abstract

Restrictions of communication are apart from psychosocial factors also owed to acoustic conditions: Hearing loss and hearing protectors, which are - due to partially similar consequences - subject of this compilation.

Hearing loss is described particularly under the aspect of reduced acoustic communication and speech intelligibility. That means in detail the more or less suitable handling of hearing loss of people concerned, its effects on employment, behaviour, communication, the ability of interaction as well as the general and psychological health. Beyond that some important factors of influence on the speech intelligibility - like noise, reverberation, direction hearing - are presented. Persons with hearing loss need a noise level lower than 5 to 20 dB, in order to be able to understand as well as persons with normal hearing. Due to the similar problems the effects of hearing protection on speech intelligibility and the perception of acoustic signals are discussed.

Key words:

Noise induced hearing loss, presbycusis, hearing protectors, verbal communication, social interaction, social behaviour

Conséquences des troubles auditifs et de la protection auditive sur l'interaction sociale et verbale

Résumé

Les restrictions de la communication tout comme les facteurs psychosociaux sont occasionnées par des conditions acoustiques: mauvaise audition et protection auditive qui sont en partie à l'origine des effets semblables à l'objet de cet inventaire.

On part d'un aperçu des causes de la mauvaise audition susciter ici en particulier par des bruits qui causent des dommages à l'intérieur des oreilles et ceux ci s'intensifient éventuellement par des presbyakusis.

Un choix de procédures diagnostic - audiometrie linguistique et du ton - on présente. La diffusion ainsi que des mesures concernant la réduction de dureté d'oreille sont représentées. Dans le détail, les conséquences de la dureté d'oreille sont considérées: l'utilisation plus ou moins appropriée de dureté d'oreille compte les conséquences sur l'activité rémunérée, le comportement, la communication, la capacité d'interaction ainsi que la santé générale et psychique par les concernés lui-même. En outre, deviennent-ils quelques facteurs d'influence importants sur la intelligibilité linguistique comment influence de bruit, sont présenté. Des personnes avec dureté d'oreille nécessitent autour de 5 à 20 dB un plus faible niveau de bruit, pour pouvoir s'informer comme des personnes avec. Sur la base du problème semblable, les conséquences d'une protection acoustique sur une compréhension linguistique et la perception de signaux acoustiques sont examinées.

Mots clés:

Mauvaise audition, Presbyacusis, Protection acoustique, communication linguistique, interaction sociale, comportement social

1 Zur Einführung in die Thematik

Die heutige Arbeitswelt – Produktion ebenso wie Verwaltung – ist geprägt von kommunikativen Prozessen. Das heißt aufgrund geänderter Organisationsstrukturen erhöht sich der kommunikative Anteil: Vielfältige Planungsprozesse über Arbeitseinteilung- und Arbeitszeit, personelle und Materialressourcen, Einhaltung bestimmter Qualitätsniveaus sowie individuelle Qualifizierungsnotwendigkeiten erfordern ein hohes Maß an verbalen Abstimmungsprozessen. Damit nähern sich insbesondere die Produktionsbereiche den dienstleistenden Bereichen an, die traditionell schon immer stärker „kommunikationslastig“ waren. Gerade Kommunikationsprozesse im Produktions- oder produktionsnahen Bereich sind aber häufig direkt in den Arbeitsablauf integriert und können nicht in „Ruhebereiche“ verlegt werden. Das heißt, die Kommunikation kann durch Geräusche verschiedenartigster Quellen mit unterschiedlichsten Intensitäten und Frequenzverteilungen gestört werden, gegebenenfalls durch das Tragen von Gehörschutz oder durch Personen beeinflusst werden, die Deutsch als Zweitsprache sprechen. Für alle diese Situationen gilt gleichermaßen, dass die Kommunikation zur Bewältigung der erforderlichen Ziele hinreichend erfolgreich sein muss.

Eine Beeinträchtigung der Kommunikation kann durch eine Reihe von Faktoren hervorgerufen werden. Neben psychosozialen Einflüssen sind Einschränkungen der Kommunikation individuellen Rahmenbedingungen geschuldet, die die Wahrnehmung akustischer Informationen reduzieren: Schwerhörigkeit und Gehörschutz.

Die Folgen einer reduzierten Sprachverständlichkeit gehen weit über die Einschränkung der Kommunikation und sozialen Interaktion hinaus. Reduziert ist eben nicht nur das Verständnis der Sprache mit seinen direkten Folgen wie Verlangsamung der Arbeitsprozesse, Zunahme der Fehler, Abnahme der Qualität der Arbeit, sondern es sind auch die langfristigen Folgen zu beachten: verzögerter Spracherwerb in der Schule, Zunahme der Unfälle und Abnahme der allgemeinen und psychischen Gesundheit. Laut einer Umfrage (*Bertoli et al. 1996*) sind eine höhere Schwerhörigkeit verstärkt mit einem höheren Handikap verbunden (Tabelle 1-1).

Tabelle 1-1 Ergebnisse einer Umfrage bezüglich der Empfindung von Schwerhörigkeit als Handikap

Handikap / Hörverlust	Gering ($L_{HVT} < 30 \text{ dB}$)	Hoch ($L_{HVT} > 30 \text{ dB}$)
Klein	67 %	33 %
Leicht	30 %	43 %
Schwer	4 %	25 %

Angesichts eines wachsenden Anteils älterer Personen und aufgrund des zunehmend höheren Anteils vorgeschädigter Personen (beispielsweise durch Konsum lauter Musik via Kopfhörer) steht zu befürchten, dass die alltägliche Interaktion mehr und mehr durch die Probleme Schwerhöriger geprägt werden wird. Der Umfang der Folgen ist so gravierend, dass eine Analyse der Schwerhörigkeit und deren Folgen im betrieblichen und öffentlichen Leben dringlich erforderlich sind. Dabei umfasst der Schwerpunkt nicht nur eine Analyse und Bewertung der reduzierten Sprachkommunikation

von Schwerhörigen, sondern auch deren geändertes Verhalten und Gestaltungsmöglichkeiten zur Verbesserung der Sprachkommunikation.

Das zweite Kapitel gibt einen Überblick über Ursachen, Ermittlung und Verbreitung von Schwerhörigkeit. Der Focus liegt dabei auf lärminduzierten Innenohrschäden, die ggf. durch eine Presbyakusis (altersbegleitende Schwerhörigkeit) verschärft werden können. Dabei gilt es sowohl das Risiko zu ermitteln, einen lärmbedingten Hörschaden zu erleiden, als auch diese Risiken auf ein Minimum durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren, was Anliegen aller sein sollte und insbesondere des Gesetzgebers ist.

Von zentraler Bedeutung sind die Folgen der Schwerhörigkeit, auf die im dritten Kapitel eingegangen wird. Zunächst nehmen die Betroffenen selbst die Schwerhörigkeit häufig nicht wahr, weil der Prozess sehr schleichend verläuft. Aber oft wollen die Betroffenen ihre Behinderung nicht wahrnehmen, weil die Schwerhörigkeit tabuisiert wird. Ist die Tabuisierung überwunden, die als ungeeigneter Umgang mit dem Problem zu charakterisieren ist, wird die Schwerhörigkeit sehr unterschiedlich wahrgenommen und bewertet. Dabei hat Schwerhörigkeit gegebenenfalls auch Auswirkungen auf die psychische und allgemeine Gesundheit. Für Angehörige sowie für den Kollegenkreis bleibt die Schwerhörigkeit ebenfalls nicht ohne Folgen, weil Verhalten und Kommunikation beeinflusst werden. Für die wenigsten ist aus Mangel an Information und Erfahrungen kaum nachvollziehbar, wie sich Schwerhörigkeit auf den Betroffenen auswirkt und ihn in dem beschneidet, was zu einem großen Teil seine Existenz als soziales Wesen ausmacht: Die Einschränkung der sprachlichen Kommunikation.

Sprachverständlichkeit und Schwerhörigkeit unter realen Bedingungen sind Inhalt des vierten Kapitels. Ausgehend von den Einflussfaktoren und den Kriterien, mit denen Schwerhörigkeit (Tonaudiogramm, Sprachaudiogramm) beurteilt werden, wird untersucht, wie sich Art und Umgang der Schwerhörigkeit auf die Sprachkommunikation auswirken. Die realen Bedingungen, unter der Sprachkommunikation stattfindet, sind durch Störgeräusche und Nachhallzeiten, bedingt durch den Raum, gekennzeichnet. Es wird versucht, Gestaltungsregeln abzuleiten, mit denen die Sprachkommunikation mit Schwerhörigen verbessert und optimiert werden kann. Weiterhin werden der Einfluss des Sprechers, des Spektrums und des Zeitverlaufs der Geräusche sowie der Einfluss des Richtungshörens auf die Sprachkommunikation einbezogen. Zusammenfassend werden beispielhaft Grundsätze zur Bewertung der Sprachkommunikation mit Schwerhörigen und zur Gestaltung von Arbeitsplätzen und Räumen abgeleitet und vorgestellt.

Möglicherweise sind es neben den Unbequemlichkeiten des Gehörschutzes, auch die Auswirkungen der eingeschränkten Kommunikation, die viele Lärmarbeiter vom Tragen des Gehörschutzes abhalten. Diese Vermutung wird unterstützt durch eine sehr alte Untersuchung von *Meyerson* (1948), der beschreibt, wie schnell sich sogar das Verhalten Schwerhöriger einstellt, wenn bei Probanden Schwerhörigkeit künstlich hervorgerufen wird. Aufgrund der teilweise ähnlichen Folgen wird im fünften Kapitel auf die Problematik des Gehörschutzes im Zusammenhang mit der Erkennung von akustischen Signalen und der Sprachkommunikation eingegangen. Wegen

der Notwendigkeit, Gehörschutz in bestimmten Betriebsbereichen zu tragen, wird vor allem auch die Optimierung der Sprachkommunikation beim Tragen von Gehörschutz diskutiert.

2 Ursachen, Ermittlungsverfahren und Verbreitung der Schwerhörigkeit

2.1 Ursachen und Wirkungen der Schwerhörigkeit

Im Allgemeinen kann man drei typische Formen der Schwerhörigkeit unterscheiden:

- Schwerhörigkeit auf der Basis von Innenohrschädigungen:
 - Lärmschwerhörigkeit,
 - altersbegleitende Schwerhörigkeit / Presbyakusis
 - ototoxische Medikamentation
- Schallleitungsschwerhörigkeit, die durch Übertragungsdefizite im Mittelohr zustande kommt
- Zentrale Hörschäden, bedingt durch Funktionsstörungen und/oder Zerstörungen des Hörnervs bzw. der betroffenen Hirnareale.

Ursachen können biologische Faktoren sein, Medikamente, Stoffwechselstörungen Schädelverletzungen, Entzündungen, sie können altersbedingt, durch chemisch-physikalische Einflüsse (toxische Stoffe) und/oder durch Schalleinwirkung entstanden sein. Im Weiteren liegt der Fokus auf der Problematik lärmbedingter Schwerhörigkeit und der altersbegleitenden Schwerhörigkeit (Presbyakusis), vor allem soweit sie die Lärmschwerhörigkeit verschärft.

2.1.1 Lärmschwerhörigkeit

Schwerhörigkeit im Sinne einer Hörschwellenverschiebung ist gerade bei Lärmschwerhörigen kombiniert mit einer Fehlhörigkeit: Schwerhörige hören nicht nur schlechter, sondern auch anders. Die Tonhörschwelle gemessen in Ruhe, gibt natürlich nur die unterste Grenze (Schwelle) des Hörvermögens an. Akustische Verständigung insbesondere Sprachkommunikation findet aber im überschwelligen Bereich (30 bis 80 dB) statt. Insofern sagen die Hörschwellen selbst wenig über das Fehlhören und die Hörfehler im alltäglichen Kommunikationsprozess aus. Sie sind nur ein deutliches Kennzeichen, dass das Hörvermögen reduziert ist (*Dieroff 1994*)

Aber selbst nur die Berücksichtigung der Tonhörschwelle gibt einen Eindruck über die reduzierte Sprachkommunikation. In Abbildung 2-1 ist das Hörfeld angegeben. Es ist rechts durch die untere und obere Hörfrequenz begrenzt (16 Hz bis 16 kHz), unten durch die Tonhörschwelle und oben durch die Schmerzschwelle (etwa 120 dB). Skizziert ist auch der Sprachbereich (Pegel und Frequenzbereich), wie er bei einer üblichen Kommunikation verwendet wird (normale Sprachweise und normale Entfernung der Gesprächspartner). Dabei liegen die Vokale eher bei den niederen und die Konsonanten eher bei den höheren Frequenzen. Zieht man jetzt die untere Grenze

nicht durch die Tonhörschwelle von Normalhörenden, sondern von Schwerhörigen, erkennt man sofort die Defizite. Wenn aber vor allem und zuerst der Bereich der Konsonanten betroffen ist (bzw. die Phoneme, die mit Konsonanten verbunden sind), so ist dies für die Sprachverständlichkeit besonders nachteilig: mit den Konsonanten werden die bedeutungsunterscheidenden Elemente der Sprache beschrieben. Versteht eine Person zwar den Vokal, hat sich aber der Hörverlust schon in den Bereich der stimmhaften Konsonanten ausgebreitet, wird dieser Person beispielsweise die Unterscheidung zwischen „dir“ und „mir“ oder „wir“ extrem schwer fallen. Kommen noch Geräusche hinzu, bleibt nur noch ein geringer Teil der Sprache verständlich, der in der Regel nicht ausreicht, den Sinn zu erschließen.

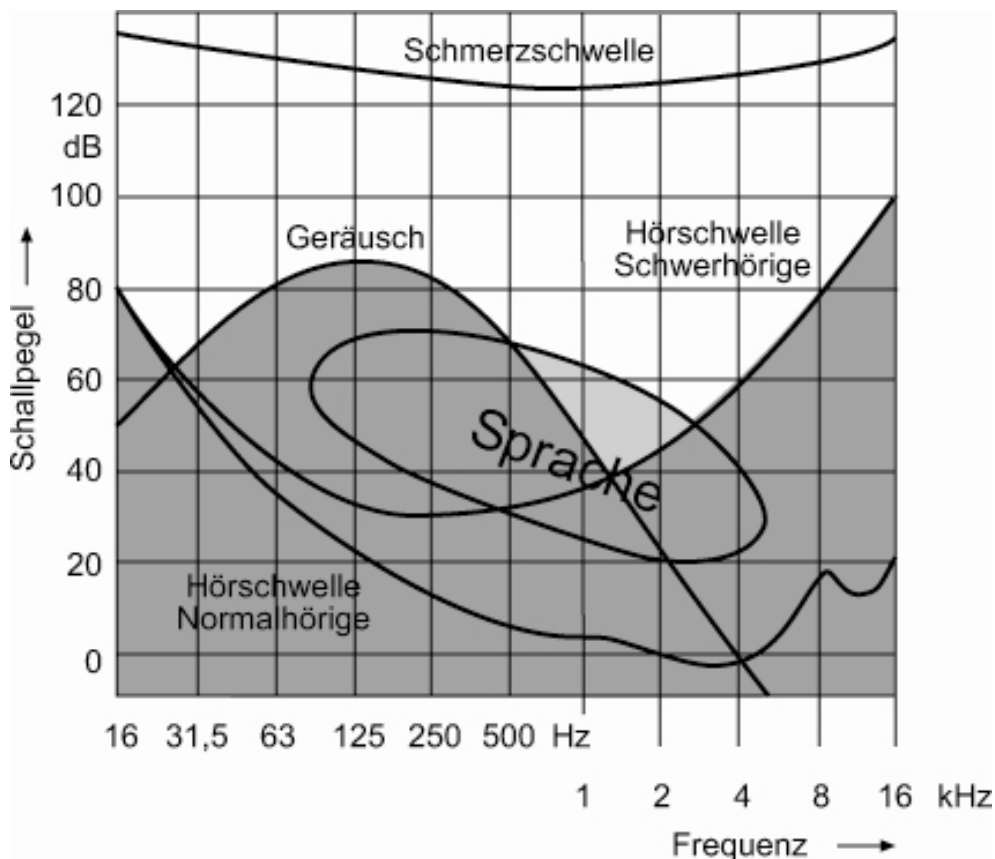


Abbildung 2-1 Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit durch Hörverlust

Dies hat weitreichende Folgen, gerade auch für den sozialen Kontext, sowohl am Arbeitsplatz wie in der Freizeit. Wichtige Informationen werden nicht hinreichend präzise erkannt und die Wahrscheinlichkeit von Fehlern steigt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Anteil derjenigen zunehmen wird, deren Gehör mehr oder weniger beeinträchtigt ist, sei es aufgrund des demographischen Faktors (Anteil älterer Personen) oder aufgrund von Vorschäden (bei Jugendlichen).

Das Risiko, durch Arbeitslärm einen Gehörschaden zu erhalten, wurde in den letzten fünfzig Jahren in Feldstudien untersucht. Das Ergebnis aus einem Großkraftwerk

zeigt recht gut, wie der Hörverlust durch den Pegel des Arbeitslärms und die Dauer der Lärmbelastung zunimmt (s. Abbildung 2-2).

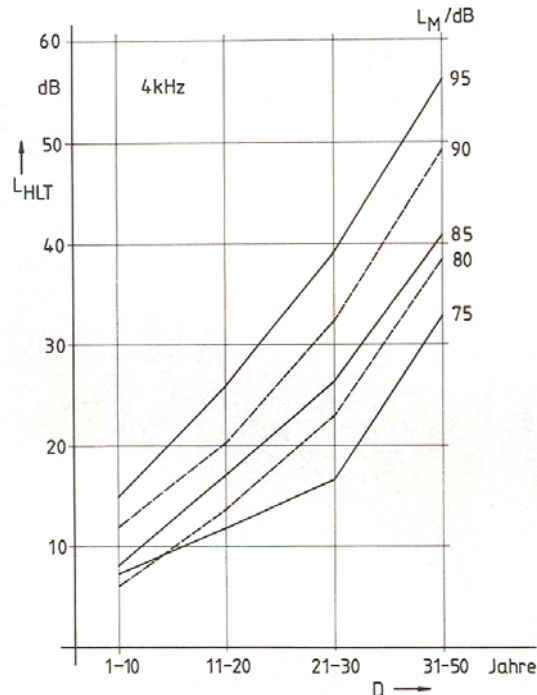


Abbildung 2-2 Lärmschwerhörigkeit im Pegelbereich von 75 – 95 dB, Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel einer Schicht ($L_M = L_{Ar}$), Dauer der Lärmeinwirkung (D) und Tonhörverlust (L_{HLT}) bei 4 kHz (nach Lazarus et al. 1986)

Die individuelle Entwicklung eines Gehörschadens veranschaulicht Abbildung 2-3.

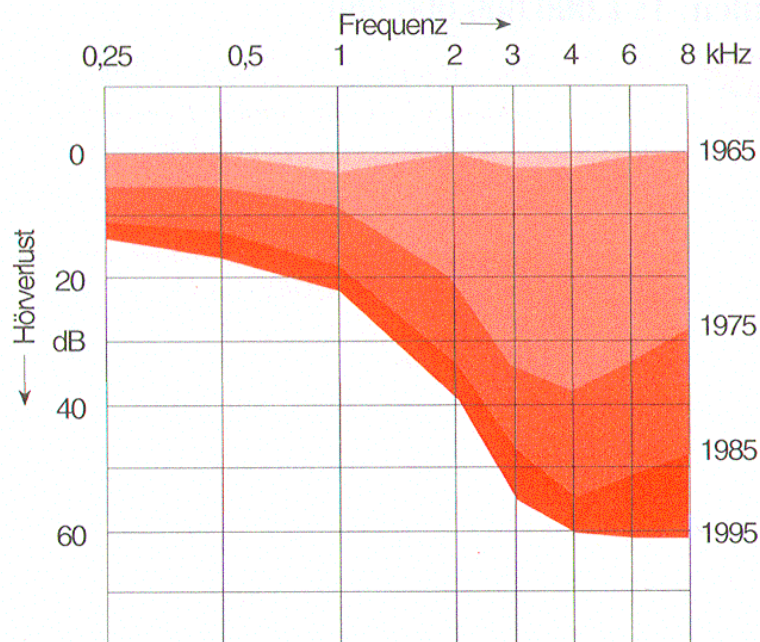


Abbildung 2-3 Individuelle Entwicklung der Lärmschwerhörigkeit über einen Zeitraum von 30 Jahren bei etwa gleicher andauernder Lärmbelastung (Ising et al. 1997)

Ergebnisse von Felduntersuchungen zur Belastung des Gehörs durch Arbeitslärm sind in der ISO 1999 (1990) zusammengefasst worden. Dabei besteht die Lärmeinwirkung aus dem Pegel über eine Arbeitsschicht von acht Stunden ($L_{Aeq,8h}$ in dB) und der Dauer (5 Tage in der Woche, 2 Tage wird eine Gehörerholung angenommen ($L_{Aeq,8h} \leq 70$ dB)).

In der ISO 1999 wird das Risiko angegeben, einen bestimmten Hörverlust bei einer Frequenz von 250 Hz – 6 kHz für eine Lärmbelastung (Pegel, Dauer) zu erhalten. Bei Betroffenen mit einem Alter von 60 Jahren, die 40 Jahre im Lärm tätig waren, liegt der Hörverlust bei Pegeln von 75 bis 100 dB bei 5 bis 85 dB. Entsprechend dem Anteil der Population (Abbildung 2-4, 95 oder 5 %) liegt der Hörverlust, der mindestens eintritt bei $L_{HVT,4k} = 5 - 35$ oder bei 55 bis 85 dB.

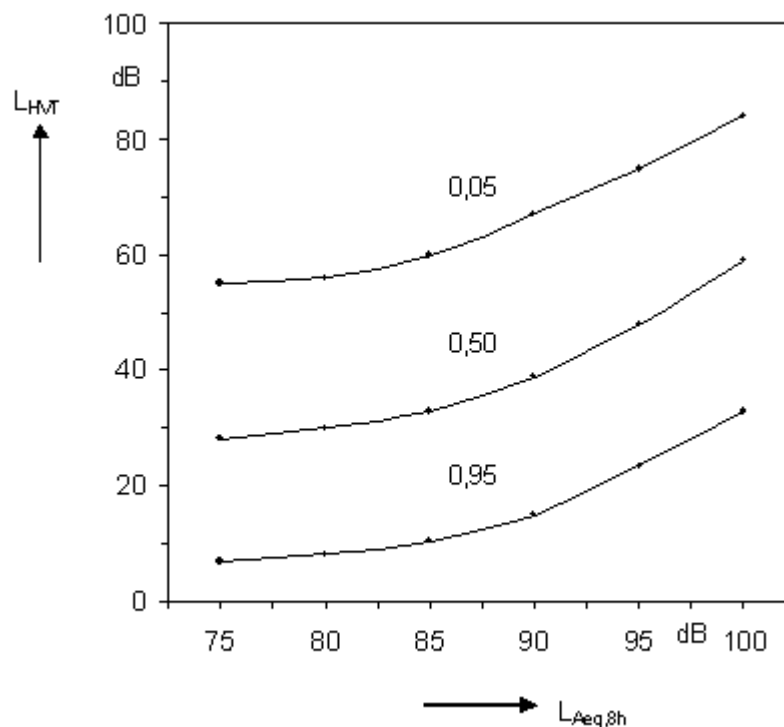


Abbildung 2-4 Hörverlust (L_{HVT} , 4 kHz, männliche Person, 60 Jahre, 40 Jahre Lärmexposition) für unterschiedliche Lärmbelastung ($L_{Aeq,8h}$: Perzentile 0.05, 0.5, 0.95) für männliche Lärmexponierte („stark gesiebte“ Population ohne Vor- und Nebenschäden) nach ISO 1999 (1990); z.B. bei einer Lärmbelastung (85 dB, 40 Jahre) haben 95 % der belasteten Personen einen Hörverlust von mindestens 11 dB

Ein Risiko für Gehörschäden entsteht bei Geräuschen ab 75 dB(A), wobei eine Einwirkungszeit von 8 Stunden pro Tag, respektive von 40 Stunden pro Woche zu Grunde gelegt wird. Eine Erholung für das Gehör wird angenommen, wenn der Geräuschpegel 70 dB(A) nicht übersteigt (VDI 2058-2). Mit zunehmenden Pegel und zunehmender Lärmeinwirkung steigt das Risiko, einen Hörschaden zu erleiden, ständig an, insbesondere dann, wenn die Geräuscheinwirkung täglich über Jahre hinweg erfolgt (vgl. Abbildung 2-2, 2-3, 2-4).

Derartige Geräuscheinwirkungen kommen beispielsweise in Arbeitsbereichen der Holz-, Stein- und Metallver- und bearbeitenden Industrie vor, aber auch in Bereichen der Getränke- (Abfüllanlagen) und Textilindustrie (Webereien, Spinnereien). Für die schädigende Wirkung ist es belanglos, ob es sich dabei um Maschinengeräusche am Arbeitsplatz oder in der Freizeit handelt oder etwa um Musik. Wenn der Schalldruckpegel über der Risikogrenze liegt, besteht die Gefahr von Hörschäden bzw. –beeinträchtigungen. Auch ein Diskothekenbesuch kann Hörschäden nach sich ziehen, ebenso wie Musiker potenziell einer Gefährdung ihres Gehörs ausgesetzt sind. Auch die langjährige Verwendung von Kopfhörern kann zu Beeinträchtigungen des Gehörs führen, die über eine kurzfristige Vertäubung oder Symptomen wie Tinnitus hinausgehen.

Lärmschwerhörigkeit wird verursacht durch eine Zerstörung der Zilien (Fortsätze der Haarzellen im Cortischen Organ der Innenohrschnecke) im Innenohr und ist vor allem im Bereich der höheren Frequenzen ausgeprägt. Das heißt, eine Hochtonsenke sowie ein Hochtonabfall mit Senkencharakter werden nach *Lehnhardt* (1996) am häufigsten durch Lärm verursacht. Bei einem Hochtonabfall spricht der Nachweis einer erkennbaren Senke für eine Lärmgenese.

Über den exakten Ort der Senke gibt es unterschiedliche Ergebnisse. Nach *Brusis* (1978) kündigt sich eine beginnende Lärmschwerhörigkeit im Tonaudiogramm durch einen starken Hörverlust bei 4 kHz, durch die so genannte C5-Senke an. Nach *Dieroff* (1994) entsteht insbesondere bei Impulslärm zunächst oft eine Senke bei 6 kHz.

Sehr kurzfristige Geräuschbelastungen mit hohem Schallpegel können sich unmittelbar schädigend auf das Gehör auswirken. Ein so genanntes Knalltrauma kann etwa durch Gewehrschüsse mit Spitzenpegeln bis zu 165 dB hervorgerufen werden oder durch Feuerwerkskörper an Silvester mit Spitzenpegeln zwischen 145 und 160 dB bei einer Entfernung von 2 m. Im Fall einer geräuschinduzierten Schwerhörigkeit durch ein Knalltrauma treten häufig asymmetrische, d.h. einseitige Hörschäden auf. Das Audiogramm des geschädigten Ohres weist meist die typische Konfiguration einer Lärmschwerhörigkeit auf. Leitsymptome eines Knalltraumas sind ein akut starker Hörverlust sowie Tinnitus.

2.1.2 Altersbegleitende Schwerhörigkeit

Im höheren Alter tritt zu der Lärmschwerhörigkeit gegebenenfalls die altersbegleitende Schwerhörigkeit hinzu. Das Altern des auditiven Systems ist typischerweise charakterisiert durch eine Abnahme der Hörsensitivität in beiden Ohren, hauptsächlich für hochfrequente Geräusche, und eine erhöhte Schwierigkeit des Sprachverständnisses, vor allem in Gegenwart von Hintergrundgeräuschen. Das Sprachverstehen älterer Hörer wird dabei auch durch Faktoren wie Veränderung der kognitiven Fähigkeiten, Hörgeräte, Ernährungsgewohnheiten oder Stress beeinflusst bzw. überlagert (*Working Group on Speech Understanding and Aging* 1988; *Hülse & Boll* 1979).

Auch scheint es Hinweise darauf zu geben, dass die Erfassung der Schwerhörigkeit mit einem Tonaudiogramm mit methodischen Problemen behaftet ist: Ältere Personen sind beispielsweise bei der Entscheidung darüber, ob sie einen Ton im Audiogramm gehört haben, deutlich konservativer als jüngere Personen (*Hellbrück & Ellermeier 2004*).

Da die altersbegleitende Schwerhörigkeit geschlechtsspezifisch unterschiedlich stark ausgeprägt ist, werden für jeden Personenkreis und jede Alterklasse getrennt Mittelwerte des Hörverlustes in den Frequenzbereichen von 0,25 bis 8 kHz angegeben (*Spoor 1967, Schmidt 1967, Hülse & Boll 1979, Mayer & Baltes 1996*).

Biologisch betrachtet ist die altersbegleitende Schwerhörigkeit, oder Presbyakusis, die Summe der Hörverluste, die aus einer Reihe verschiedener physiologischer Degenerationen entstehen. Diese Degenerationen können aus Lärmbelastung, aber auch aus anderen bekannten oder unbekanntem Einflüssen, durch ototoxische Materialien, aus systemischen medizinischen Störungen (Arteriosklerose, Bluthochdruck, Diabetes Mellitus etc.) oder aus der Behandlung dieser Krankheiten entstehen. Die meisten, vielleicht alle, dieser Effekte werden möglicherweise durch genetisch determinierte Vulnerabilität modifiziert.

Interessant sind in diesem Zusammenhang die Ergebnisse von *Glorig et al. (1950)*, die nachweisen konnten, dass die altersbegleitende Schwerhörigkeit teilweise durch den Geräuschpegel bedingt ist, dem Personen im Laufe ihres Lebens ausgesetzt waren. Personen aus Industriegebieten weisen im Alter stärkere Hörverluste als die Durchschnittsbevölkerung auf. Die altersbegleitende Schwerhörigkeit ist bei Personen aus besonders ruhigen Umgebungen dagegen geringer als die des Durchschnitts.

Das klinische Bild der Presbyakusis ist durch einen symmetrischen Hörverlust im Hochtonbereich gekennzeichnet. Ein weiteres charakteristisches Merkmal ist eine unverhältnismäßig große Beeinträchtigung des Sprachverständnisses, vor allem unter Lärm. Der Grad der daraus resultierenden Beeinträchtigung variiert stark. Viele Betroffene fühlen sich eingeschränkt und ziehen sich aus ihrem sozialen Beziehungsnetz zurück (vgl. *Bertoli et al. 1996*, sowie Kapitel 3).

Dabei sind die Ursachen der Presbyakusis noch nicht vollständig geklärt und sie muss als multifaktorielles Geschehen betrachtet werden. Bereits 1964 postulierte *Schuknecht* auf der Basis der Audiogramme und postmortalen histopathologischen Befunden vier verschiedene Typen von Presbyakusis, für die er verschiedene typische audiometrische Muster beschrieb:

- sensorische Presbyakusis (Verlust der Haarzellen und sekundäre Degeneration der entsprechenden Neurone) zeigt einen steil abfallenden Hörverlust im hochfrequenten Bereich und eine proportionale Reduktion des Sprachverständnisses, in diese Kategorie scheinen die meisten zu fallen;
- neurale Presbyakusis (primäre Degeneration der Ganglienzellen und der zentralen auditiven Verbindungen):, die als reiner Typ relativ selten ist, zeigt variable Tonaudiogramme, aber einen disproportional hohen Verlust des Sprachverständnisses;
- metabolische Presbyakusis (Atrophie der Stria Vascularis) zeigt einen flachen Tonhörverlust und relativ normales Sprachverständnis. Dieser Typ scheint

eher genetisch determiniert zu sein und möglicherweise falsch klassifiziert (vgl. *Working Group on Speech Understanding and Aging, 1988*)

- die mechanische oder cochlear-konduktiven Presbyakusis (Verhärtung der Basilarmembran) zeigt ein graduell abfallendes Audiogramm und relativ gutes Sprachverständnis

Aktuell verfügbare epidemiologische Information weist allerdings nicht auf ein häufiges Auftreten dieser Typen hin. Deshalb finden diese Typen in der Literatur selten Beachtung. Eine Ausnahme ist eine Studie von *Novak & Anderson (1982)*, die Unterschiede im Maskierungslevel in Ruhe verwendeten, um die Hypothese zu testen, dass ältere Personen mit neuraler Presbyakusis erhöhte Level internaler Geräusche aufweisen.

Dazu erhoben sie Unterschiede im Maskierungslevel in Ruhe bei 500 Hz von fünf Personengruppen: junge und alte Normalhörende, ältere Personen mit metabolischer, sensorischer oder neuraler Presbyakusis (N=30), die auf der Basis von ihren Tonaudiogrammen ausgewählt wurden.

Die Gruppe mit angenommener neuraler Presbyakusis (d.h. bilateraler hochfrequenter sensorineuraler Hörverlust und schlechtes Sprachverständnis) hatten Unterschiede im Maskierungslevel

- in Ruhe, die signifikant größer waren als die für die anderen Gruppen und
- mit einem Hintergrundgeräusch, die signifikant kleiner waren als die der anderen Gruppen.

Die Daten legen nahe, dass ein erhöhter internaler Geräuschlevel die neurale Presbyakusis begleitet.

Ende der 80er Jahre nahm die *CHABA (Working group of the Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics of the National Research Council, 1988)* eine Klassifikation der möglichen Ursachen für die Presbyakusis vor. Dabei beschrieben sie drei mögliche Hypothesen (vgl. Abbildung 2-3a bis c).

- eine periphere Hypothese: Sprachverständlichkeitsprobleme werden hier durch altersbezogene Veränderungen der auditorischen Peripherie erklärt. Und zwar entweder durch einfache Veränderungen in der Hörbarkeit, die mit peripheren Veränderungen der Struktur assoziiert sind oder mit anderen peripheren Defiziten, die die cochleare Pathologie begleiten und die über den Verlust der Hörsensitivität hinausgehen, wie zum Beispiel die Zeitauflösung

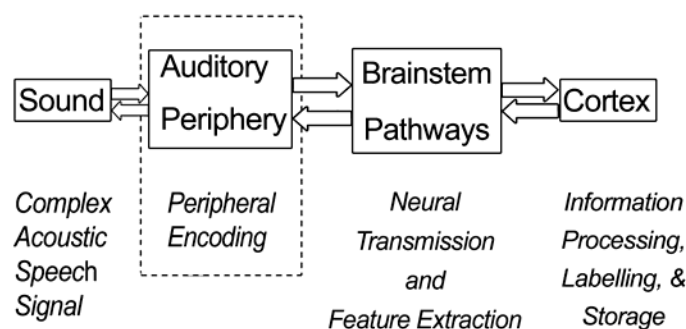


Abbildung 2-5a Presbyakusis – periphere Hypothese (nach *Humes 1996*)

- eine zentral-auditive Hypothese, die annimmt, dass es strukturelle Veränderungen in den auditorischen Bahnen des Hirnstamms oder den auditiven Teilen des Kortex gibt

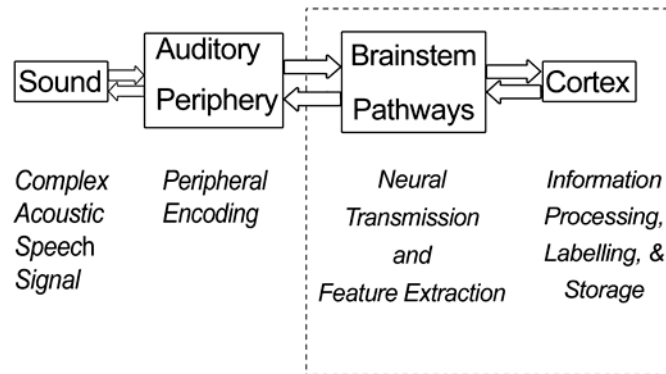


Abbildung 2-5b Presbyakusis – zentral-auditive Hypothese (nach Humes 1996)

- eine kognitive Hypothese, in der ein generelles kognitives Defizit angenommen wird, das zwar nicht die auditiven Funktionalitäten beeinträchtigt, aber in einer Dysfunktion bei der Verarbeitung resultiert

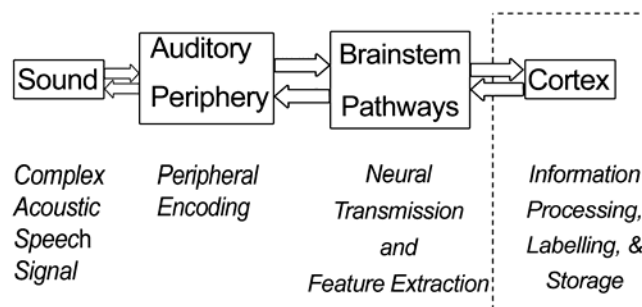


Abbildung 2-5c Presbyakusis – kognitive Hypothese (nach Humes 1996)

2.2 Verfahren zur Ermittlung der Schwerhörigkeit

Die Diagnose der Schwerhörigkeit dient ihrer Identifizierung und Beschreibung sowie der Bestimmung ihres Ausmaßes, um beispielsweise

- das Vorliegen einer Berufskrankheit bzw. eine Minderung der Erwerbstätigkeit (MdE) festzustellen (vgl. Abschnitt 2.2.2)
- Hörschadensrisiken abzuschätzen und geeignete Maßnahmen zu ihrer Beseitigung bzw. Minimierung in die Wege zu leiten.
- eine geeignete Hörhilfe auszuwählen und anzupassen

- entsprechende Fördermaßnahmen (beispielsweise bei schwerhörigen Kindern) in die Wege zu leiten
- Aufschluss über die Sprachverarbeitung sowie die Verarbeitung akustischer Informationen (Signale, Maschinengeräusche etc.) zu erhalten, ggf. unter verschiedenen Umweltbedingungen.

Es gibt eine Reihe audiologischer Verfahren zur Ermittlung unterschiedlicher Formen der Schwerhörigkeit, die für den vorliegenden Kontext aber nicht von zentraler Bedeutung sind (vgl. *Kollmeier 2004, Böhme & Welzl-Müller 1988*). In diesem Zusammenhang interessieren vor allem das Tonaudiogramm und das Sprachaudiogramm, das in Deutschland häufig eingesetzt wird.

Das Maß zur Beurteilung der Schwerhörigkeit ist der prozentuale Hörverlust (HVP). Er wird in fast allen Ländern verwendet und wird vorwiegend aus dem Tonaudiogramm berechnet. Dabei geht man von der Vorstellung aus, dass das Hörfeld in der Intensität durch die Hörschwelle und die Schmerzschwelle und im Frequenzbereich von den oberen und unteren Frequenzen begrenzt ist. Diese Fläche (Intensitätsbereich x Frequenzbereich, vgl. Abbildung 2-1) wird je nach dem, wie viel Prozent der maximalen Fläche für einen Schwerhörigen noch zur Verfügung steht, von 0 bis 100 % aufgeteilt. Der HVP wird in der Regel aus dem Tonhörverlust bei ausgewählten Frequenzen berechnet, kann aber insbesondere in Deutschland auch aus dem Sprachhörverlust ermittelt werden.

In der Regel ist man daran interessiert die Sprachverständlichkeit im alltäglichen Umgang (öffentliches, privates, berufliches Leben) zu beurteilen, um diese sicher zu stellen oder ihre Einschränkung abzuschätzen. Für eine differenzierte Analyse der Schwerhörigkeit ist daher das Tonaudiogramm nicht ausreichend. Sie muss mithilfe des Sprachaudiogramms ergänzt werden. Der Einsatz der Sprachaudiometrie unterliegt aber gewissen Einschränkungen. Sie wird in hohem Maße durch die sprachliche Kompetenz beeinflusst – also beispielsweise Umfang und Qualität des Sprachschatzes, sprachliche Intelligenz, Zugehörigkeit zu bestimmten Sprachgruppen (Dialektsprecher, Muttersprachler) etc. Die Durchführung eines Sprachaudiogramms ist aus diesen Gründen sehr aufwändig, so dass in der Regel gerade bei epidemiologischen Studien oder anderen Reihenuntersuchungen vor allem Tonaudiogramme eingesetzt werden.

Vom Verlauf des Tonaudiogramms wird dann auf das Ausmaß des Sprachverständlichkeitsverlustes bei Schwerhörigen geschlossen. Dies erfordert die Kenntnis der Beziehung zwischen Ton- und Sprachhörverlust bzw. der Kriterien, nach Maßgabe derer von den Ergebnissen des Tonaudiogramms auf den Sprachhörverlust geschlossen werden kann.

2.2.1 Ton- und Sprachaudiogramme

Auch wenn es im Hinblick auf den effizienten Einsatz von Ressourcen sinnvoll ist, den Hörverlust über ein Tonaudiogramm abzuschätzen, gibt es doch eine Reihe von Gründen für den Einsatz von Sprachaudiogrammen. Die präzise Beschreibung des

Hörverlustes in Bezug auf Einschränkung der Wahrnehmung von Sprache und Signalen ist dabei nur eine Möglichkeit. Bei der Entwicklung solcher Verfahren zur Bestimmung des Hörverlustes sind eine Reihe von Faktoren zu berücksichtigen. So müssen phonetische Bedingungen geschaffen werden, die der Lautstruktur der Umgangssprache genügen. Das Verhältnis von Konsonanten zu Vokalen im Sprachtest muss in etwa dem Verhältnis bezogen z.B. auf die deutsche von 61 % zu 39 % (Meier 1964) entsprechen. Die Anzahl der Sprachlaute innerhalb einer Silbe als auch die Stellung der Laute als Anlaut und Endlaut müssen bestimmt werden.

Werden Wörter im Test verwendet, so kommt noch hinzu, dass ihre Auftretenswahrscheinlichkeit in der Umgangssprache zu kontrollieren ist, da die Auftretenswahrscheinlichkeit die Wahrnehmungsleistung beeinflusst (Howes 1957). Werden Sätze verwendet, so erfordert dies die psycholinguistische Analyse der Satzstruktur.

Auch die Art der Antwort kann variiert werden. In den meisten Tests wird die Versuchsperson angewiesen, das, was sie gehört hat, nachzusprechen (offene Testform). Es gibt jedoch auch einige Tests, in denen die Person die Aufgabe hat, den gehörten Sprachlaut (Wort, Silbe) aus einer Anzahl von schriftlich vorgegebenen Sprachlauten herauszusuchen (geschlossene Testform).

Es gibt unterschiedliche Verfahrensarten, zum Beispiel durch Bestimmung

- des Sprachhörverlustes (L_{HVZ}) – in der Regel unter Verwendung von Zahlwörtern (DIN 45621) - der die notwendige Schallpegelerhöhung für eine vorgegebene Sprachverständlichkeit von SVZ = 50 % angibt (siehe unten: Freiburger Sprachverständlichkeitstest);
- des Gesamtwortverstehens (GW), das die Summe der korrekt verstandenen Wörter (Einsilber; SVE) in Prozent bei einem Sprachpegel am Ohr des Hörers von $L_S = 60/80/100$ dB angibt (Boenninghaus & Röser 1973, Feldmann 2001). Die Summe der Sprachverständlichkeit einer normalhörenden Person ist in der Regel bei diesen drei Sprachpegeln $GW = 250 - 300$ (bei einem Höchstwert von 300 entspricht dies 100% bei jedem der drei Sprachpegel). Unterschieden wird das einfache und gewichtete Gesamtwortverstehen (1,1,1; (3,2,1)/2);
- des Diskriminationsverlustes (DV), der für eine schwerhörige Person die Diskrepanz zwischen maximaler und 100 % Sprachverständlichkeit (SV) angibt: $DV = 100 \% - SV_{max}$;
- des Pegels, der 40 dB über dem Pegel des Sprachverlustes (meistens für Zweisilber) liegt ($L_{HVZS} + 40$ dB; vorzugsweise im angelsächsischen Raum).

Das Gesamtwortverstehens (GW) und auch der Diskriminationsverlust (DV) wird mittels schwierigem Sprachmaterial, vor allem mit Einsilbern, diagnostiziert (Abbildung 2-6). Im Gegensatz zum Sprachhörverlust, der nur die notwendige Schallpegelerhöhung für vorgesehene einfache Worte bei SVZ = 50 % angibt, erlaubt die Verwendung schwierigen Sprachmaterials differenzierte Aussagen und schließt zudem die Möglichkeit aus, aufgrund individueller Sprachkompetenz nicht ganz verstandene Sprachreize zu ergänzen. Mit der Erkennungsleistung von Einsilbern oder auch sinnlosen Silben wird - soweit es überhaupt möglich ist - die „reine“ Wahrnehmungsleistung erfasst.

So kann z.B. der Einfluss der unterschiedlichen „Grenzfrequenzen“ des Tiefpasses Lärmschwerhöriger auf die Sprachwahrnehmung aufgezeigt werden. Gibt man Normalhörenden Sprache über einen Tiefpass, dessen Grenzfrequenz tiefer als 3 kHz liegt, so wird die maximale Sprachverständlichkeit von Einsilbern (SVE = 90 - 100 %) auch von diesen Normalhörenden nicht mehr erreicht. Versteht man also das Tonaudiogramm als Tiefpass mit den Grenzfrequenzen von z.B. 1 - 2 kHz (Abbildung 2-6a, Kurve 3), so liegt die maximale Verständlichkeit bei SVE = 80 %.

Die Angaben der Sprachverständlichkeit von Sprachsignalen bei drei verschiedenen Pegeln (Gesamtwortverstehen) ist im Vergleich zum Diskriminationsverlust sinnvoller, da sich dieser Wert auf einen für Schwerhörige wichtigen Pegelbereich (Sprechweisen normal, sehr laut, höchster Ausgangspegel von Hörgeräten) und nicht nur auf einen einzigen Pegelwert bezieht. Der so ermittelte Wert der Sprachverständlichkeit berücksichtigt einerseits Pegelwerte, die im gewöhnlichen Sprechverhalten vorkommen, aber auch Pegel, die bei angehobener bis lauter Sprechweise und geringere Entfernungen zum Gesprächspartner auftreten, das heißt $L_S = 10 - 20$ dB über dem Pegel der normalen Sprechweise liegen und somit selten vorkommen. Andererseits werden Pegel von 100 dB einbezogen, die im natürlichen Gespräch nicht vorkommen. Das Tragen eines Hörgerätes wird damit schon vorweg genommen. Das kann für eine Diagnose des Vermögens, Sprache zu verstehen, zweckmäßig sein.

Bei der Beurteilung der Beeinträchtigung von Schwerhörigen gegenüber Normalhörenden in einer Gesprächssituation ist das aber nicht sachgerecht und muss somit in Rechnung gestellt werden. In einer Gesprächssituation kann ein Sprechpegel am Ohr des Hörers von 80 dB nur mit einem hohen Sprechaufwand („Schreien“) und/oder durch geringe Entfernungen vom Mund zum Ohr (zumutbare soziale Distanz) erreicht werden, von 100 dB ganz zu schweigen. Üblich sind in Sprachkommunikationssituationen durch eine leise Sprechweise bei geringer Gesprächsentfernung (ca. 50 cm) oder eine angehobene Sprechweise bei größerer Entfernung gekennzeichnet. Das wären Sprechpegel am Ohr des Hörers von 50 bis 70 dB, aber nicht 80 bis 100 dB. Hier ist inzwischen zweckmäßiger Weise das gewichtete Gesamtwortverstehen (60, 80, 100 dB = 3 : 2 : 1) eingeführt worden (Feldmann 2001), das die Sprechpegel von $L_S = 60$ (und 80 dB) höher bewertet. Für eine Bewertung wird das gewichtete Gesamtwortverstehen bei geringerer Schwerhörigkeit (HVP = 20 - 40 %) und das einfache Gesamtwortverstehen bei einer stärkeren Schwerhörigkeit herangezogen.

In der Standard-Audiometrie wird häufig der Freiburger Sprachverständlichkeitstest (DIN 45621, s.a. Hahlbrock 1970) eingesetzt, bei dem einsilbige Wörter als Testmaterial verwendet werden. Mit dem Sprachverständlichkeitstest kann das sprachliche Unterscheidungsvermögen des Probanden geprüft werden. Dieser Test ist als ein Audiometrieverfahren konzipiert.

Grundlage des Audiometrieverfahrens ist es, dass Sprachlaute mit zunehmender Intensität der Versuchsperson solange dargeboten werden, bis sie erkannt werden. Hierbei wird nicht nur ein Sprachreiz, sondern eine Reihe von Wörtern jeweils gleicher Intensität zur Wahrnehmung dargeboten, um so einen repräsentativen Querschnitt über das sprachliche Unterscheidungsvermögen des Probanden zu erhalten.

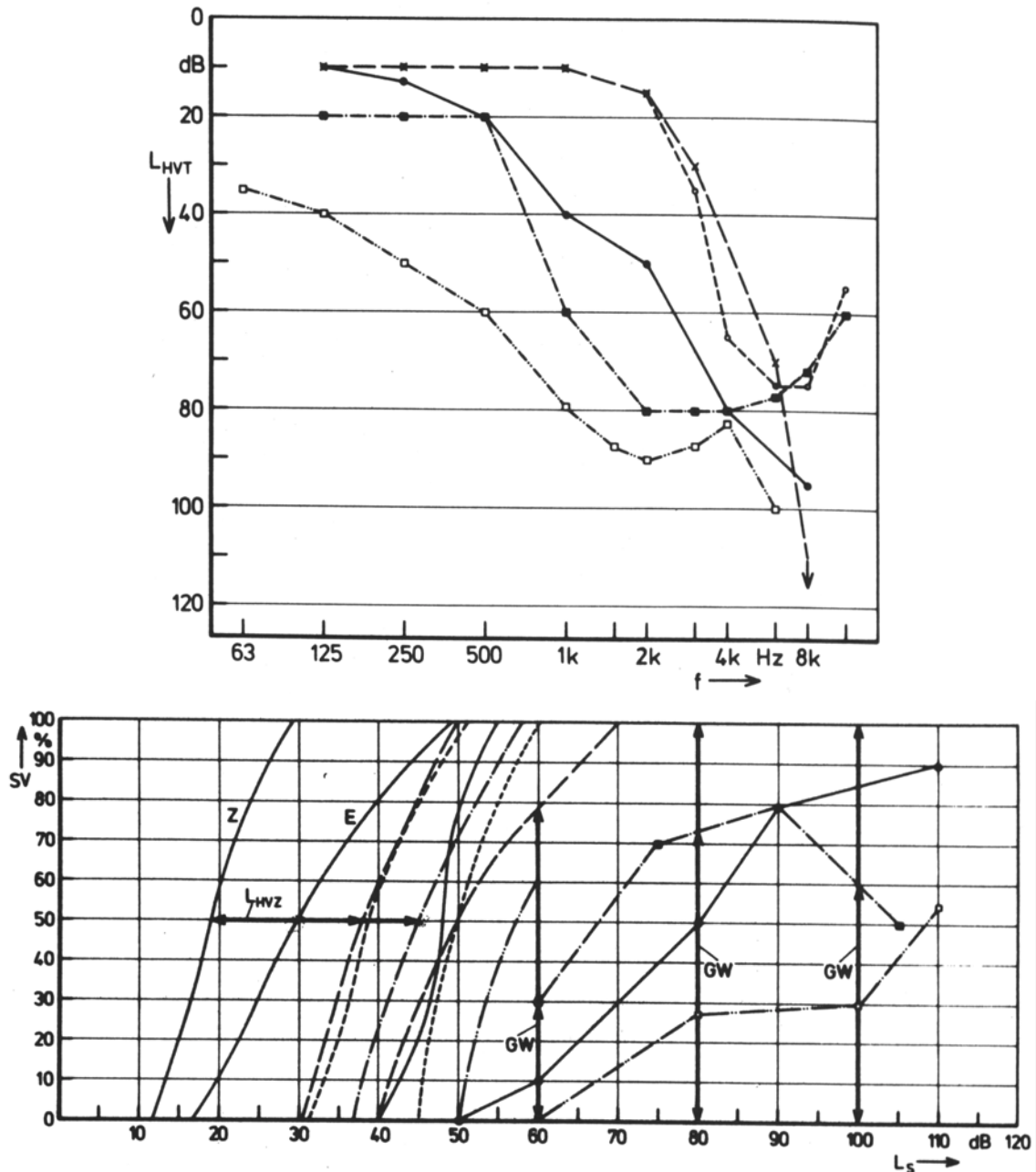


Abbildung 2-6a/b Sprachverständlichkeit (SV) für Zahlwörter und Einsilber (Bezugskurve für Zahlwörter (Z) und Einsilber (E) nach DIN 45626) in Abhängigkeit vom Pegel der Sprache (L_s)

Sprachhörverlust: L_{HVZ} , Gesamtwortverstehen: GW; beispielsweise für:

Person (2): $L_{HVZ} = 19$ dB, $GW / gGW = 78 + 100 + 100 \approx 278 / 267$

Person (3): $L_{HVZ} = 26$ dB, $GW / gGW = 30 + 73 + 60 \approx 163/148$.

Angegeben ist jeweils das Tonaudiogramm (oben) und Sprachaudiogramm (unten) Sprachverständlichkeit für Zahlwörter (links) und Einsilber (rechts) für fünf unterschiedlich schwerhörige Personen (linkes Ohr):

- (1) beginnende Lärschwerhörigkeit
 - — — (2) knapp geringgradige Lärschwerhörigkeit
 - · — (3) gering bis mittelgradige Lärschwerhörigkeit
 - · · — (4) hochgradige Lärschwerhörigkeit
 - (5) mittelgradige Altersschwerhörigkeit
- (nach Hahlbrock 1970, Brusis 1978).

Der Test nach *DIN 45621* besteht aus 20 Wortreihen mit 20 Wörtern. Um die Äquivalenz der Wortgruppen zu erstellen, beachtete *Hahlbrock* bei der Konstruktion des Testes u.a. folgende Punkte: Er wählte für jede Testgruppe die Wörter so aus, dass die Phoneme im Wort möglichst das gleiche prozentuale Verhältnis aufweisen, das sie in der Umgangssprache haben. Das Verhältnis von Konsonant zu Vokal beträgt im Test 73 % : 27 % und weicht um etwa 10 % von dem Verhältnis der Umgangssprache (61 % : 39 %) ab. Diese Abweichung von der Norm muss bei der Konstruktion eines solchen Sprachtests toleriert werden. Es wurde darauf geachtet, dass die unterschiedlichen Arten der konsonantischen Sprachlaute soweit wie möglich prozentual zur alltäglichen Sprache im Wort wie auch in den Testgruppen verteilt wurden. Neben der Häufigkeit des Vorkommens eines Sprachlautes kontrollierte *Hahlbrock* die Anzahl der Laute insgesamt. Jede Gruppe erhielt gleich viele Laute, da die Anzahl der im Wort auftretenden Laute für die Erkennungsleistung selbst von großer Bedeutung ist. Ebenso wichtig war es, darauf zu achten, dass jede Gruppe gleich viele Wörter von den gängigsten Wörtern, d.h. mit gleicher Auftretenswahrscheinlichkeit, aufweist, da auch diese Variable einen signifikanten Effekt auf die Wahrnehmungsleistung ausübt. Im Wort selbst wurde die Stellung eines Lautes als Anlaut, Endlaut und die Stellung des Vokals zum Konsonanten bei der Konstruktion der Wortgruppen mit beachtet.

Der Freiburger Sprachverständnistest nach *Hahlbrock* (1970) ist aufgrund verschiedener Unzulänglichkeiten in Kritik geraten. Bemängelt wird in erster Hinsicht die unzureichende Äquivalenz der Wortreihen. Durch Abweichungen in der Diskrimination zwischen den einzelnen Gruppen ist eine Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse nicht mehr möglich. Defizite in der Phonemverteilung, Aufbau und Struktur des Testmaterials, Qualität der Tonträger und Aufsprechweisen, sowie die fehlende Analyse zur Phonemfehlinterpretation werden ebenfalls kritisiert. Einen guten Überblick über die englischen, niederländischen und deutschsprachigen Audiometrieverfahren gibt *Bosman* (1992).

Basierend auf dem Testmaterial des Freiburger Sprachverständnistests (*Hahlbrock* 1970), dem Satztest (*Niemeyer* 1967a) und unter Berücksichtigung der angesprochenen Defizite wurden verschiedene neuartige Testverfahren zur Erfassung der auditiven Selektionsfähigkeit, wie etwa der „Reimtest in deutscher Sprache“ (*Sotschek* 1982), der "Beidohrige Zahlentest im Störgeräusch" (*Sauer* 1992) oder der "Dreisilbertest" mit Störschall (*Döring & Hamacher* 1992) entwickelt. Inzwischen liegt auch der phonetisch ausbalancierte Satztest in deutscher Sprache, der Oldenburger Satztest, vor (*Wagner et al.* 1999a, 1999b, 1999c). Bis heute wird bei der Entwicklung von sprachaudiometrischen Verfahren im deutschsprachigen Raum trotz der angemerkten Kritikpunkte häufig auf das Testwörterinventar des Freiburger Tests zurückgegriffen.

2.2.2 Lärmschwerhörigkeit und Minderung der Erwerbstätigkeit

Ein Hörverlust hat gravierende Folgen für den einzelnen Betroffenen, nicht nur in seinem Wohlbefinden, seiner räumlichen und sozialen Orientierung in der Umwelt,

sondern auch für seine Erwerbstätigkeit. Damit verbunden sind auch versicherungstechnische Aspekte, wie Ermittlung der Minderung der Erwerbstätigkeit bzw. Anerkennung als Berufskrankheit.

Die in der Bundesrepublik etablierten Verfahren zur Ermittlung der Minderung der Sprachverständlichkeit durch Schwerhörigkeit sind das Sprachaudiogramm (L_{HVZ} , GW) und u.U. das Tonaudiogramm (L_{HVT}). Das Ausmaß des Verlustes an Sprachverständlichkeit wird als prozentualer Hörverlust (HVP) angegeben. Er wird in der Bundesrepublik aus dem Hörverlust für Zahlwörter (L_{HVZ}) und dem Gesamtwortverstehen (GW) gewonnen (*Boenninghaus & Röser 1973, Feldmann 2001*; s.a. Abschnitt 2.2.1).

In Tabelle 2-1a (Spalten 1 und 2) ist die Einteilung des prozentualen Hörverlustes (*Feldmann 2001*) angegeben. Der prozentuale Hörverlust wird für jedes Ohr einzeln bestimmt und unter Berücksichtigung des prozentualen Hörverlustes beider Ohren die Minderung der Erwerbstätigkeit (MdE) von Lärmschwerhörigen aus einer Tabelle (*Feldmann 2001*) bestimmt. Haben beide Ohren - wie es bei der Lärmschwerhörigkeit in der Regel der Fall ist - den gleichen prozentualen Hörverlust (symmetrischer Hörverlust), so kann aus diesen die Minderung der Erwerbstätigkeit auf einfachere Weise bestimmt werden (Spalte 3).

Problematisch sind vor allem die Übergangsbereiche normalhörend / geringgradig und geringgradig / mittelgradig (annähernd normal HVP = 10 %, annähernd geringgradig 20 %, mittelgradig 30 %, gering- bis mittelgradig 40 %) Inzwischen ist eine allgemein akzeptierte Formulierung bei symmetrischem Hörverlust für den Grad der Schwerhörigkeit und dem HVP entwickelt worden (*Brusis & Mehrtens, 1989, s. Tabelle 2-1c*).

Um die Verbindung zum Tönhörverlust und der Sprachverständlichkeit zu verdeutlichen, sei hier ein Vorschlag von *Lehnhardt* (1978, 1996) und *Plath* (1981) aufgeführt (Tabelle 2-1b). Dort werden etwas differenziertere Angaben zur geringgradigen Schwerhörigkeit gemacht. Nach *Lehnhardt* kann der HVP auch direkt aus den Tönhörverlusten bei 1, 2 und 3 kHz (Spalte 3) und der Sprachverständlichkeit für Einsilber (Spalte 4) bestimmt werden. Den Kriterien für den Tönhörverlust liegt zugrunde, dass der Tönhörverlust

- durch eine hohe Geräuschexposition (hoher Geräuschpegel, Dauer der Geräuscheinwirkung) bedingt ist
- sich von den höheren Frequenzen (4 - 6 kHz) zu den mittleren und tieferen Frequenzen hin ausbreitet,
- in seinem Wert zunimmt.

Tabelle 2-1a Schwerhörigkeitsgrade und der entsprechende prozentuale Hörverlust (HVP) für jeweils ein Ohr sowie die Minderung der Erwerbstätigkeit (MdE), wenn beidseitig der gleiche Schwerhörigkeitsgrad bzw. der gleiche prozentuale Hörverlust vorliegt (*Feldmann 2001*)

1	2	3
Grad der Schwerhörigkeit für jeweils ein Ohr	HVP in %	Beidseitige Schwerhörigkeit MdE in %
Normalhörigkeit	0 - 20	-
Geringgradige Schwerhörigkeit	20 - 40	10 - 20
Mittelgradige Schwerhörigkeit	40 - 60	20 - 40
Hochgradige Schwerhörigkeit	60 - 80	40 - 60
an Taubheit grenzende Schwerhörigkeit	80 - 95	60 - 80
Taubheit	100	80

Tabelle 2-1b Bestimmung des HVP direkt aus dem Tonhörverlust und der Sprachverständlichkeit (*Lehnhardt 1978, 1996*). Für die drei HVP-Bereiche muss der Tonhörverlust (L_{HVT}) bei den Frequenzen 3/2/1 kHz 40 dB übersteigen und die Sprachverständlichkeit für Einsilber (SVE) bei einem Sprachpegel am Ohr von $L_S / L_{SA} = 65/62$ dB bei SVE = 100-70 / 70-30 / 30-10 % liegen.

1	2	3	4
Grad der Schwerhörigkeit für jeweils ein Ohr	HVP in %	$L_{HVT} > 40$ dB bei	SVE in %
Normalhörigkeit	0 - 15	-	100
Geringgradige Schwerhörigkeit	15 - 30	3 kHz	> 70
	30 - 45	2 kHz	30-70
Mittelgradige Schwerhörigkeit	45 - 60	1 kHz	< 30
Hochgradige Schwerhörigkeit	60 - 80		
an Taubheit grenzende Schwerhörigkeit	80 - 95		
Taubheit	100		

Tabelle 2-1c Schwerhörigkeitsgrad bei symmetrischer Schwerhörigkeit und dazugehörigem HVP und MdE

1	2	3
Grad der Schwerhörigkeit	HVP in %	MdE in %
Normalhörigkeit	0	0
Beginnende Schwerhörigkeit	< 20	< 10
Knapp geringgradige Schwerhörigkeit	20	10
Geringgradige Schwerhörigkeit	30	15
Gering- bis mittelgradige Schwerhörigkeit	40	20
Knapp mittelgradige Schwerhörigkeit	45	25
Mittelgradige Schwerhörigkeit	50	30
Mittel- bis hochgradige Schwerhörigkeit	60	40
Etc.	Etc.	Etc.

Auf die individuelle Beurteilung des Sprachverständlichkeitsverlust von schwerhörigen Personen sowie auf die Begutachtung der Schwerhörigkeit und die Festlegung der Minderung der Erwerbstätigkeit von Lärmarbeitern, die auch eine Reihe versicherungstechnischer und sehr differenzierter medizinischer Fragestellungen einschließt, wird in diesen Ausführungen nicht eingegangen; *Brusis* (1978), *Lehnhardt & Plath* (1981), *Dieroff* (1994) und *Feldmann* (2001) diskutierten diesen Problembereich ausführlich.

In der Bundesrepublik wird eine Lärmschwerhörigkeit dann als Berufskrankheit anerkannt, wenn eine Minderung der Erwerbstätigkeit von MdE $\geq 10\%$ vorliegt; entschädigungspflichtig ist eine Lärmschwerhörigkeit ab einer MdE von 20%, d.h. wenn die Schwerhörigkeit gering bis mittelgradig (HVP = 40%) ausgeprägt ist. Eine Minderung der Erwerbstätigkeit von 10%, d.h. eine eben geringgradige, lärmbedingte Schwerhörigkeit (HVP = 20%), ist nur dann entschädigungspflichtig, wenn die Person zusätzlich noch einen anderen Körperschaden aufweist, der ebenfalls eine Minderung der Erwerbstätigkeit auslöst.

Diese Ausführungen machen deutlich, dass schon ein recht erheblicher Tonhörverlust (ein Tonhörverlust von mindestens $L_{HVT2} > 40$ dB oder auch von $L_{HVT3} > 40$ dB) festgestellt werden muss, damit eine lärmbedingte Berufskrankheit anerkannt werden kann. Unbeschadet der Anerkennung als Berufskrankheit bleibt festzuhalten, dass Beeinträchtigungen der Kommunikation aufgrund eines Hörverlustes schon weit vor einer MdE auftreten.

2.3 Verbreitung

Man geht davon aus, dass in der Bundesrepublik etwa 5 bis 10 % der Arbeitnehmer, das sind ca. 2 bis 3 Mill. von 34 Mill. Arbeitnehmern bei Geräuschmissionen über $L_{Ar} = 85$ dB beschäftigt sind. Die Lärmschwerhörigkeit liegt weiterhin mit an der Spitze der Berufskrankheiten, ihr Anteil an der Gesamtzahl der Berufskrankheitsfälle lag in den vergangenen Jahren bei ca. 30 %. Jedes Jahr werden über 10.000 neue Fälle der Berufskrankheit Lärmschwerhörigkeit angezeigt, 6.000 neue Fälle erstmals anerkannt und ca. 1.000 Fälle erstmals entschädigt (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2 Anzahl und Anteile der einzelnen Berufskrankheiten (gesamte in Deutschland): Die Zahlen beinhalten die Jahresdaten der Gewerblichen und Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften sowie des Unfallversicherungsträgers der öffentlichen Hand (Bericht für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2001 des BMWA)

Berufskrankheiten	Anzeigen auf Verdacht		Anerkannte		Neue BK Renten	
	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %	Anzahl	Anteil %
Sehnenscheiden / Meniskus	3153	4,1	383	2,1	173	3,0
Schäden durch Vibration*	1248	1,6	168	0,9	115	2,0
Lärmschwerhörigkeit	12114	15,8	7294	39,2	789	13,7
Lunge und Atemwege	16731	21,8	6868	36,9	3323	57,8
Hauterkrankungen	21494	28,1	1533	8,2	445	7,7
Sonstige	21872	28,5	2353	12,7	905	15,7
Insgesamt	76612	100,0	18599	100,0	5750	100,0

*Beinhaltet 2103, 2104 und 2110 (Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjährige vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen)

Durch hohe Lärmbelastungen entstehen den Betrieben, Berufsgenossenschaften und Krankenkassen Kosten für Vorsorgeuntersuchungen, Berufskrankheitsrenten, Krankenausfalltage und Minderung der Leistungsfähigkeit. Die Kosten allein für die Berufskrankheitsrenten aufgrund von Lärmschwerhörigkeit belaufen sich in Deutschland auf über 150 Mio. Euro pro Jahr.

Zeiger (1979, vgl. dazu den Überblick in Tabelle 2-3) erwähnt eine Umfrage, in der sich 5,8 Mill. Menschen - ca. 10 % der Bevölkerung der Bundesrepublik über 16 Jahre - als mittel- oder hochgradig schwerhörig einstufen.

Guski et al. (1996) berichtet von 15 bis 20% Gehörgeschädigten in Deutschland und zitiert eine Studie von *Fengler* (1990), in der jede vierte einer repräsentativen Stichprobe in der Bundesrepublik ein beeinträchtigtes Hören aufwies.

Sohn & Jörgenshaus (2001) schätzt auf der Basis eines Screenings mit 2031 Probanden den Anteil der Personen mit einer behandlungsbedürftigen Schwerhörigkeit auf knapp 15 %, den gesamten Anteil von Personen mit einer Hörstörung auf 19 %.

Aus Skandinavien werden ähnliche Daten berichtet: 8 % der schwedischen Bevölkerung weisen nach *Aniansson* (1980) Hörschäden auf – bedingt durch Lärmexposition, Alter oder Ohrkrankheiten –, die die alltägliche Sprachverständlichkeit beeinträchtigen.

Tabelle 2-3 Überblick über Verteilung von Hörverlusten (Tonhörverlust) in Deutschland und Skandinavien (Gesamtbevölkerung)

Autor	Land	Datenbasis	Alter	Kein Hörverlust in %	Hörverlust Mit Kriteriumsangabe
Sohn & Jörgenshaus (2001)	Deutschland	Repräsentative Stichprobe (N=2031)	k.A.	81 %	19 %
Guski (et al., 1996)	Deutschland	Gesamtbevölkerung	k.A.		15-20%
Fengler (1990)	Deutschland	repräsentative Stichprobe			25%
Zeiger (1979)	Deutschland	Gesamtbevölkerung	über 16		10 %
Aniansson (1980)	Schweden	Gesamtbevölkerung	k.A.		8 %

Eine Reihe von Quer- und Längsschnitt-Untersuchungen sind an jüngeren oder älteren Personen (Rekruten, Jugendlichen mit hohem Musikkonsum) vorgenommen worden (*Plomp* 1978, *Axelsson et al.* 1994, *Hoffmann* 1997, *Leitmann* 2003), deren Ergebnisse noch kein einheitliches Bild zeigen. Der Anteil an Hörschäden bei Rekruten scheint jedoch vergleichbar zu sein: *Axelsson et al.* (1994), *Borchgrevink* (1994) und *Hoffmann* (1997) fanden in ihren Studien zwischen 13 und 19 % Personen mit Hörverlusten von mehr als 20 dB.

Die Daten zur Altersschwerhörigkeit (*Schmidt* 1967), mit denen zurzeit operiert wird, stellen Durchschnittswerte dar, die vor ca. 50 Jahren ermittelt wurden. Solche Durchschnittswerte sind heute kaum brauchbar. Die Anzahl weit verbreiteter lauter Geräuschquellen (Maschinen für Heimwerker, Gartengeräte) und der intensive Musikkonsum (via Kopfhörer, Diskotheken, Konzerte) sowie der sich andeutende hohe Anteil von Personen mit Hörverlusten bei jungen Personen (Rekruten) lässt vermuten, dass bei vielen Personen mit zunehmendem Alter mit einer Verschlechterung des Hörvermögens gerechnet werden muss. Dies ist umso bedeutsamer, als aufgrund des demographischen Faktors und der zu erwartenden Verlängerung der Lebensarbeitszeit der Anteil älterer Arbeitnehmer zunehmen wird.

2.4 Grenzwerte und Maßnahmen zur Prävention lärmbedingter Schwerhörigkeit

2.4.1 Grenzwerte, Auslöseschwellen

Sowohl gesamtgesellschaftlich als auch individuell besteht ein Interesse, Personen vor Schäden durch Schall zu schützen, was sich in der Formulierung von Grenzwerten und Maßnahmen zur Minderung des Lärms niederschlägt.

Die Bestimmung von Grenzwerten schließt die Frage nach dem Prozentsatz der Population ein, der vor Gehörschäden geschützt werden soll. Gemäß EPA-Bericht 1974 soll die gesamte Population gegen Gehörschäden geschützt werden. *Von Gierke & Johnson* (1976) vertreten jedoch die Meinung, den Grenzwert so festzulegen, dass etwa 90% aller Personen geschützt sind.

Dazu ist es erforderlich, den Beurteilungspegel zu ermitteln, der gerade noch nicht zu Hörschäden führt. Der Beurteilungspegel (L_{Ar}) entspricht im Wesentlichen dem Abwerteten äquivalenten Dauerschallpegel ($L_{Aeq,T}$) für eine Schicht der Dauer T : $L_{Aeq,T} = L_{Aeq,8} + 10 \lg T/8$. Um die Schädlichkeit impuls- und tonhaltiger Geräusche zu berücksichtigen, können Korrekturzuschläge (K_I , K_T) hinzugefügt werden (s. *DIN 45645-2*, *DIN EN ISO 11690-1*): $L_{Aeq,T} = L_{Aeq,8} + 10 \lg T/8 + K_I + K_T$.

Aus Felduntersuchungen in den sechziger und siebziger Jahren (*Passchier-Vermeer* 1968, *Robinson* 1968, *Baughn* 1973; zusammengefasst in *EPA* 1974) wurde das Risiko eines Hörverlustes bei einem bestimmten Pegel abgeleitet, der über Jahre (8 Stunden pro Tag) auf die Betroffenen einwirkt. Die Ergebnisse geben den Zusammenhang zwischen Hörverlust, der durch Arbeitslärm entstanden ist, und den verursachenden Geräuschpegel ($L_{Aeq,T}$) dar (Abbildung 2-7 folgende Seite). In dieser Abbildung wird der geräuschbedingte Hörverlust bei 4 kHz und die Mittelwerte über die Hörverluste bei den Frequenzen 0,5/1/2 kHz sowie über die Frequenzen 0,5/1/2/4 kHz angegeben. Bei der Annahme von einer Messunsicherheit von 5 dB kann man aus diesen Daten entnehmen, dass unterhalb des Geräuschpegels von $L_{Aeq,8h} = 73 - 75$ dB, dem man 40 Jahre ausgesetzt war, kein Risiko besteht, einen Hörverlust bei 4 kHz zu erhalten, das heißt, das $DL_{HVT,4} < 5$ dB ist (*EPA* 1974; *von Gierke & Johnson*, 1976, *WHO* 1980).

Um einen für die betriebliche Praxis handhabbaren Grenzwert zu schaffen, wurde in den meisten Ländern der Grenzwert auf 85 dB gelegt (*Embleton* 1997), ab dem gezielt Lärminderungsmaßnahmen vorgeschrieben sind. Einerseits sollen dabei die meisten Personen (>95 %) vor zu hoher Lärmimmission geschützt werden, andererseits aber sollte der Aufwand zweckmäßig begrenzt werden: also eben nicht ganze Betriebsbereiche in Lärmbereiche verwandelt werden, um beispielsweise nur 1 % der Population vor einem geringen lärminduzierten Hörverlust zu schützen. Ab diesem Grenzwert wird in vielen Ländern der Schutz des Gehörs durch Maßnahmen der Lärminderung, Auswahl leiser Maschinen, Gefährdungsanalyse, Kennzeichnung der Lärmbereiche, Vorsorgeuntersuchung (Audiometrie) bzw. Tragen von Gehörschutz empfohlen und/oder vorgeschrieben.

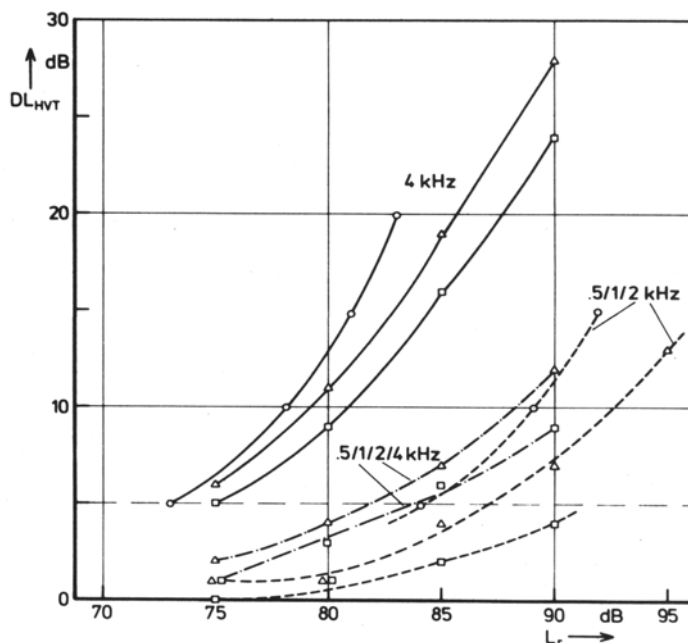


Abbildung 2-7 Hörverlust (DL_{HVT}), bedingt durch eine berufliche Geräuschexposition, in Abhängigkeit vom Geräuschpegel (L_r) für gleichförmige Geräusche über 8 Stunden täglich (40 Stunden pro Woche), dargestellt mit drei Hörverlustkriterien, die erhalten wurden (nach *Gierke & Johnson 1976*) für:

	DL _{HVT} in dB für		
	4 kHz	0,5/1/2 kHz	0,5/1/2/4 kHz
die gesamte Stichprobe (der gesamte Hörverlust innerhalb einer 40-jährigen Geräuschexposition)	○—○	○- - -○	
90 % der Stichprobe (der maximale Hörverlust innerhalb einer 40-jährigen Geräuschexposition)	△—△	△- - -△	△- - - -△
90 % der Stichprobe (der Hörverlust für eine 10-jährige Geräuschexposition)	□—□	□- - -□	□- - - -□

Für den Lärmschutz in Arbeitsstätten ist die EG-Arbeitsplatz-Lärmschutz-Richtlinie 86/188/EWG maßgebend. Die Bestimmungen derselben wurden umgesetzt durch die Unfallverhütungsvorschrift BGV B 3 Lärm der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Nach BGV B 3 Lärm ist der Unternehmer verpflichtet, die Lärmgefährdung für versicherte Beschäftigte, vorrangig im Hinblick auf Gehörschädigung und erhöhtes Unfallrisiko zu minimieren. Er hat unter anderem sicher zu stellen, dass Arbeitsmittel, Arbeitsverfahren und Arbeitsstätten nach den fortschrittlichen Regeln der Lärmreduzierungs-technik beschaffen sind. Lärmintensive Bereiche sind zu ermitteln und die dort vorhandenen Lärmbelastungen anhand eines aufzustellenden Lärmreduzierungsprogramms mittels technischer Maßnahmen nachweisbar abzubauen. Soweit eine Gehörgefährdung besteht, müssen geeignete persönliche Gehörschutz mit-

tel bereitgestellt und von den betroffenen Beschäftigten benutzt werden. Die gefährdeten Beschäftigten haben sich Gehörvorsorgeuntersuchungen zu unterziehen.

Die EG-Arbeitsplatz-Lärmschutz-Richtlinie 86/188/EWG wurde in den Jahren 2001/2002 überarbeitet und liegt als neue, aber bisher noch nicht in deutsches Recht überführte EG-Richtlinie 2003/10/EG vor. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Vorschriften macht die Tabelle 2-4 deutlich.

Tabelle 2-4 Grenzwerte und Auslöseschwellen (x) für Maßnahmen der EG-Arbeitsplatz-Lärmschutz-Richtlinien 2003/10/EG und 86/188/EWG und deren nationale Umsetzung

Deutsche Vorschrift	Geplant		BGV B 3, A 4	
	2003/10/EG		86/188/EWG	
Grenzwert	87 dB		Nicht vorhanden	
Auslöseschwellen	80 dB	85 dB	85 dB	90 dB
Information der Arbeitnehmer	X		X	
Gehörschutz zur Verfügung stellen	X		X	
Gehörschutz-Tragepflicht ab		X		
Gefährdungsbewertung	o*		Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
Lärminderung	o*		o*	
Lärmbereichskennzeichnung		X		X
Lärminderungsprogramme		X		X
Anspruch auf Gehörvorsorge	(X)***	X**	X**	X

* ohne eine Schwelle

** in Deutschland Pflicht

*** Wenn Lärmimmissionsmessung und -bewertung ein Gehörrisiko zeigen

Die Arbeitsstättenverordnung enthält ebenfalls das Lärmminimierungsgebot.

Zusätzlich zur Begrenzung des Beurteilungspegels bzw. dem äquivalenten Dauerschallpegel darf der Spitzenschalldruckpegel (L_{Cpeak}) zur Vermeidung akuter Gehörschäden den Wert von 130 bis 140 dB nicht überschreiten. Mehrfach auftretende Schallimpulse sollten den Wert von $L_{AI} = 120$ dB möglichst nicht überschreiten (VDI 2058-2). Weiterhin muss das Eindringen von intensivem Ultraschall durch direkten Kontakt auf den Schädelknochen ausgeschlossen werden. Bei luftgeleitetem Ultraschall sollte der Terzschalldruckpegel mit der Mittenfrequenz von 20 kHz den Wert 110 dB nicht übersteigen.

Jedoch hängt das Risiko nicht allein von der Höhe des Geräuschpegels ab. In VDI-Richtlinie 2058-2 wird darauf hingewiesen, dass weitere Faktoren eine Gehörgefährdung nach sich ziehen können. Kombinationswirkungen können das Schädigungsrisiko erhöhen, wie beispielsweise zusätzliches Auftreten von ototoxischen Stoffen, Schwingungen, Nacharbeit oder ungünstigen Klimabedingungen.

2.4.2 Schutzmaßnahmen

Aus der Erkenntnis heraus, dass die Anzahl der Personen, die einen Hörverlust erhalten, sowie das Ausmaß des Hörverlustes selbst mit der Intensität und Dauer der Geräuscheinwirkung zunimmt, lassen sich anhand dieser Kriterien Maßnahmen zum Schutz des Gehörs ableiten:

- Festlegen und Einhalten von Grenzwerten zur Geräuschemission
- Technische Maßnahmen zur Lärminderung
- Auswahl leiser Maschinen
- Hohe Schallpegelabnahme im Raum
- Kennzeichnung von Lärmbereichen
- Durchführung und Teilnahme der Betroffenen an Vorsorgeuntersuchungen
- Tragen von Gehörschutz

Diese Maßnahmen sind in den EG-Richtlinien und deutschen Vorschriften enthalten und werden durch europäische und nationale Normen präzisiert und erläutert (*DIN 45645-2; VDI 2058-2, -3; DIN EN ISO 11690-1, -2*). So finden sich zu den oben genannten Punkten in der *DIN EN ISO 11690-1,-2* und der *VDI 2058-2* genauere Angaben: Für die tägliche Arbeitsbelastung ist anzustreben, dass ein Beurteilungspegel von 75 bis 85 dB am Arbeitsplatz nicht erreicht oder überschritten wird, sowie ein ausreichend niedriger Geräuschpegel für die Gehörerholung gewährleistet ist. Maschinen sollte eine Information über die Höhe der nach Norm gemessenen Geräuschemission beigegeben werden. Besteht bei der Benutzung solcher Geräte die Gefahr eines Gehörschadens, soll auf die Notwendigkeit, Gehörschutz zu tragen, hingewiesen werden. Außerdem sollten technische und organisatorische Maßnahmen zur Minderung der Lärmbelastung durchgeführt werden.

Bei Beurteilungspegeln von 85 dB und mehr, tonhaltigen Geräuschen, impulshaltigen Geräuschen und kombinierten Belastungen sollten bevorzugt Maßnahmen zur Lärminderung durchgeführt und/oder die zusätzlichen Belastungen verringert werden. An Arbeitsplätzen mit Beurteilungspegeln von 85 dB und mehr muss Gehörschutz getragen werden, außerdem sollten die Personen sich einer arbeitsmedizinischen Gehörvorsorge-Untersuchungen unterziehen. Der Anamnese, der Feststellung des Hörvermögens bereits zu Beginn der Ausbildung für lärmbelastete Berufe und der Überwachung etwa in Jahresabständen kommt eine große Bedeutung zu. Auch die Gewöhnung an das Tragen von Gehörschutz ist gerade für Jugendliche besonders wichtig. Bei Hinweisen auf erhöhte Lärmempfindlichkeit des Gehörs müssen Lärmeinwirkungen, wenn nicht anders möglich durch besonders ausgewählten und angepassten Gehörschutz oder sogar durch Arbeitsplatzwechsel, auf jeden Fall reduziert werden. Freizeit und Arbeitspausen sollten bei Arbeitern in Lärm zur Gehörerholung genutzt werden. Im Rahmen des Arbeitsschutzgesetzes ist eine Gefährdungsbewertung hinsichtlich Lärm vorzunehmen (*Lazarus et al. 2001*).

2.4.3 Information der Mitarbeiter

Bei der Vorsorge scheint die Information der Arbeitnehmer über die möglichen Schäden durch Lärmbelastung eine entscheidende Maßnahme zu sein. *Hoffmann* (1997) berichtet, dass der Informationsstand in Verbindung mit dem Schutzverhalten der Arbeitnehmer steht, aber die gegebene Information nicht ausreichend sei, um Schutzverhalten auszulösen: „Der Informationsstand über die Gefahr der Lärmschwerhörigkeit ist schlecht, 45% der Berufstätigen konnten sich nicht an eine entsprechende Aufklärung erinnern. Dabei lag die Lehre und Berufsschule bei den 19- bis 21-jährigen erst kurze Zeit zurück. Nur 31% trugen – nach eigenen Angaben – bei lauten Arbeiten immer oder meistens Gehörschutz. 31% schützten ihre Ohren manchmal, 38% gaben an, nie Gehörschutz zu verwenden. Nicht über Lärmschäden informierte Berufstätige trugen bei lauten Tätigkeiten viel seltener Gehörschutz als ihre über Hörschäden unterrichteten Kollegen. So trug kein einziger der nicht informierten Arbeiter bei lauten Arbeiten regelmäßig Gehörschutz, 80% verwendeten nie Gehörschutz! Dagegen setzten knapp die Hälfte der über Lärmschäden informierten Personen (48%), bei entsprechenden Arbeiten immer oder meistens Gehörschutz ein. Es liegt somit eine deutliche Abhängigkeit zwischen der Information über Lärmschwerhörigkeit und der Nutzung von Gehörschutz vor.“ (S.183f.)

Nach *Guski et al.* (1996) werden entsprechende Hinweise zur Reduktion der Lärmemission, zur technischen Lärminderung oder zum Gehörschutz noch zu häufig ignoriert (S.2):

- Effekte von technischer Lärminderung werden durch eine verstärkte Technisierung im Arbeitsbereich wieder aufgehoben: das Gehör hat zu geringe Erholungszeiten
- technische Möglichkeiten zur Lärminderung werden nach wie vor nicht voll genutzt (einsetzen/entwickeln von leiseren Maschinen, Einführung vorhandener Technik)
- die Akzeptanz von Gehörschutz ist unzureichend und liegt bei einer Quote von 50-60%.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Erholungszeiten für das Gehör auch im Freizeitbereich zunehmend eingeschränkt werden (Musikkonsum, Hobbywerken).

2.5 Wichtige Punkte im Überblick

- Schwerhörigkeit kann u.a. durch biologische Faktoren, Schädelverletzungen und Entzündungen bedingt sein, im Alter auftreten und vor allem aber durch hohe Geräuschintensitäten verursacht werden.
- Im allgemeinen kann man drei typische Formen der Schwerhörigkeit unterscheiden: die Schwerhörigkeit aufgrund von Schädigungen der Haarzellen im Innenohr (wie Lärmschwerhörigkeit und altersbegleitende Schwerhörigkeit), die Schallleitungsschwerhörigkeit, die durch Übertragungsdefizite im Mittelohr

zustande kommt, und die zentrale Hörschäden aufgrund von Schäden des Hörnervs und/oder beteiligter Hirnareale.

- Der Hörverlust kann mit einem Ton- oder einem Sprachaudiogramm erhoben werden. Bei einem Tonaudiogramm wird der Hörverlust für bestimmte Frequenzen ermittelt. Im Sprachaudiogramm wird das Ausmaß der Schwerhörigkeit bezüglich des Sprachgehörs dargestellt. Es sind eine Reihe unterschiedlicher Verfahren für verschiedene Zwecke entwickelt worden, dabei bedient man sich verschiedener Sprachmaterialien (Einsilber, Sätze, Sinnlose/-volle Silben, Reime etc.) und Aufgabenvorgaben (korrekte Wiedergabe ganzer Sätze, kritischer Wörter o.ä.). Problematisch ist, dass die sprachliche Kompetenz des Untersuchten (Zweitsprache) die Ergebnisse beeinflussen kann.
- Man geht davon aus, dass in der Bundesrepublik ca. 10 % der Arbeitnehmer bei Geräuschemissionen über 85 dB beschäftigt sind.
- Als Kriterium für die Geräuschemission wird der Beurteilungspegel für eine Arbeitsschicht, das heißt, der äquivalente Dauerschallpegel ($L_{Aeq,8h}$), angegeben, bei impulshaltigen Geräuschen kann eine Impulskorrektur (K_1) hinzugefügt werden (*DIN 45645-2*).
- Es wird ein Grenzwert (Beurteilungspegel) von $L_{Ar} = 85$ dB angegeben, ab dem ein Schutz des Gehörs u.a. durch Lärminderung, Vorsorgeuntersuchungen und Tragen von Gehörschutz vorgeschrieben ist. Um das Gehör vor Verlusten und Schäden zu schützen, müssen Maßnahmen abgeleitet werden, die dies gewährleisten. Dazu gehören technische Maßnahmen zur Lärminderung, Festlegen und Einhalten von Grenzwerten zur Geräuschemission, Kennzeichnung von Lärmbereichen, Durchführung und Teilnahme der Betroffenen an Vorsorgeuntersuchungen und das Tragen von Gehörschutz. Für diese Bereiche finden sich in der *DIN EN ISO 11690-1, -2* und der *VDI 2058-2* genauere Gestaltungshinweise. Bei der Vorsorge scheint die Information der Arbeitnehmer über die möglichen Schäden durch Lärmbelastung eine entscheidende Maßnahme zu sein.

3 Konsequenzen der Schwerhörigkeit: Auswirkungen auf die soziale Interaktion

„Mitten unter den Menschen zur Einsamkeit verdammt.“

Ludwig van Beethoven, Heiligenstädter Testament

3.1 Begleiterscheinungen der Schwerhörigkeit

Schwerhörigkeit kann nicht als isolierte Sinnesstörung betrachtet werden. Die Einschränkungen überschreiten den akustisch-sensorischen Bereich und betreffen ebenso emotionale, vegetative und vitale Befindlichkeiten wie personale, soziale und kommunikative Kompetenzen (*Richtberg 1989; Hinchcliffe 1998*). Schwerhörigkeit ist also als körperliche Beeinträchtigung oder sogar Behinderung zu betrachten, nämlich als - im Sinne der WHO-Definition - „der Nachteil für ein Individuum, der aus der Verschlechterung oder der Unfähigkeit resultiert, die die Erfüllung einer normalen (abhängig von Alter, Geschlecht, sozialen und kulturellen Faktoren) Rolle einschränkt oder verhindert.“ Lärmschwerhörigkeit ist zudem eine anerkannte Berufskrankheit (Abschnitt 2.2.2).

Die Tabelle 3-1 zeigt einen Querschnitt aus möglichen Begleiterscheinungen, die durch eine Schwerhörigkeit entstehen können und die entsprechende Literatur, in der diese diskutiert werden.

Die Studien zeigen, dass die sekundären Beeinträchtigungen eines Hörverlusts sehr vielfältig sind (emotional, vegetativ, personal, sozial) und oftmals von außen stehenden Personen nicht richtig eingeschätzt und verstanden werden. Sie werden selten mit der Hörschädigung in Verbindung gebracht. Verhaltensweisen, die sich typischerweise bei einer Schwerhörigkeit ausbilden, beinhalten die Vermeidung von sozial orientierten Verhaltensweisen, Unsicherheiten in Gruppensituationen, Misstrauen und aggressive Selbstbehauptung und schließlich defensive, passive und kontaktarme Züge. Damit ist klar, warum soziale Beziehungen, besonders Familienbeziehungen, durch die Schwerhörigkeit beeinträchtigt werden. Oftmals wirken spontane Reaktionen auf die durch die Schwerhörigkeit bedingten Defizite als Katalysatoren für psychosoziale Beeinträchtigungen und dieser Mechanismus kann ohne fremde Hilfe häufig nicht unterbrochen werden. Bei früher Entstehung der Schwerhörigkeit können Defizite in der Persönlichkeitsentwicklung und der Entwicklung kommunikativer Kompetenzen beobachtet werden. Psychosomatische Dekompensationen der Belastung durch das Defizit können sich in Konzentrations- und Schlafstörungen, Kopfschmerzen und Wetterfühligkeit bemerkbar machen. Schließlich kann die Schwerhörigkeit, besonders im Alter zu einer sozialen Isolation bzw. Vereinsamung führen, mit der dann auch emotionale Störungen wie Depressionen einhergehen können. Problematisch ist das häufige Verleugnen und Verstecken der Störung, da dies die Entwicklung von adäquaten Copingstrategien, den Ausgleich durch audiologische Maßnahmen sowie die Teilnahme an hilfreichen Rehabilitationsmaßnahmen verhindert. Für Rehabilitationsmaßnahmen ist es wichtig, dass die Familie mit einbezogen wird und

dass die Kommunikationskompetenzen und bereits ausgebildete (in)adäquate Bewältigungsmechanismen bekannt sind.

Tabelle 3-1 Querschnitt aus den möglichen Begleiterscheinungen einer Schwerhörigkeit und Literatur, in der diese diskutiert werden

Mögliche Begleiterscheinungen der Schwerhörigkeit	Referenzliteratur
Verleugnen der Störung	<i>Vesterager, Salomon & Jagd (1988)</i>
Vortäuschen von Verständnis im Gespräch	<i>Meyerson (1948), Tesch-Römer (2001)</i>
Unsicherheit in Gruppensituationen	<i>Richtberg (1989), Meyerson (1948), Florin et al. (1990), Hallberg & Carlsson (1991a, b)</i>
Misstrauen, Empfindlichkeit, Ungeduld, Verletzbarkeit, Minderwertigkeitsgefühle	<i>Guski (et al., 1996), Richtberg (1989)</i>
Defensive, passive und kontaktarme Züge	<i>Meyerson (1948)</i>
Vermeidung sozial orientierter Verhaltensweisen	<i>Meyerson (1948), Tesch-Römer (2001)</i>
Abgeschnittenheit von der Umgebung	<i>Weinstein & Ventry (1982)</i>
Gefahr der Vereinsamung Isolation Isolationsstrategien	<i>Guski (et al. 1996), Richtberg (1989)</i> <i>Weinstein & Ventry (1982), Florin et al. (1990)</i> <i>Hull (1978), Hallberg & Carlsson (1991a, b)</i>
Psychosoziale Beeinträchtigung, besonders in Familienbeziehungen	<i>Hétu (1981)</i> <i>Hétu, Lalonde & Getty (1987)</i> <i>Lalonde, Lambert & Riverin (1988)</i> <i>Hull (1978)</i> <i>Beck (1986), Florin et al. (1990)</i> <i>Guski (et al. 1996), Richtberg (1989)</i> <i>Peterson & French (1988)</i>
Gestörte Persönlichkeitsentwicklung	<i>Beck (1986)</i>
Frustration	<i>Hull (1978)</i>
Depression	<i>Vesterager, Salomon & Jagd (1988)</i>
Schreckhaftigkeit als überdauernde Anpassungshaltung	<i>Richtberg (1980), Florin et al. (1990), Guski et al. (1996)</i>
Psychosomatische Dekompensation (Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Wetterfühligkeit, Konzentrationsschwäche)	<i>Richtberg (1980)</i>
Subjektives Erleben von verschlechterter Gesundheit	<i>Salomon, Vesterager & Jagd (1988)</i>
Objektiv verschlechterte Gesundheit	<i>Florin et al. (1990)</i>

3.2 Die Tabuisierung der Störung

Der schleichende Prozess der Entstehung einer Lärmschwerhörigkeit prädestiniert die Störung dazu, nicht wahr- oder ernst genommen zu werden. Insbesondere bei männlichen Lärmschwerhörigen scheint die Tendenz zu bestehen, den Hörverlust zu ignorieren und Situationen zu vermeiden, in denen dies offenkundig werden könnte (*Barrenäs 1998*). Auf der einen Seite bleibt der Hörverlust ein Tabu, auf der anderen Seite zeigt aber eine Studie mit Arbeitern (*Lalonde & Héту 1986*) klar, dass sie den Wunsch verspürten, dass ihre Frau ihre Erfahrungen mit dem Hörverlust verstehen möge.

Da versucht wird, die Störung zu verstecken (*Vesterager et al. 1988*) und der Dialog darüber oftmals ein Tabu ist (*Lalonde & Héту 1986*), werden die Nachteile, die durch die Störung entstehen, von Außenstehenden oft nicht wahrgenommen. Verleugnung als evasive Kommunikationsstrategie (*Tesch-Römer 2001*) muss daher als misslungener Versuch gewertet werden, mit der Störung umzugehen.

Für den Laien bleibt die Schwerhörigkeit häufig ein Problem unzureichender Lautstärke, das durch „einfaches“ lautes Reden behebbar ist. In der Regel ist weder bekannt, wie ein Schwerhöriger hört, noch bestehen realistische Vorstellungen darüber, dass sehr viele Lebensbereiche tief greifend verändert werden können (*Guski et al. 1996*).

Sicherlich mitbedingt durch die Tabuisierung besteht eine deutliche Diskrepanz zwischen erlebter Beeinträchtigung des Gehörs und dem, was man sich als Normalhörender darunter vorstellt. Im Gegensatz zur Blindheit, die man sich durch Schließen der Augen ohne weiteres veranschaulichen kann, ist die Schwerhörigkeit weit weniger konkret. So wird Schwerhörigen auch nicht annähernd der Status von Behinderten zugestanden (wie es bei Sehbehinderten ohne weiteres der Fall ist) treffen dementsprechend weit seltener auf Hilfeverhalten und Verständnis in ihrer Umwelt, sondern werden im Gegenteil häufig eher belächelt (*Guski et al. 1996*). Die vielfachen Versuche, als „vollwertig“ zu gelten, wie Mitlachen bzw. Verstehen vortäuschen, können zu dem Vorurteil führen, dass das Problem des Schwerhörigen vielleicht doch nicht nur ein akustisches ist (*Guski et al. 1996*). Die Natur der Hörschädigung, besonders der Verlust von Frequenzauflösung, der schlechte Sprachdiskrimination unter Lärm verursacht, wird von anderen oftmals genauso wenig verstanden wie vom Opfer selbst. Wegen ihrer vieldeutigen und diskreten Natur erscheint der Hörverlust eher als Ergebnis mangelnder Konzentration und Unwillen zur Kommunikation anstatt als Konsequenz eines Hörproblems (*Héту 1981*). Daher kommt es vor, dass Schwerhörige als unbeholfen und unsensibel oder sogar als beschränkt angesehen werden (*Guski et al. 1996*).

Die Entwicklungen innerhalb der Hörgeräteindustrie verhindern ebenfalls eine größere Akzeptanz und ein besseres Verständnis der psychosozialen Probleme von Hörgeschädigten, da auch hier die klare Tendenz besteht, die Schwerhörigkeit zu verstecken, wann immer das möglich ist (*Vesterager et al. 1988*).

Die Folgen der Tabuisierung der Störung lassen sich wie folgt zusammenfassen

- Falsche Einschätzung des Handicaps durch Außenstehende

- Falsche Vorstellungen anderer über die Behebbarkeit des Handicaps („einfach“ lauter sprechen; Hörgerät)
- Falsche Bewertung der Person durch andere (Unwillen, mangelnde Intelligenz)
- Kein Hilfeverhalten von Außenstehenden
- Keine Suche nach audiologischer Hilfe.

3.3 Subjektives Erleben der Schwerhörigkeit

Auch wenn seitens der Betroffenen der Verlust des Hörens lange Zeit versucht wird zu ignorieren bzw. dieses Thema tabuisiert wird, sind irgendwann die Hinweise auf die Störung so massiv, dass sie nicht mehr geleugnet werden.

Hétu et al. (1987) untersuchten deshalb die Dimension der psychosozialen Beeinträchtigungen, die in Verbindung mit den Reaktionen der Familie auf die einen lärmbedingten Hörverlust stehen. Speziell drei Fragestellungen wurden verfolgt:

- Festzustellen, wie die Hörschädigung die Familienbeziehungen beeinflusst
- Zu identifizieren der Strategien, die der Betroffene entwickelt, um innerhalb der Familie seine Schädigung auszugleichen
- Zu evaluieren, ob die spontane Reaktion der Familie die Beeinträchtigungen mildert oder verstärkt, die aus dem Hörverlust entstehen.

Das „Sich-bewusst-sein“ ein Hörproblem zu haben, wird überraschender Weise nicht durch die Reaktion der Familie auf die Hörschädigung determiniert. Die Variablen, die höhere Korrelationen mit der Selbstwahrnehmung der Hörschädigung zeigen, beziehen sich auf das Erleben der Einschränkung der Kommunikationsfähigkeit, insbesondere wenn es um Kommunikation in der Gruppe geht. Ebenso unerwartet scheint es, dass die Hörsensitivität allein genommen ein schlechter Prädiktor für psychosoziale Nachteile ist, die aus lärminduzierter Schwerhörigkeit resultieren.

Dieses Ergebnis fanden auch *Lalande et al. (1988)*. Dies zeigt, wie wichtig es ist, zusätzlich zum objektiven Hörverlust auch die subjektive Beeinträchtigung zu erheben (z.B. mit dem Communication Profile for the Hearing Impaired (CPHI), *Demorest & Erdman 1986*). Vor allem eine Variable scheint ein hochspezifischer Prädiktor für eine wahrgenommene schwere Hörschädigung zu sein: „Während normaler Unterhaltungen „sehr oft um Wiederholung bitten“ wurde von 90% derjenigen berichtet, die sich selbst als ernsthaft durch das Hörproblem beeinträchtigt fühlen. Die Probleme, die während normaler Unterhaltungen, mit akustischen Warnsignalen und Telefonnachrichten erlebt werden, stehen in signifikantem Zusammenhang mit dem Hörlevel und dem wahrgenommenen Hörstatus (*Hétu et al. 1987*).

Die vielfältigen Beeinträchtigungen und die unterschiedlichen Ergebnisse für den Umgang, bzw. die Auswirkungen der Hörschädigung verdeutlichen, wie entscheidend die Erhebung der subjektiven Beeinträchtigung ist. Dabei muss vor allem die selbst wahrgenommene Kommunikationsleistung eine wichtige Rolle spielen.

Als Möglichkeit hierfür stellen *Demorest & Erdman (1986)* das *Communication Profile for the Hearing Impaired (CPHI)* vor. Es ist ein Selbstbeurteilungs-Inventar das 25 Werte ergibt, die die Kommunikationsleistung, die Kommunikationsumgebung, die Kommunikationsstrategien und die persönliche Anpassung von hörgeschädigten Erwachsenen beschreibt. Das Inventar wurde für amerikanisches Militärpersonal entwickelt und besteht aus den folgenden Skalen:

- *Communication Performance*: Diese Skalen wurden entwickelt, um die kommunikative Effektivität zu erfassen, definiert als „fähig sein, Information zu geben oder zu erhalten oder eine Konversation zu führen ohne große Anstrengung oder psychische Belastung“. Die Skalen basieren auf 18 Items, die verschiedene Typen von Situationen und Hörbedingungen beschreiben: Soziale Situationen, bei der Arbeit, zu Hause, durchschnittliche Situationen, ungünstige Situationen;
- *Communication Importance*: Ein gegebener Grad an Kommunikationsschwierigkeit ist nicht gleich problematisch für alle Individuen. Wenn Kommunikationsprobleme auf die Situationen beschränkt sind, wo Kommunikation nicht als wichtig erlebt wird, können die beeinträchtigenden Effekte des Hörverlustes als weniger schwerwiegend eingestuft werden als in wichtigen Situationen. Bei dieser Skala werden die gleichen 18 Items der ersten Skala nach ihrer Wichtigkeit eingestuft;
- *Communication Environment*. Erfasst werden: Kommunikationsbedürfnis, physische Charakteristika, Einstellungen anderer, Verhalten anderer;
- *Communication Strategies*: Die Verhaltensstrategien, die von den Hörgeschädigten entwickelt werden, können als unangepasst oder angepasst beurteilt werden, abhängig von ihrem Effekt auf den Kommunikationsprozess. Unangepasste Strategien unterbrechen oder hemmen den Kommunikationsprozess wohingegen angepasste die Kommunikation verbessern oder zumindest die Effekte des Hörverlusts minimieren. Gemessen werden: Unangepasste Strategien, verbale Strategien, nonverbale Strategien;
- *Personal Adjustment*. Ein weiterer bedeutsamer Aspekt des CPHI ist die Betonung von affektiven Komponenten der individuellen Akzeptanz einer Anpassung an einen Hörverlust und von Reaktionen auf die resultierenden Kommunikationsprobleme. Dieser Bereich enthält acht Skalen, die verschiedene Aspekte der persönlichen Anpassung untersuchen: Selbstakzeptanz, Akzeptanz des Verlusts, Ärger, Verantwortungsabgabe, Entmutigung, Stress und Rückzug.
- *Problem Awareness and Denial*: Das Problembewusstsein konzentriert sich auf Kommunikationsprobleme. Die Items ähneln denen für Communication Performance, aber sie beschreiben Situationen, in denen Hörer erwarten, Schwierigkeiten zu haben. Verleugnung ist analog zur Bewusstseinskala, bezieht sich aber auf die affektive Komponente und nicht auf die Kommunikation per se. Ihr Ziel ist es, Individuen zu identifizieren, deren Antworten auf die Skala persönliche Anpassung unter Berücksichtigung des gegebenen Hörverlusts unglaublich positiv sind.

Hallberg et al. (1992b), die dieses Instrument ins Schwedische übertrugen, weisen darauf, dass insbesondere für ältere Personen, bei denen der Hörverlust eher auf das Alter bzw. genetisch beeinflusst war, häufiger ungünstige Kommunikationsstrategien als jüngere mit Lärmschwerhörigkeit verwendeten. Darüber hinaus fanden auch sie einen höheren Anteil von Personen mit schlecht angepassten Kommunikationsstrategien, deren Ausbildung kürzer war (*Hallberg et al.* 1992a). Personen mit höherer Ausbildung können sich anscheinend aufgrund ihrer Tätigkeit eher weniger aus Kommunikationssituationen heraus ziehen.

Tritt die Schwerhörigkeit früh auf, kann sie die Persönlichkeitsentwicklung beeinflussen. *Beck* (1986) fand bei ca. 200 schwerhörigen oder gehörlosen Schülern der Klassen 8 bis 10, dass der Realitätsgrad des sozialen Selbstkonzepts (ermittelt aus der Differenz zwischen Selbst- und Fremdeinschätzungen) mit steigendem Hörverlust signifikant sinkt. Wo sich normalhörende Jugendliche durch ein reales Selbstkonzept auszeichnen, was bedingt wird durch die erhöhte Fähigkeit zur Selbstkritik und das verstärkte Bestreben nach Selbsterkenntnis und Selbsteinschätzung, zeigt sich das Absinken des Realitätsgrades des Selbstkonzeptes bei hörgeschädigten Jugendlichen vor allem in Dimensionen wie Kommunikations- und Kooperationsbereitschaft, kommunikatives Selbstvertrauen und Selbstakzeptierung. Dieser Realitätsverlust zeigte sich bei schwerhörigen Jugendlichen in beide Richtungen, bei Gehörlosen war er aber vor allem durch Überschätzung charakterisierbar.

Vesterager et al. (1988) fanden keinen Zusammenhang zwischen lärminduzierter Schwerhörigkeit und dem Aktivitätsmaß bei älteren Personen. In ihrer Studie stand eine Verringerung des Aktivitätsmaßes vielmehr im Zusammenhang mit physischen Einschränkungen, Müdigkeit und Angst alleine auszugehen oder weit weg zu gehen oder mit einer verringerten Anzahl von Interessen. Die Verschlechterungen der Gesundheit und Verringerungen der Mobilität scheinen einen negativen Einfluss auf die Lebensqualität zu haben und viel mehr Bereiche des Lebens zu beeinflussen als die Schwerhörigkeit. Ein hoch aktives Leben stand in Verbindung mit einem erhaltenen Intellekt und mit höherer sozialer Klasse. Diese Ergebnisse zeigen, dass Personen höherer Klasse offensichtlich trotz verschlechtertem Hören ein aktives Leben führen können, obwohl dies beanspruchende Hörsituationen impliziert. Auch gab es in dieser Studie keine statistisch signifikanten Korrelationen zwischen dem Hörhandicap und dem Selbstwahrnehmungsindex. Die Interviews ergaben, dass bei einer positiven Selbstwahrnehmung das eigene Leben ebenfalls positiv erlebt wird. Enge soziale Beziehungen scheinen dies ebenfalls zu unterstützen.

3.4 Die Auswirkungen auf Verhalten, Kommunikation und soziale Beziehungen

3.4.1 Verhalten

Die Ausführungen über das Verleugnen der Schwerhörigkeit und die Zögerlichkeit, mit der zunehmende Hörverlust ins eigene Bewusstsein rückt, legen schon nahe, dass die Schwerhörigkeit einen starken Einfluss auf das Verhalten der betroffenen Personen ausübt. Verhaltensweisen, die sich typischerweise bei einer Schwerhörigkeit ausbilden, beinhalten die Vermeidung von sozial orientierten Verhaltensweisen, Unsicherheiten in Gruppensituationen, Misstrauen und aggressive Selbstbehauptung und schließlich defensive, passive und kontaktarme Züge.

Zunächst wird versucht, die Störung zu verstecken. Der Betroffene tut so, als verstünde er alles. Häufig kommt es stattdessen zu Missverständnissen. Die können wiederum zu Fehleinschätzungen der Intelligenz oder des guten Willens des Betroffenen durch andere Personen führen. Durch die ständige Belastung, die Anpassungsreaktionen des Körpers auf unerwartete Ereignisse und Misstrauen kann die Person gereizt oder unsicher sein und sich in der Folge aus kommunikativen Situationen zurückziehen.

Die Verleugnung, das Verstecken hat auch zur Folge, dass häufig kein entsprechendes präventives Verhalten gezeigt wird, das die Störung im frühen Stadium vermindern oder gar verhindern könnte. *Guski et al. (1996)* diskutieren als Gründe für mangelndes präventives Verhalten den Mangel an der direkten Wahrnehmbarkeit kurz- und langfristiger Schäden, die Fehleinschätzung des persönlichen Risikos und das Fehlen der Motivation zur Änderung. In der Folge besteht auch kein Interesse an einem Hörgerät. Dabei besteht der Personenkreis, der nicht an der Anpassung eines Hörgeräts interessiert ist, aus Menschen mit ähnlichen Persönlichkeits- und Verhaltensfaktoren (*Vesterager et al. 1988*):

- Hörprobleme werden nie oder selten wahrgenommen;
- niedrige soziale Klasse;
- keine oder wenige Freunde und soziale Kontakte;
- hauptsächlich häusliche Interessen und
- die Tendenz, emotionale und persönliche Probleme nicht zu zeigen.

Eine frühe Studie von *Meyerson (1948)* zur Auswirkung akustischer Deprivation illustriert anschaulich, welche Folgen Schwerhörigkeit haben kann. Er reduzierte bei einer Gruppe gesunder Testpersonen für die Dauer von 24 Stunden das Sprachhörvermögen um 30 dB. Die Beobachtungen zeigten, dass das Verhalten der Versuchspersonen schnell schwerhörigkeitstypische Besonderheiten annahm:

- sozial orientierte Verhaltensweisen wurden zunehmend vermieden,
- Gruppensituationen riefen sichtbare Zeichen von Unsicherheit hervor,

- vermehrt traten misstrauische und von aggressiver Selbstbehauptung geprägte Reaktionen auf,
- im Gespräch täuschten Testpersonen oft ein nicht vorhandenes Verständnis vor, was Fehlreaktionen und konflikthafter Auseinandersetzungen Vorschub leistete.

Mit wachsender Versuchsdauer nahm das beobachtbare Verhalten defensive und passive Züge an und Kontakt wurde zunehmend vermieden.

Besonders beeindruckend an dieser Studie ist, wie schnell (innerhalb von 24 Stunden) sich die Verhaltensweisen als Folge der Beeinträchtigung eines wichtigen Sinnesorgans verändern. Dies berücksichtigend sollte es nicht verwundern, dass diese Verhaltensweisen bei Lärmschwerhörigen, deren Störung seit einigen Jahren vorliegt, stark verfestigt ist: „Das Bewusstsein der eigenen Insuffizienz versetzt sie in eine ständig erhöhte Empfindlichkeit, so dass selbst belanglosen, zufälligen Erlebnissen nicht mehr mit einer natürlichen Verarbeitung begegnet werden kann. Ihre Selbstunsicherheit bringt sie bei vielen alltäglichen Anlässen dazu, ihre Stellung unter den Mitmenschen selbst in Frage zu stellen. Sie sehen Geringschätzung, Herabsetzung, Bevormundung oder Verspottung, wo die Situation einen viel harmloseren Charakter hat“ (*Richtberg* 1988, nach *Guski et al.* 1996, 28).

3.4.2 Kommunikation

Kommunikation ist mehr als nur der Austausch von Informationen über Sachverhalte, sie dient vielmehr auch der Herstellung und Festigung sozialer Beziehungen, der individuellen Selbstdarstellung der Kommunikationsteilnehmer (Selbstoffenbarung) sowie der Möglichkeit, andere in ihrem Verhalten zu beeinflussen (Appell, nach *Schulz von Thun* 1983). Dabei wird Kommunikation durch implizite Konversationsmaximen (*Grice* 1975, *Tesch-Römer* 2001) beeinflusst, das heißt, die Kommunikation sollte wesentlich (Qualität), hinreichend informativ (Quantität), kontextbezogen (Relation) und verständlich (Art und Weise) sein.

Für einen Schwerhörigen wird es zunehmend unmöglich, unter schwierigen Bedingungen, wie Hintergrundlärm oder Gesprächen in der Gruppe, zu kommunizieren, da er Sprache nur noch im einfachen Dialog mit einem direkten und deutlich sprechenden Gegenüber verstehen kann. Mehrere gleichzeitig auftretende Stimmen können nicht mehr auseinander gehalten werden (*Guski et al.* 1996). Aus der Perspektive des Schwerhörigen als dem Hörer sind also unter Umständen mehrere Konversationsmaximen nicht erfüllt (Quantität, Art und Weise).

Aber auch unter günstigen Bedingungen ist die Kommunikation erschwert. Die schwerhörige Person muss sich stark konzentrieren, um einer Konversation folgen zu können. Auch für den oder die Kommunikationspartner sind die Anforderungen hoch. Er muss sich anstrengen, besonders laut und deutlich zu sprechen, den Blickkontakt zu halten, die eigene Sprache ständig kontrollieren und sehr geduldig bei ggf. notwendigen Wiederholungen bleiben (*Guski et al.* 1996). Unabhängig von den akustischen Einschränkungen sind es vermutlich auch die bewussten Verstöße gegen

die Konversationsmaximen, die die Kommunikation zwischen normal- und schwerhörigen Personen zusätzlich erschweren.

Der Schwerhörige überhört wesentliche Signale in der Sprachmelodie (z.B. werden Fragen als Mitteilungen missverstanden). Stimmungen und Gefühle, die mit der Sprache subtil ausgedrückt werden, bleiben ihm verborgen und damit ein großer Anteil der Bedeutung der Kommunikation (*Guski et al.* 1996). Der übliche Austausch von Emotionen ist eingeschränkt und Missverständnisse treten auf. Als langfristige Folgen der durch die Schwerhörigkeit verursachten Kommunikationsbeschränkungen nennen *Guski et al.* (1996) soziale Isolation, Vereinsamung, Vorurteile, Missverständnisse sowie eine eingeschränkte Einbindung in die akustische Umwelt und somit eine Einbuße der Lebensqualität.

Durch eine frühe Schwerhörigkeit kann die Entwicklung von kommunikativen Fähigkeiten vermindert werden. *Peterson & French* (1988) fanden beispielsweise Defizite in der Fähigkeit, Texte zusammenzufassen, die offensichtlich aus dem Hörverlust resultierte. Sie verglichen die Leistung von 30 hörgeschädigten und 30 normalhörenden Studenten. Die Ergebnisse zeigten, dass hörgeschädigte Studenten zwar Basisfertigkeiten für Zusammenfassungen haben, die Zusammenfassungsstrategien aber nicht so effektiv einsetzen wie normalhörende Studenten. Hörgeschädigte Studenten waren nicht so sensibel wie normalhörende für die Wichtigkeit der Ideen und verwendeten die folgenden Zusammenfassungsstrategien signifikant seltener:

- Einbeziehen wichtiger Ideen,
- Auswahl der Hauptaussagen,
- Entwicklung von Hauptaussagen und
- Integration von Ideen innerhalb und zwischen Absätzen.

Das heißt, selbst die schriftliche Kommunikation kann langfristig unter der Schwerhörigkeit leiden. *Florin et al.* (1990) fanden, dass schwerhörige Personen im Vergleich mit normalhörenden signifikant seltener telefonierten, aber auch signifikant seltener Briefe schrieben. „Der zunehmende Verlust der akustischen Welt bremst nicht nur die eigene akustische Mitteilungslust, er bremst offenbar Kommunikationsbedürfnis und Kommunikationskraft insgesamt“ (*Frank* 1993).

Obwohl das Altern die wahrgenommenen Nachteile bezogen auf die „Qualität des Lebens zu Hause und bei der Arbeit“ leicht verringert (*Lalande et al.* 1988), behindert altersbegleitende Schwerhörigkeit (die u.a. auch durch Lärmbelastung entstehen kann) die kommunikative Effektivität und verringert die Fähigkeit eines Individuums, interpersonale Beziehungen aufzubauen und zu erhalten. Selbstberichte von schwerhörigen Personen haben ergeben, dass die Hörschädigung sie von ihrer Umgebung abschneidet, in die sie einst aktiv involviert waren (vgl. *Weinstein & Ventry* 1982).

Außerdem legen klinische Eindrücke nahe, dass Schwerhörigkeit bei älteren Individuen eine Kette von psychologischen Reaktionen auslöst. Nach *Hull* (1978) beginnt der Kreislauf mit Frustration, die aus der verringerten Kapazität für Interaktionen und kommunikativer Effektivität erwächst. Er schloss, dass der psychologische Stress, der mit der Unfähigkeit mit anderen zu kommunizieren assoziiert ist, die Isolierungsstrategie bedingen könnte, die von vielen älteren hörgeschädigten Individuen ver-

wendet wird. Zur Beziehung zwischen sozialer Isolation und der Leistung in verschiedenen audiologischen Tests fanden *Weinstein & Ventry* (1982), einen klaren Zusammenhang: je schlechter die Werte in den audiologischen Messungen waren, desto isolierter war das Individuum. Dabei spielt das Hörhandicap sowohl für die objektiv erhobene Isolation als auch für die subjektiv empfundene Isolation eine Rolle. Personen, die auf beiden Skalen als isoliert bewertet wurden, zeigten die größten Hörschädigungen (siehe Tabelle 3-3).

Tabelle 3-3 Pearson Produkt-Moment Korrelationen zwischen subjektiven (SI) und objektiven (OI) sozialen Isolationswerten und Hörverlust (HVT), W-22 (standardisierte Einsilber)-, Rush-Hughes-, und Hearing Measurement Scale (HMS)-Werten (N=80). (*Weinstein & Ventry*, 1982, 595)

	HVT	HMS	Rush-Hughes	W-22	Subjektive Isolation	Objektive Isolation
HVT	1.00	.67	.76	.69	.39	.24 *
HMS		1.00	.63	.49	.52	.26
Rush-Hughes			1.00	.77	.42	.22 *
W-22				1.00	.25	.18 *
Subjektive Isolation (SI)					1.00	.50
Objektive Isolation (OI)						1.00

* $p < .05$, alle anderen, $p < .01$

3.4.3 Soziale Beziehungen

„Die in der Folge von Schwerhörigkeit feststellbare soziale Isolation ist keine übertrieben dargestellt seltene Konsequenz, sondern oft zunächst sehr subtil Realität“ (*Guski et al.* 1996, S.19). Veranschaulicht man sich die Folgen von Verleugnung, Unsicherheiten, Kommunikationsproblemen und körperlichen Anpassungsreaktionen, so kann man den Rückzug aus sozialen Situationen, besonders den kommunikativ anspruchsvollen Gruppensituationen, durchaus nachvollziehen. Ohne aktive Suche nach sozialen Situationen schlafen Kontakte leicht ein und das soziale Umfeld einer Person vermindert sich, anfangs vielleicht kaum merkbar. Schwerhörige haben im Vergleich zu Normalhörenden ihrer Altersgruppe signifikant weniger Kontakte mit anderen Menschen und treffen weniger feste Verabredungen. Außerdem nehmen sie seltener an Gruppen- oder Vereinsaktivitäten teil (*Florin et al.* 1990).

Hallberg & Carlsson (1991a, b) fanden in einer Explorationsstudie mit Hörgeschädigten sowohl Verhaltensweisen zur Vermeidung sozialer Situationen als auch zur Kontrolle der sozialen Situation (überprüfen der akustischen Situation, Nachfrage nach Hörhilfen im Kino/Theater, überprüfen erhaltener Informationen). Alle hörgeschädigten Personen berichten über die erhebliche Konzentration, um Kommunika-

tionen insbesondere auch am Arbeitsplatz folgen zu können, aus dem ein hoher Erholungsbedarf resultiert.

Klinische Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass durch das Handicap besonders die Familienbeziehungen beeinträchtigt werden (*Hétu* 1981). Dies ist insofern verständlich, da hier der Rückzug aus der Gesprächssituation nicht so einfach ist.

Beschwerden und Beschuldigungen der Familien lösen das Gefühl aus, belastend zu sein und in verschiedenen Situationen inadäquat zu reagieren. Daraus ergeben sich psychosoziale Beeinträchtigungen sowohl für die betroffene Person als auch für die Familien. Selbst unter günstigen Verhältnissen (Blickkontakt zu einem Gesprächspartner, wenig Hintergrundgeräusch) ist die Verständigung erschwert und anstrengend. Dabei kann es zu Einschränkungen des Gesprächsstoffs durch bewusste Vermeidung komplexer Themen kommen und schließlich zu einem Verzicht auf die Übermittlung von Stimmungen und Emotionen (*Guski et al.* 1996). *Frank* (1993, 21), beschreibt dies drastisch, aber auch anschaulich: „Jede Herzlichkeit, jede Wärme entweicht aus einer zärtlichen Floskel, hat man sie zum fünften Mal mit ungeduldig anschwellender Stimme ins schwerhörige Ohr gebrüllt.“

Trotz relativ ernster Behinderungen sind einige Personen jedoch nicht eingeschränkt, das heißt, sie erleben sich nicht als beeinträchtigt (*Hétu et al.* 1987). Dies zeigte sich (s.o.) in einer Stichprobe von Schwerhörigen mit mittlerem und hohem sozioökonomischen Status, in der sich die Schwerhörigen von ihren Freunden und Bekannten ähnlich unterstützt fühlten wie die Kontrollpersonen (*Florin et al.* 1990). Jedoch bestand hier die Gruppe wiederum aus Hörgeräteträgern.

Zusätzlich zu den direkten sozialen Kontakten entsteht eine Einbuße der Lebensqualität auch durch die Einschränkungen der Hobbys. Hier muss je nach Grad der Störung auf Freizeitaktivitäten mit akustischem Anspruch wie Singen, Tanzen, Theater, Kino oder Konzerte ganz verzichtet werden. Musikhören ist selbst bei höherer Lautstärke kein Genuss mehr, weil die Darbietungsqualität nicht annähernd wahrgenommen werden kann und zudem können häufig zu laut eingeschaltete Radios / Fernseher zu Zerwürfnissen mit Familie und Nachbarn führen (*Guski et al.* 1996).

Ein wesentlicher Punkt ist auch die Einschränkung in der Arbeitswelt. Erschwerte Kommunikation mit den Kollegen, das Überhören von Gefahrensignalen oder von Geräuschen, die auf unterschiedliche Betriebszustände von Maschinen hinweisen, können leicht zu Arbeitsfehlern führen. Diese können dann wiederum ein Gefühl des Kontrollverlusts, Minderwertigkeitsgefühle und eine Minderung der Arbeitszufriedenheit mit sich bringen (*Guski et al.* 1996).

Interessant für die Bewertung der Belastung durch laute Arbeitsplätze auf die Kommunikation ist es zu wissen, dass der Hörstatus in der Bewertung der Schwerhörigen durch Außenstehende keine hochspezifische Messung der wahrgenommenen Einschränkung zu sein scheint. 40% der normalhörenden Arbeiter in einer Studie von *Hétu et al.* (1987) wurden von ihren Frauen als hörgeschädigt eingestuft. Das zeigt, dass auch schon die auditive Ermüdung und daraus resultierende Hörschwächen (temporäre Vertäubung) mit alltäglicher Kommunikation interferieren. Dieses Warnsignal wird allerdings zu häufig ignoriert.

3.5 Die Auswirkungen der Störung auf die physische und psychische Gesundheit

Wenn im Folgenden von der Gesundheit Schwerhöriger die Rede ist, dann bezieht sich der Begriff auf alle weiteren körperlichen und geistigen Funktionen. Da die Schwerhörigkeit als körperliche Beeinträchtigung psychische und physische Prozesse weitreichend beeinflussen kann, ist es wichtig, gesundheitliche Folgeerscheinungen einer Schwerhörigkeit gesondert zu diskutieren.

Wo das Auge für die räumliche Auflösung zuständig ist, ist das Gehör für die zeitliche Auflösung zuständig und normalerweise in der Lage, schnell aufeinander folgende Ereignisse zu erfassen. Das heißt für den Schwerhörigen, dass bestimmte Ereignissequenzen gar nicht oder unzureichend wahrgenommen werden und sich schnell entwickelnde Ereignisse nicht verfolgt werden können (*Guski et al.* 1996).

Dadurch fehlt Schwerhörigen die Warnfunktion des Gehörs für unerwartete Ereignisse. Wenn die Durchlässigkeit für Schreckerlebnisse groß wird, kann Schreckhaftigkeit als überdauernde Anpassungshaltung eintreten. Treten dann noch zusätzliche Belastungen auf, kann es zu einer psychosomatischen Dekompensation kommen, die sich in Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Wetterfühligkeit, Konzentrationsschwäche und ähnlichem ausdrückt (*Richtberg* 1980).

Salomon et al. (1988) fanden in ihrer Studie, dass die Hälfte der untersuchten hörgeschädigten älteren Personen berichteten, eine Abnahme der Gesundheit erlebt zu haben, obwohl zwei Drittel aller Personen nach der medizinischen Untersuchung (außer der Hörschädigung) als gesund klassifiziert wurden. Das zeigt, dass die Schwerhörigkeit auch ein subjektives Gefühl der Gesundheitsverschlechterung auslösen kann.

Das Nicht-Hören führt zusätzlich zu einem Unsicherheitsgefühl, welches die Freiheitsgrade des Verhaltens einengt und normale Spontaneität erschwert. Gleichzeitig damit wachsen Misstrauen, Empfindlichkeit, Ungeduld und Verletzbarkeit. Angst, Skrupel, Zweifel und Minderwertigkeitsgefühle belasten zunehmend die tägliche Lebensführung (*Richtberg* 1989). Schwerhörige sind deshalb in besonderem Maße vom Leiden der Vereinsamung bedroht (zur Übersicht siehe auch *Guski et al.* 1996). *Herbst & Humphrey* (1980) fand eine signifikante Korrelation zwischen Depression und Taubheit.

Ein umgekehrtes Ergebnis fanden *Florin et al.* (1990), in deren Untersuchung sich die Schwerhörigen von den (im Alter ähnlichen) Kontrollpersonen nicht bedeutsam in der globalen Selbsteinschätzung des Gesundheitszustandes unterschieden. Sie fanden weder mehr Depressivität noch mehr kognitive Beeinträchtigungen oder psychotische Erlebnisse als in der Kontrollgruppe. Dies kann aber daran liegen, dass ihre Stichprobe aus Personen eines hohen sozioökonomischen Status besteht, die mit der Kompensation der Störung besser zu recht kommen, als Personen aus bildungsfernen Schichten (s.u.). Außerdem bestand die Stichprobe nur aus Personen, die ein Hörgerät tragen. Trotz dieser „Positivauswahl“ fanden *Florin et al.* (1990) jedoch eine signifikant höhere Ängstlichkeit bei den Personen aus der schwerhörigen Gruppe.

Jedoch fanden *Florin et al.* (1990) auch nach der Ausklammerung von Krankheiten, die vor Beginn der Schwerhörigkeit schon bestanden haben, signifikant mehr Krank-

heiten in der Gruppe der Schwerhörigen als in der Kontrollgruppe und einen signifikant höheren Medikamentengebrauch (siehe Abbildung 3-1).

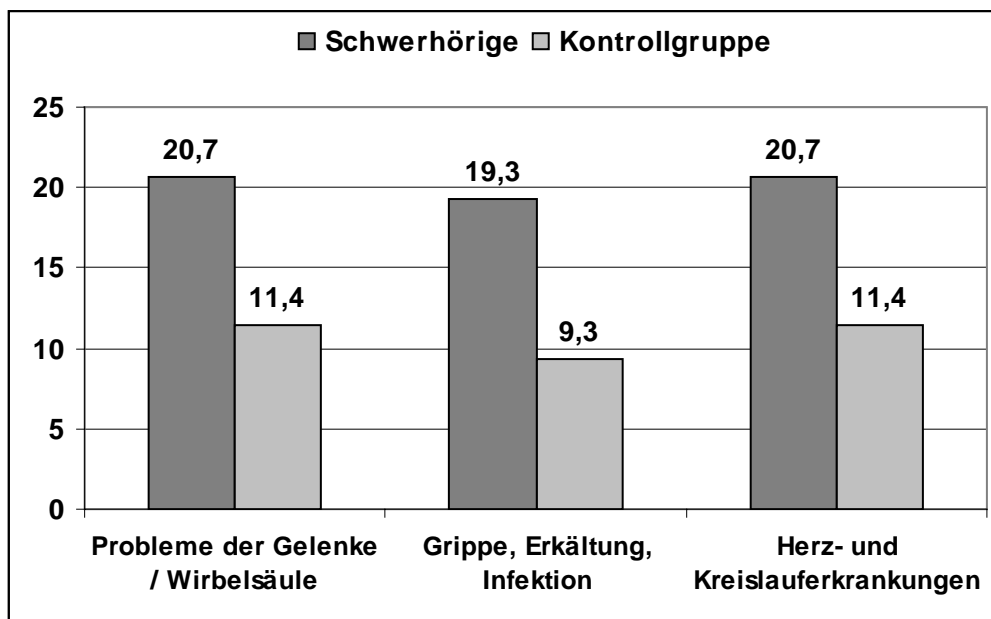


Abbildung 3-1 Vergleich der Krankheitshäufigkeit von Schwerhörigen und einer Kontrollgruppe (nach *Florin et al.* 1990)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Schwerhörigkeit offensichtlich sowohl physische wie psychosomatische und psychische Beeinträchtigungen als „Nebenwirkung“ mit sich bringen kann. In welcher Form sich die Störung des Sinnes „Hören“ zusätzlich auswirkt, scheint aber von einem komplexen Beziehungsgeflecht verschiedener Faktoren (sozioökonomischer Status, Copingstrategien, Hörgeräteversorgung, bestehende soziale Beziehungen, etc.) abzuhängen, was eine Vorhersage erheblich erschwert.

3.6 Der Umgang mit der Störung (Kompensation und Rehabilitation)

Erfolgreicher Umgang mit der Störung ist vor allem abhängig von der Information über die Behinderung, ebenso wie über Wege damit umzugehen. Das ist insbesondere von entscheidender Bedeutung für Personen an Lärmarbeitsplätzen und deren Angehörige (*Lalande et al.* 1988).

Ohne entsprechende Information und Hilfe kommt es leicht zu unangemessenen Copingstrategien, die die Störung eher verdecken, als sie zu kompensieren (vgl. Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4 Copingstrategien, die von 60 befragten Arbeitern verwendet wurden, die bei Familiengesprächen Probleme hatten, der Konversation zu folgen (*Hétu et al. 1987, 148*)

Verwendete Strategie	Anzahl der Antworten in %
Vorgeben zu verstehen, während man ruhig bleibt	67.3
Um Wiederholung bitten	61.7
Nach einer ruhigeren Umgebung zum Reden suchen	50.0
Versuch, zu erraten, was gesagt wird	40.0
Akzeptieren, den Gesprächsfaden zu verlieren	36.7
Versuch, die Konversation zu beherrschen	16.7
Versuch, diese Unterhaltungen zu vermeiden, indem man abseits steht	8.3

Selbst in sozioökonomisch besser gestellten Schichten ist kompetentes Verhalten, das dem Schwerhörigen Erleichterung in Gesprächssituationen bringen könnte (z.B. Bitte des Gesprächspartners um Anschauen beim Sprechen; Bitte, die Hand nicht vor den Mund zu halten; Information der anderen über beeinträchtigende Nebengeräusche) sehr gering ausgeprägt (*Florin et al. 1990*). Dies könnte wie erwähnt damit zusammenhängen, dass Konversationsmaximen nicht oder nur unvollständig eingehalten werden können.

Die Wahrscheinlichkeit, dass mit der Ehefrau über das Hörproblem gesprochen wird, erhöht sich zwar mit der Schwere der Störung, jedoch erhöht die spontane Reaktion der Familie auf die Hörschädigung und auf Nacheffekte der Lärmbelastung die psychosozialen Nachteile, die vom Arbeiter empfunden werden. Das bedeutet, dass die Qualität der Familienbeziehungen durch die Hörschädigung des Familienmitglieds beeinträchtigt wird (*Hétu et al. 1987*). Um eine gute Anpassung gewährleisten zu können, besteht zunächst die Notwendigkeit einer Analyse der Hauptnachteile für Arbeiter und Familie in gewöhnlichen Situationen zu Hause, bei der Arbeit und während Freizeitaktivitäten. Diese kann man durch eine Quantifizierung via Fragebogen erreichen (*Lalande et al. 1988*).

Lalande & Hétu (1986) entwickelten einen Fragebogen, der die Exploration der gemeinsamen Anpassungen in der Familie an die Beeinträchtigungen erlaubt, die durch Lärmschwerhörigkeit entstehen, und die psychosozialen Beeinträchtigungen evaluiert, die in diesem Kontext erlebt werden. Zusätzlich zur Frage bezüglich der Unfähigkeit, Sprache bei Anwesenheit von Hintergrundgeräuschen zu verstehen, enthält der Fragebogen vier Kategorien von Fragen, die sich auf die folgenden Bereiche beziehen:

- Das Eingestehen der Hörschädigung;
- die Art, mit der das beeinträchtigte Individuum mit den Einschränkungen und Unfähigkeiten durch Lärmschwerhörigkeit umgeht und der Stress, der durch Lärmbelastung entsteht;
- die Anmerkungen und Artikulation von Ärger durch die Familie auf die Einschränkungen durch den Hörverlust und

- die Zahl der Diskussionen bezogen auf Lärmschwerhörigkeit.

Dabei ergab sich die Notwendigkeit, die Familie in Rehabilitationsprogramme einzu beziehen. Wenn die Familie allein gelassen wird, wirkt sie als Katalysator für psychosoziale Beeinträchtigungen. Auf der einen Seite reflektieren die Anmerkungen der Teilnehmer die Tatsache, dass der Hörverlust zu Hause ein Tabu bleibt; auf der anderen Seite haben die Arbeiter klar gezeigt, dass sie den Wunsch verspürten, dass ihre Frau ihre Erfahrungen mit dem Hörverlust versteht. Der Hörverlust ist die Ursache wichtiger Zwänge. Jedoch scheinen die Ehefrauen nicht explizit nach akzeptablen gemeinsamen Lösungen für die Konsequenzen des Hörverlusts zu suchen. Insgesamt kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Familie eine entscheidende Rolle für die Anpassung an die Lärmschwerhörigkeit darzustellen scheint.

Lalande et al. (1988) haben in ihrer Studie, via Fragebogen, Fragen zu den folgenden Bereichen gestellt:

- generelle Information
- auditive Störungen
- Beeinträchtigungen
- Copingstrategien und
- externe Hilfe.

Bei der Datenanalyse ergaben sich drei Faktoren:

- Qualität des Lebens zu Hause und bei der Arbeit
- Isolation und Selbstvertrauen
- Telefon und Freizeitaktivitäten.

Je mehr jemand sein Hörproblem eingesteht, umso mehr nimmt er die Nachteile wahr, die durch die Störung entstehen und umso mehr Nachteile hat er bezogen auf Isolation und Selbstbewusstsein.

Daher ist es nur plausibel, dass das Eingeständnis, ein Hörproblem zu haben, die wichtigste Determinante für die Suche nach externer Hilfe ist. Es scheint entscheidend zu sein, dass Informationen zur Lärmschwerhörigkeit und Wege damit umzugehen, allen Arbeitern lauter Industrien und deren Angehörigen gegeben werden muss. Der zweite Faktor zeigt, dass bei Rehabilitationsprogrammen professionelle Hilfe nicht nur gegeben werden sollte, um Kommunikationsprobleme zu minimieren, sondern auch, um Selbstakzeptanz und Selbstbewusstsein zu erhöhen. Da mangelnde Selbstakzeptanz und fehlendes Selbstbewusstsein den Leidensdruck stark erhöhen können, sollte der Schwerpunkt zunächst auf der Reduzierung der psychosozialen Nachteile liegen, die zu Hause und bei der Arbeit entstehen.

Das Problem der Verleugnung der Störung ist insofern problematisch, da Personen, wie oben gezeigt, dann auch nicht nach audiologischer Hilfe suchen. Personen, die nicht interessiert an der Anpassung eines Hörgeräts waren, waren in einer Studie von *Vesterager et al.* (1988) Menschen mit ähnlichen Persönlichkeits- und Verhaltensfaktoren:

- Hörprobleme wurden nie oder selten wahrgenommen;
- niedrige soziale Klasse;
- keine oder wenige Freunde und soziale Kontakte;

- hauptsächlich häusliche Interessen und
- die Tendenz emotionale und persönliche Probleme nicht zu zeigen.

Die Ergebnisse legen die Schlussfolgerung nahe, dass Screening-Prozeduren und Informationen über Rehabilitationsprogramme in erster Linie direkt an bildungsferne Schichten gerichtet werden sollten, die sich eher scheuen zeigen, Hilfe zu suchen und in Anspruch zu nehmen.

Es wurde bereits mehrmals angesprochen, dass Rehabilitierungsmaßnahmen sowohl kommunikative als auch emotionale Probleme bearbeiten sollten. *Trychin* (1995) entwickelte ein Programm zum Umgang mit Hörverlusten. Dabei wird davon ausgegangen, dass es sinnvoll und effizient ist, den Beteiligten Strategien zu vermitteln, mittels derer sie ihre psychologischen und sozialen Probleme lösen, die aufgrund der schwerhörigkeitsbedingte Kommunikationsschwierigkeit auftreten. Das Programm "Coping with Hearing Loss" hat Trychin bereits mit mehr als 1000 Teilnehmern durchgeführt, die meist über 60 Jahre alt waren. Das Programm ist eher pädagogisch als therapeutisch, da es ein Problemlöseansatz ist, der sich auf Strategien zur Prävention und Reduktion von Kommunikationsproblemen konzentriert. Ziele des Programms sind

- Das Bewusstsein der Teilnehmer über die Situationen zu erhöhen, die häufig Kommunikationsschwierigkeiten auslösen,
- Die Gründe für die Kommunikationsschwierigkeiten zu identifizieren,
- Die häufigsten Reaktionen auf die Kommunikationsschwierigkeiten zu identifizieren,
- Reaktionen zu identifizieren, die die Wahrscheinlichkeit für Kommunikationsschwierigkeiten erhöhen und zu spezifizieren, wie dies passiert,
- Eine Möglichkeit zu geben, alternative Reaktionen zu üben, die helfen, Kommunikationsschwierigkeiten zu lösen, wenn sie auftauchen,
- die Möglichkeit zu bieten, Verhalten zu üben, das die Kommunikationsschwierigkeiten vermeiden oder verringern kann und
- Informationen über lokale und nationale Ressourcen zu geben.

Die Teilnehmer sollen dann fähig sein

- andere über ihre Hörschwäche zu informieren,
- Sprecher darüber zu informieren, was sie tun müssen, um verstanden zu werden,
- andere höflich erinnern, wenn sie vergessen und
- das Kommunikationsverhalten vorzumachen, das sie sich bei anderen wünschen.

Trychin (1995) berichtet, dass das Programm vielen Menschen bei der besseren Handhabung von Kommunikationssituationen geholfen hat.

In Rehabilitationsmaßnahmen sollten sowohl Hilfestellungen zur Verbesserung der kommunikativen Fähigkeiten als auch Maßnahmen zur Verbesserung der Selbstakzeptanz enthalten sein. Jede Person, die mit hörgeschädigten Personen umgeht, sollte sich der Vielzahl von sekundären Beeinträchtigungen, die mit dieser Störung einhergehen können, bewusst sein, um Verhaltensweisen dieser Person richtig ein-

schätzen zu können und ihrerseits dazu beitragen zu können, eine für beide Seiten befriedigende Kommunikation zu ermöglichen.

3.7 Wichtige Punkte im Überblick

- Konsequenzen, das heißt, individuelle und soziale Beeinträchtigungen, die sich durch eine Hörschädigung ergeben, sind sehr vielfältig und erstrecken sich auf emotionale, vegetative und vitale Befindlichkeiten sowie auf personale, soziale und kommunikative Kompetenzen. Schwerhörigkeitstypische Verhaltensweisen nehmen defensive, passive und kontaktarme Züge an.
- Das häufige Leugnen und Verstecken der Störung ist problematisch, weil es die Entwicklung von adäquaten Bewältigungsstrategien, den Ausgleich durch audiologische Maßnahmen sowie die Teilnahme an hilfreichen Rehabilitationsprogrammen verhindert.
- Soziale, besonders Familienbeziehungen werden durch die Schwerhörigkeit beeinträchtigt und spontane Reaktionen auf die durch die Schwerhörigkeit verursachten Defizite wirken oftmals als Katalysatoren für psychosoziale Beeinträchtigungen.
- Beim Umgang mit hörgeschädigten Personen sollten einem immer auch die Vielzahl möglicher individuelle und sozialer Beeinträchtigungen bewusst sein, damit man das Verhalten der Person richtig deuten und zu einer für beide Seiten befriedigenden Kommunikation beitragen kann.
- Rehabilitationsmaßnahmen sollten immer auch den sozialen Kontext (Familie) mit einbeziehen und sowohl Kommunikationsschwierigkeiten als auch Selbstwertprobleme, die mit der Störung einhergehen bearbeiten.

4 Die Sprachverständlichkeit Schwerhöriger unter realen (Stör-) Bedingungen

4.1 Einführung und Übersicht

Personen mit einem eingeschränkten Hörvermögen fallen vor allem in zwei Gesprächssituationen auf. Zum einen versteht der Schwerhörige im Gespräch mit mehreren Personen nicht mehr die Sprache seines direkten Gesprächspartners, zum anderen hat er Schwierigkeiten im Zweier-Gespräch, wenn der Gesprächspartner zu leise spricht. Dies gilt auch für Situationen wie Fernsehen, Radio hören und telefonieren, in denen die Sprache häufig für den Hörgeschädigten zu leise ist. Durch zusätzliche Störgeräusche und Nachhall sind diese Situationen für den Schwerhörigen häufig nicht mehr akzeptabel.

Obwohl junge, normalhörende Erwachsene moderate Ausmaße von Geräuschen und Nachhall tolerieren können und dabei nur eine minimale Störung der Sprachverarbeitungsfähigkeiten aufweisen, zeigen viele Studien, dass Personen mit einer Schallempfindungs-Schwerhörigkeit viel anfälliger für diese Störungen sind (*Helper & Wilber* 1990). Das sind besonders ältere Personen mit altersbegleitender Schwerhörigkeit (Presbyakusis), Personen mit einem lärmbedingten Gehörschaden und Personen, deren Gehör durch Stoffwechselkrankheiten oder ototoxische Medikamente geschädigt ist. Wenn gleichzeitig Störgeräusche und Nachhall vorhanden sind, wie es in realen Gesprächssituationen häufig der Fall ist, haben auch Personen mit leichten Hörverlusten Schwierigkeiten mit dem Verstehen von Sprache. In den letzten Jahrzehnten wurde diesen Problemen zwar vermehrt Beachtung geschenkt, die große Variabilität der Studien in Bezug auf Material, Auswahl der Testpersonen, Eigenschaften des Störgeräusches etc. machen eine Vergleichbarkeit und Generalisierung der Ergebnisse aber immer noch schwierig.

Bei der Diskussion und Interpretation der Untersuchungen steht der Vergleich der Sprachverständlichkeit von Normalhörenden und Schwerhörigen bei vorgegebenen gleichen oder vergleichbaren Sprachkommunikationssituationen im Vordergrund. Obwohl die Schwerhörigkeit durch die erhöhte Ruhehörschwelle gekennzeichnet ist, wurden die meisten Untersuchungen mit Sprache im überschwelligem Bereich durchgeführt, die dort durch Geräusch oder Nachhall gestört wird. Wie diese Untersuchungen zeigen konnten, reicht die Ruhehörschwelle zur Beschreibung von Problemen, die mit einer Schwerhörigkeit einhergehen, nicht aus. Somit werden Ergebnisse für das natürliche Gespräch, d.h. den überschwelligem Bereich, erhoben, um Daten für die Sensibilität von Schwerhörigen in akustischen Störsituationen zu finden.

Nun entstehen die meisten Störungen der Sprachverständlichkeit in lärmgefüllter Umgebung und durch schlechte Raumgestaltung. Das gilt für den Arbeitsbereich (Maschinenlärm, Bürogeräusche, Klimageräte, PC-Drucker, Sprech-Geräusche), für den Wohnbereich (Verkehrslärm, Sportgeräusche, Freizeitgeräte) und den öffentli-

chen Bereich wie z.B. Schule, Ausbildung und Konferenzräume (Verkehrsgerausche, Geräusche der Hausanlage, zu hohe Nachhallzeit).

Bei der Analyse und Diskussion der Daten steht hier immer die Frage im Vordergrund, ob die Ergebnisse für die Gestaltung der Kommunikation nutzbar sein könnten. Auf welche Weise lassen sich schwerhörige Personen, mit leichten und mittelschweren Defiziten, von denen ein großer Teil noch kein Hörgerät benutzt bzw. benötigt, am besten in das normale soziale Leben integrieren. Nach welchen Prinzipien sind Räume (Arbeitsplätze, Wohnungen, Freizeit, öffentlicher Bereich, Ausbildung) zu gestalten, um eine ausreichende Sprachkommunikation zu gewährleisten, und wie muss sich der Normalhörende in seinem Verhalten darauf einstellen.

Wie in Abschnitt 2 dargestellt, wird das Gehör des Schwerhörigen durch sein Ton- und Sprachaudiogramm beschrieben. Hier soll untersucht und dargestellt werden, in wieweit Defizite beim Hörvermögen die Sprachkommunikation beeinflussen und welche Möglichkeiten es gibt, die Sprachverständigung mit schwerhörigen Personen zu verbessern oder zumindest aufrechtzuerhalten oder zu optimieren.

Zur sprachlichen Kommunikation gehören ein Sprecher und ein Hörer, wobei beide Personen diese Rolle ständig wechseln. Das Gespräch wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst (Abb. 4-1). Der Sprecher spricht unterschiedlich laut und artikuliert mehr oder weniger deutlich. Sein Sprachschall erreicht über die räumliche Entfernung den Hörer und wird dabei durch Geräusche sowie durch Nachhall gestört. Das Verstehen der Sprache ist wesentlich vom Signal-Geräuschverhältnis beim Hörer abhängig, d.h. vom Pegel der Sprache beim Sprecher, von der Entfernung Sprecher – Hörer und vom Geräuschpegel. Aber man muss auch die Halligkeit und die Größe des Raumes, die Zuordnung von Sprecher, Hörer und der Störquelle im Raum (Richtungshören), die Art der Kommunikation (intimes Gespräch, Schreien, Vortrag), das Training des Sprechers, das Hörvermögen der Personen, das benutzte Sprachmaterial, die Sprachkompetenz (Zweitsprache), die Qualität der Artikulation, die Art des Geräusches (Spektrum, Zeitverlauf) und das Tragen von Gehörschutz in Rechnung stellen.

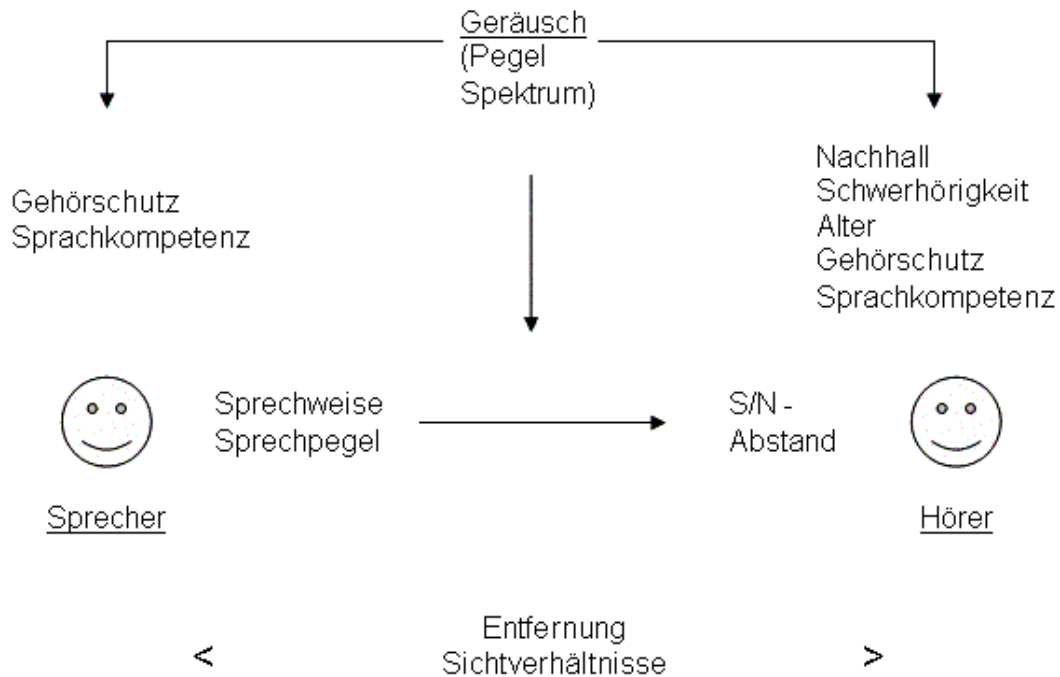


Abbildung 4-1 Einflussfaktoren der sprachlichen Kommunikation (physikalische, physiologische)

Die Schallempfindungs-Schwerhörigkeit, die hier im Wesentlichen behandelt werden soll, ist durch eine erhöhte Ruhehörschwelle (Verluste an der Schwelle) und Defizite im überschwelligen Bereich gekennzeichnet.

Die erhöhte Ruhehörschwelle ist in der Regel stark frequenzabhängig (mit einem Anstieg zu den hohen Frequenzen), das heißt, sie besitzt bei den hohen Frequenzen (2 – 8 kHz) die stärksten Verluste. Die überschwelligen Defizite dagegen sind verbunden mit der Erkennung eines Intensität-Frequenz-Zeit-Musters. Sie treten auf, obwohl der zu erkennende Schallverlauf durch die Ruhehörschwelle kaum beeinflusst wird, weil er zumeist ausreichend über ihr liegt. Ein häufiges Kennzeichen der Schallempfindungs-Schwerhörigkeit ist die Beschädigung der inneren und äußeren Haarzellen. Man geht heute davon aus (*Kießling et al. 1996, Kollmeier 2004*), dass ein Defekt an den inneren Haarzellen eher eine Reduzierung der Empfindlichkeit bedeutet und dass diese durch eine Verstärkung des Schalls weitgehend behoben werden kann. Bei zusätzlicher Schädigung der äußeren Haarzellen werden dann vor allem die aktiven Prozesse, wie die Erkennung von Intensitäts- und Frequenzmustern sowie die Frequenzselektivität gestört, die vor allem bei niedrigen Pegeln relevant sind.

Aus diesen verschiedenen Schädigungsbefunden und den dadurch bedingten gestörten auditiven Prozessen ergibt sich zum einen die Reduzierung des am Ohr eintreffenden Schalls, zum anderen eine Verzerrung des Schallsignals, insbesondere durch die ausfallenden aktiven Prozesse, die sich in einer Fehlhörigkeit äußert.

Die Phänomene wie die Ruhehörschwelle, das Recruitment (das heißt, die pathologische Lautheitsbildung) und die verminderte Sprachverständlichkeit stehen hiermit

in Verbindung. Eine Schallempfindungs-Schwerhörigkeit kann insbesondere wegen des Ausfalls der aktiven Prozesse durch ein Hörgerät nicht voll kompensiert werden. Hier soll versucht werden, die Ergebnisse von Untersuchungen über Sprachverständlichkeit von Schwerhörigen zusammenzustellen und Schlussfolgerungen für die Gestaltung der Kommunikation zu ziehen. Dabei werden die verschiedenen Aspekte der Sprachkommunikation behandelt:

- Der **Sprecher** hat durch seine Sprechweise und Artikulation Einfluss auf die Sprachkommunikation. Auch die Höhe des Sprechpegels am Ohr des Hörers, selbst wenn sie über der Schwelle liegt, hat Einfluss auf die Verständlichkeit.
- Der Einfluss des **Geräuschpegels** auf die Sprachverständlichkeit wird als zentraler Schwerpunkt behandelt. Dabei ist der absolute Pegel eher von geringerer Bedeutung. Die Sprachverständlichkeit wird beim Normalhörenden und auch beim Schwerhörenden wesentlich durch das Verhältnis des Pegels der Sprache zu dem des Geräusches, dem Signal-Geräusch-Abstand (L_{SN} ; „signal-to-noise-ratio“), bestimmt. Eine der Hauptfragen ist, ob sich im Verhältnis zum Normalhörenden die Sprachverständlichkeit des Schwerhörigen beim gleichen Signal-Geräusch-Abstand verändert, oder ob durch eine Veränderung des Signal-Geräusch-Abstandes wieder die gleiche Verständigung wie bei Normalhörenden zu erreichen ist (immer ausreichende Sprechpegel über der Ruhehörschwelle vorausgesetzt). Vorwiegend werden die Untersuchungen mit stationären Geräuschen durchgeführt, die in der Regel ein Spektrum haben, das dem der Sprache gleich oder ähnlich ist.
- Das **Richtungshören** bringt in der Regel einen Gewinn an Sprachverständlichkeit, z.B. wenn Sprache und Geräusch nicht aus der gleichen, sondern aus verschiedenen Richtungen auf den Hörer eintreffen. Wie sieht dieser Gewinn für Schwerhörige in vergleichbaren Situationen aus? Dabei ergibt sich der Bezugswert aus der Situation, in der Sprache und Geräusch aus der gleichen Richtung frontal auf den Hörer treffen.
- In Räumen wird die Sprachkommunikation durch **Nachhall** und Reflektionen beeinflusst. Ein kurzer Nachhall ($T < 0,2$ s) und die ersten Reflektionen werden häufig benutzt, um den direkten Sprachschall zu verstärken, und damit die Verständlichkeit zu verbessern. Wie sehen die Ergebnisse für die Schwerhörigen aus? Wie muss das Signal-Geräusch-Abstand verändert werden, wenn zusätzlich zum Geräusch noch Nachhall vorhanden ist?
- Das Verstehen von Sprache besteht aus der Erkennung von (zeitlich) schnellen Intensitäts-Frequenz-Mustern. Beispielsweise bedeutet die Silbe ‚at‘ akustisch ein Muster mit (a): hoher Intensität bei eher niedrigen Frequenzen (Formant-Frequenz-Muster (a): Grundfrequenz mit Oberwellen) und (t): niedrige Intensität mit hohen Frequenzen (Rauschen t), bei dem die einzelnen Elemente 10 – 50 ms dauern. Dieses Muster muss vom auditiven System im Bereich von Millisekunden gehört, identifiziert und verstanden werden. Es ist einerseits verständlich, dass zeitlich schnell veränderliche Geräusche, wie Verkehrslärm oder störende Sprechgeräusche diesen Erkennungsprozess stören können. Andererseits muss man beachten, dass Störgeräusche, die sich eher

langsam verändern, wie z.B. intermittierende Geräusche, einen Gewinn für die Sprachverständlichkeit bringen, z.B. durch die längeren Phasen niedrigen Geräuschpegels. Die Auswirkung dieser **zeitvariablen Prozesse** werden – soweit Untersuchungen vorhanden sind – für die Schwerhörigen analysiert und dargestellt.

- Ein häufig untersuchter Einfluss ist der des **Alters**. Zum Vergleich wird die Sprachverständlichkeit bei vorgegebenen S-N-Pegeln für vier Gruppen (junge Personen mit und ohne Hörverluste und ältere Personen mit und ohne Hörverluste) untersucht.

Bei der Analyse werden zwei auditive Prozesse behandelt: zum einen an der Hörschwelle (Ruhehörschwelle für Töne, teilweise auch Sprachverständlichkeit in Ruhe) zum anderen der überschwellige Bereich (Sprachverständlichkeit bei vorgegebenem Signal-Geräusch-Abstand). Dieser Betrachtungsweise entspricht auch das von *Plomp et al.* 1983 entwickelte Modell.

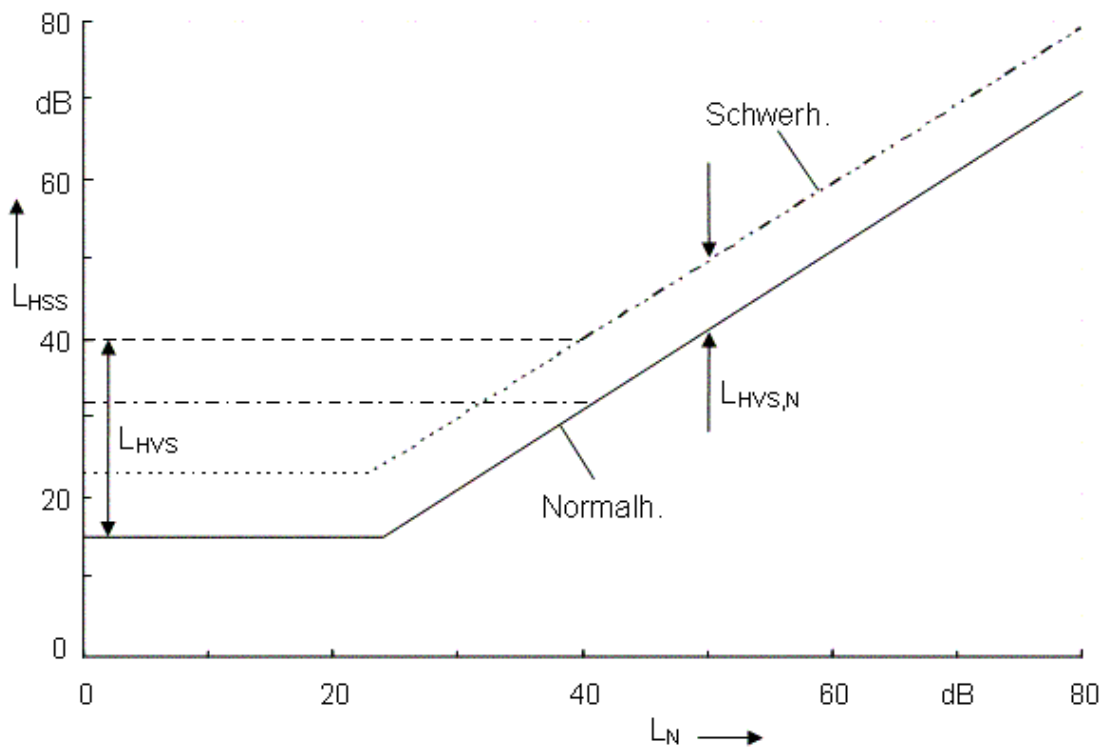


Abbildung 4-2 Hörschwelle für Sprache (L_{HSS}) dargestellt über dem Geräuschpegel (L_N) für Personen ohne (—) und mit Hörverlusten (— ; - - -); angegeben ist für schwerhörige Personen die Hörschwelle (L_{HSS}) und der Hörverlust für Sprache in Ruhe (L_{HVS}) und bei Geräuschen ($L_{HVS,N}$); weiterhin ist angegeben die Hörschwelle für Sprache ohne Verluste bei Geräuschen ($L_{HVS,N} = 0$; - · - ·) und für $L_{HVS} = L_{HVS,N}$

Von *Plomp et al.* (1983, sowie *Plomp* 1986) wurde ein Modell für das Sprachverstehen von Schwerhörigen entwickelt, das es gestattet, die Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit durch eine Ruhehörschwelle (gerade noch mögliches Verstehen von Sprache, ohne Geräusche) und durch eine Veränderung der Mithörschwelle

(gerade noch mögliches Verstehen von Sprache, gestört durch Geräusche) getrennt zu betrachten (Abbildung 4-2). Die Hörschwelle in Ruhe ($L_{HST} = L_{HST0} + L_{HVT}$) begrenzt die Wahrnehmung von Sprachlauten, wie sie oben beschrieben wurde. Aber auch oberhalb der Ruhehörschwelle vermindert sich die Verständlichkeit von Sprache bei schwerhörigen Personen im Vergleich zu normalhörenden, wenn die Sprache durch Geräusche verdeckt wird (u.a. *Aniansson* 1980, *Suter* 1980, *Lazarus et al.* 1985). Diese Verschiebung der Mithörschwelle von Sprache (Abbildung 4-2: $L_{HVS,N}$) wird in Verbindung mit einer Veränderung der dynamischen Eigenschaften des geschädigten Gehörs gesehen, wie z.B. der Verminderung der Frequenzselektivität oder der verminderten Erkennung von schnellen Frequenz- und Intensitätsänderungen (u.a. *Niemeyer* 1983, *Spreng* 1983). Inzwischen sind auch Schätzwerte für das Modell ermittelt worden (*Plomp* 1986): Für Hörschwellen von Sprache in Ruhe für Altersschwerhörige und Lärmschwerhörige von $L_{HVS0} = 15$ dB und 8 dB erhielt er einen Hörverlust für Sprache bei Geräuschen von 2,8 dB, das ergibt ein Verhältnis von etwa L_{HVS0} zu $L_{HVS,N}$ von 3 bis 6 zu 1.

Das Sprachsignal muss man sich physikalisch-akustisch als eine langsam zeitveränderliche Amplitude (Hüllkurve mit einer Frequenz von 3 – 30 Hz und einer Periodendauer von 30 – 300 ms) vorstellen, die von den Schallwellen (0,1 – 10 kHz) getragen (transportiert) wird: eine amplituden-modulierte Schwingung, in deren Hüllkurve ein wesentlicher Teil der Information steckt. Bei der Störung der Sprachverständlichkeit muss man sich die etwas unterschiedlichen Effekte der beiden Störfaktoren auf das Sprachsignal verdeutlichen. Geräusche verdecken die weniger intensiven Teile eines Stimulus zeitlich simultan, während Hall eine Maskierung der zeitlich benachbarten Phoneme bewirkt, unpräzise werden lässt und die zeitliche Hüllkurve verflacht. Geräusche und Nachhall wirken, während die Sprache vom Sprecher zum Hörer gelangt, auf das Sprachsignal (Abbildung 4-3).

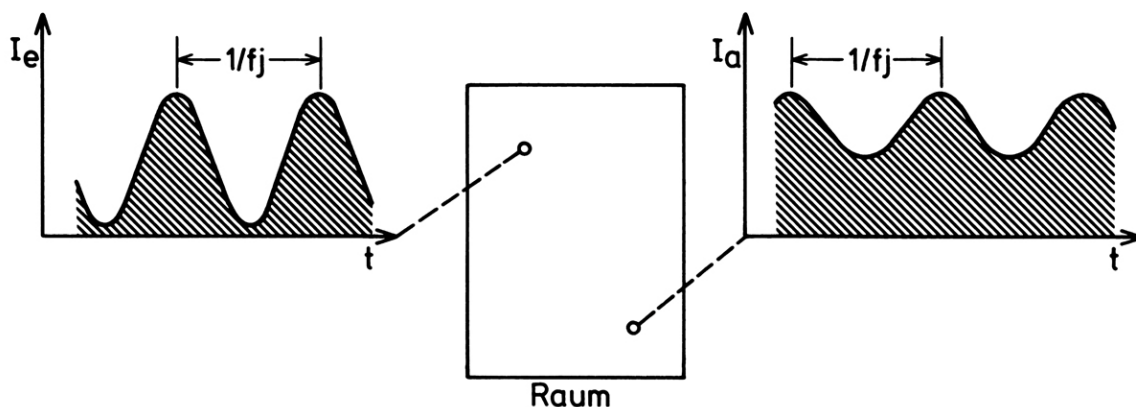


Abbildung 4-3 Das gesendete Intensitätssignal (I_e sprachähnliches Spektrum, Modulationsgrad $m = 1$) und das empfangene Intensitätssignal (I_a , $m < 1$) mit der Modulationsfrequenz ($f_j < 50$ Hz) für einen Raum

An dreidimensionalen Spektrogrammen eines Vokals in Ruhe, mit einem Störgeräusch und unter Hall, sei dieser Effekt verdeutlicht (Abbildung 4-4).

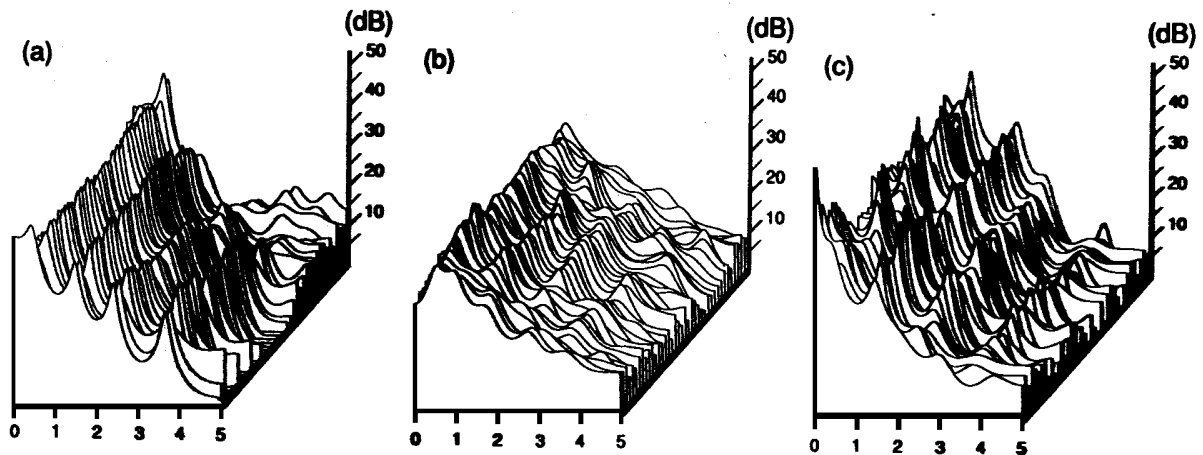


Abbildung 4-4: Spektrogramm von /æ/ in Ruhe (a), mit Geräuschen (b) mit Nachhall (c) (nach Nábelek et al. 1992)

4.2 Aspekte der Sprachverständlichkeit von Schwerhörigen: Einfluss von Geräuschen, Alter, Nachhall und Sprecher

Erläuterung zur Übersicht

Um die Ergebnisse von Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit vergleichen zu können, ist das Ausmaß der Sprachverständlichkeit von Schwerhörigen bei bestimmten Signal-Geräusch-Abständen (L_{SNA}) ausgewählter Untersuchungen der letzten 50 Jahre aufgeführt (Tabellen 4-1, 4-2). Die Tabelle 4-1 enthält eine Zusammenstellung der herangezogenen Literatur. In der Tabelle 4-2 sind die Schallpegel der Sprache (L_{SA}), des Geräusches (L_{NA}), die Frequenzcharakteristik und Zeitstruktur des Geräusches, das Sprachmaterial und die Kriterien für die schwerhörigen Personen, sowie die Ergebnisse der Hörversuche, angegeben.

Die Untersuchungen weisen dabei im Wesentlichen folgende Vorgehensweisen auf:

- Vorgegebenes Sprachmaterial wird über Lautsprecher/Kopfhörer, bei Störungen durch Geräusche, bei bestimmten Signal-Geräusch-Abständen den Versuchspersonen (Normalhörende, Schwerhörige) dargeboten; dabei sind die Störbedingungen:
 - Konstanter Geräuschpegel mit Variation des Sprachpegels
 - Konstanter Sprachpegel mit Variation des Geräuschpegels
 - Anpassung des Sprachpegels (10 – 50 dB) an die individuelle Hörschwelle (gleicher Abstand zwischen Sprach- und Geräuschpegel bei unterschiedlicher Hörschwelle)
- Die Ergebnisse werden wie folgt ermittelt
 - Wird der Signal-Geräusch-Abstand vorgegeben, erscheint als Ergebnis die Sprachverständlichkeit (SV in %)
 - Wird eine Sprachverständlichkeit (50%) vorgegeben, wird die Mithörschwelle angegeben.

Tabelle 4-1 Übersicht über die in Tab. 4-2 aufgeführten Untersuchungen (x, (x) untersuchte Parameter; x Unterabschnitt in dem die Untersuchung beschrieben wird).

	Autoren	Sprecher	Richtungs hören	Geräusch		Nachhall	Sprechpegel: hoch	Alter
				vorhanden	zeit variabel			
1	Pestalozza, Lazzaroni (1954)			(x)				
2	Kryter, Williams & Green (1962)			(x)			x	
3	Watson (1965)			(x)				
4	Niemeyer (1967 b)			(x)				
5	Groen (1969)			(x)				(x)
6	Carhart, Tillmann (1970)			(x)				
7	Acton (1970)			(x)				
8	Cooper, Cutts (1971)			(x)				
9	Lindeman (1971)			x				
10	Erber (1971)			(x)				
11	Schultz-Coulon (1973)			x				
12	Jokinen (1973)			(x)				X
13	Kuzniarz (1973)			x				
14	Aniansson (1974)			x				
15	Cohen, Keith (1976)			x				
16	Findlay, Denenberg (1977)			(x)				X
17	Chung, Mack (1979)			(x)			x	
18	Suter (1980)			x				
19	Aniansson (1980), ders. & Petersen (1983)			x		(x)		(x)
20	Duquesnoy (1983)		x	(x)	(x)			(x)
21	Gordon-Salant (1987)			(x)			(x)	X
22	Gelfand, Ross & Miller (1988)		(x)	(x)				X
23	Bronkhorst & Plomp (1988, 1989)		x	(x)				
24	Abel, Krever & Alberti (1990)			(x)	(x)			X
25	Festen & Plomp (1990)			(x)	x			(x)
26	Harris & Swenson (1990)			x		(x)		(x)
27	Helfer & Wilber (1990)			(x)		(x)		x
28	Humes & Roberts (1990)		x	(x)		(x)		(x)
29	Helfer & Huntley (1991)			(x)		(x)		x
30	Prosser, Turrini & Arslan (1991)			(x)	x			(x)
31	Bronkhorst & Plomp (1992)		x	(x)	(x)			(x)
32	Nábělek, Czyzewski & Krishnan (1992)	x		(x)				(x)
33	Gordon-Salant, Fitzgibbons (1993)					(x)		X

Tabelle 4-1 Fortsetzung

	Autoren	Sprecher	Richtungs hören	Geräusch		Nachhall	Sprechpegel: hoch	Alter
				vorhanden	zeit variabel			
34	Ter-Horst, Byrne & Noble (1993)		x	(x)				
35	Payton, Uchanski & Braida (1994)	x		(x)		(x)		(x)
36	Souza & Turner (1994)			(x)	x			(x)
37	Eisenberg, Dirks & Bell (1995)			(x)	x			(x)
38	Gordon-Salant, Fitzgibbons (1995)			(x)				X
39	Pichora-Fuller, Schneider & Daneman (1995)			(x)				X
40	Gordon-Salant, Fitzgibbons (1997)			(x)		(x)		X
41	Peters, Moore & Baer (1998)			(x)	x			X

Tabelle 4-2 (folgende Seiten) Verständlichkeit von Sprache bei verschiedenen Signal-Geräusch-Abständen für Personen mit Hörverlusten unter gegebenen Hörbedingungen

Spalte 1	Sprechpegel (L_{SA}) für das Sprachmaterial (sinnlose Silben Si, Einsilber E, Zweisilber ZS, Sätze S, Worte W) Geräuschpegel (L_{NA}) und das Spektrum oder die Art des Geräusches Ggf. Information über Nachhallzeit, Richtungshören (Erläuterungen der Audiometrieverfahren (Spalte 1) siehe Tabelle 4-6 am Ende von Kapitel 4)
Spalte 2	Art der Schwerhörigkeit, Kriterium für die Einteilung der Personen in Gruppen mit unterschiedlichen Tonhörverlusten, Alter
Spalte 3	Werte für die Tonhörverluste (L_{HVT}) bzw. für die Frequenz, bei und oberhalb der ein Hörverlust vorhanden ist
Spalte 4	Signal-Geräusch-Abstand $SNR = (L_{SA} - L_{NA}) = -20 - 25$ dB, Ruhe
Spalte 5	ggf. vorhandene Werte für eine Mithörschwelle ($SV = 50\%$)
Lfd. Nr. 1 bis 41	Untersuchungen (vgl. Tabelle 4-1)

1	2	3	4											5			
			Sprechpegel Geräuschpegel	Art + Kriterium	Werte	Sprachverständlichkeit in %											
						Signal-Geräusch-Abstand SNR ($L_{SA}-L_{NA}$) in dB											
			-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	(Ruhe)				
1	$L_{SA} = 70$ dB, Si $L_{NA} \dots$ Breitbandge- räusch	der Schwerhörigkeit 25 A mittlerer Hörverlust 35 B (0,5 – 4 kHz) in dB 55 C					20		75			82	90				
2	$L_{SA} = 62/92$ dB A – D : E, 62 dB A' – D' : E, 92 dB A'' – D'' : S, 92 dB $L_{NA} \dots$ Umgebungs- räusch Kopfhörer	Innenohr- Schwerhörige durch Lärm, Hörverlust: unterhalb $f_0 < 10$ dB bei und oberhalb f_0 > 40 dB	normal $f_0 = 4$ kHz = 2 kHz = 0,5 kHz				65		87								
3	$L_{SA} = 67$ dB A, B: E; A', B': S; $L_{NA} \dots$ Klassenraumger.	Schwerhörige Kinder, Anstieg des Hörverlustes in dB/Oktave	<10 >10 <10 >10				65	92									
							52	90									
							35	77									
							40	73									
										39			92				
										18			74				
										37			87				
										16			87				

1	2	3	4							5				
			SV in % für SNR in dB / SNR ($L_{SA}-L_{NA}$) in dB											
Sprechpegel Geräuschpegel	Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	(Ruhe)	SNR 50%
4	$L_{SA} = 47 - 77$ dB, S $L_{NA} = 41$ dB tieffrequentes Ge- räusch 1) $L_{SNA} = 36$ dB	Innenohr- Schwerhörigkeit durch Lärm, Hörverlust: unterhalb $f_0 < 10$ dB oberhalb $f_0 > 60$ dB	$f_0 > 4$ kHz A = 3-4 kHz B = 2-3 kHz C = 1-2 kHz D = 0,5-1 kHz E < 0,5 kHz F				100	85			100 100 ¹⁾	100	100	
5	$L_{SA} = 62$ dB, E $L_{NA} \dots$ Cocktailpartyge- räusch	Altersschwerhörigkeit (62 – 81 Jahre), HVT in dB	normal 20 – 60	60	82	20	50	62	95				100	67
6	$L_{SA} = L_{HVZS} + 26$ dB, E $L_{NA} = \dots$ Sprecher, (Sätze) A-D: Einsilber (Lautspr. 45° zum offenen Ohr), Sätze (Lautspr. 45° zum mit GS verschlossenen Ohr); A' – D': umgekehrt	Schwerhörige Leitungs- Schwerhörigkeit (B), Innenohr- Schwerhörigkeit (C: gute; D: schlechte SV), Sprachhör-Verlust für Zweissilber in dB	normal 43 dB 35 dB 35 dB normal 43 dB 35 dB 35 dB	75	89	71	85	91	95				97	95
7	$L_{SA} \dots$, E $L_{NA} = 60$ dB Rosa Rauschen	Innenohr-Schwer- hörigkeit durch Lärm, mittlerer Hörverlust (0,5 – 4 kHz) in dB	normal 10 25 40	37	47	39	52	83	93	98	99	98	98	
8	A: $L_{SA} = 47$ dB, E B: $L_{SA} = L_{HVS} + 40$ dB (NU-6) $L_{NA} \dots$ Breitbandger.	Innenohr- Schwerhörigkeit, HVS in dB	normal 20 – 60	47	66	38	66	90	66	90			100	88

1	2	3	4							5				
			Sprechpegel		Werte der Schwerhörigkeit	SV in % für SNR in dB / SNR (L _{SA} -L _{NA}) in dB								
Geräuschpegel	Art + Kriterium	Schwerhörigkeit	-20	-15		-10	-5	0	5	10	15	20	25	(Ruhe)
9	L _{SA} = 67 dB, E L _{NA} ... Cocktailparty.-G.	Innenohr-Schwerhörigkeit durch Lärm, mittlerer Hörverlust bei 2 kHz in dB	normal											
	A: L _{NA} = 70 dB B: L _{NA} = 120 dB Breitbandgeräusch		25											
			35											
			70											
10	L _{SA} ..., ZS A: L _{NA} = 70 dB B: L _{NA} = 120 dB Breitbandgeräusch	Schwerhörige Kinder, Hörverlust ab 0,5 kHz in dB	normal < 20	58	80	99								
			95	58	65	93	98							
11	L _{SA} = 62 dB, S L _{NA} = 50 – 80 dB Sprechgeräusch (mehrere Sprecher)	Innenohr-Schwerhörigkeit durch Lärm, Zunahme des Hörverlustes bei	normal	30	70	95	99	100						
			2 – 3 kHz				92	98	98	99				100
			1 – 2 kHz				75	88	92	95				98
			0,5 – 1 kHz				45	70	85	90				95
12	L _{SA} = L _{HVS} +30dB, E L _{HVS} = 6 dB = 8 dB = 9 dB = 16 dB = 24 dB = 33 dB L _{NA} ... Weißes Rauschen	Altersschwerhörigkeit (keine Lärmexposition) Alter in Jahren	20 – 29				15	36						
			30 – 39				10	31	79					98
			40 – 49				11	25	71					98
			50 – 59				4	19	68					97
			60 – 69				4	15	88					96
			> 70				3	10	86					92
									94					86
13	L _{SA} = 67 dB, E PB-Worte L _{NA} ... Geräusch 0,125 – 2 kHz	Innenohr-Schwerhörigkeit durch Lärm, mittlerer Hörverlust: unterhalb f ₀ < 15 dB oberhalb f ₀ > 15 dB/Okt.	normal	7	26	57	87	99						
			f ₀ = 2 kHz				10	33	100					100
			f ₀ = 1 kHz				16	30	80					97
			f ₀ = 0,5 kHz				13	24	84					84
									42					71

1	2	3	4							5					
			Sprechpegel		Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	SV in % für SNR in dB / SNR ($L_{SA}-L_{NA}$) in dB								
Geräuschpegel				-20			-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
14	$L_{SA}=57$ dB, E PB- Worte L_{NA} ... Verkehrsger. A 1) ein Sprecher liest $A' < 20$ dB 2)3 Sprecher lesen $A' > 50$ dB Kunstkopf/ Kopfhörer	Innenohr- Schwerhörigkeit durch Lärm, A Hörverlust: unterhalb f_0 $A' < 20$ dB bei / oberhalb f_0 $A' > 50$ dB	normal $f_0 =$ 4 kHz B $f_0 =$ 3 kHz C $f_0 =$ 2 kHz D A' B' C' D'	69 55 38 7 62 ²⁾ 76 ¹⁾ 49 62 26 43 5 14	89 82 62 24									97 90 88 61	
15	$L_{SA}=L_{HVS}+40$ dB,W (CID W-22) L_{NA} ... Tiefpassgeräusch ($f_G \leq 500$ Hz)	Schwerhörige, mittlerer Hörverlust in dB: bei B: 2 / 4 kHz bei C: 0,5 – 4 kHz	normal 54 / 80 40 – 55	92 55 81 85										99 93 95	
16	$L_{SA}=L_{HVS}+30$ dB,W (CID W-22) L_{NA} ... Sprechgeräusch (6 Sprecher)	Innenohr-Schwer- hörigkeit durch Lärm (B), Alters-Schwer- hörigkeit (C), mittlerer Hörverlust in dB; unterh./ bei u. o- berh. von 4 kHz	normal 20 / 50 25 / 50	72 59 49										96 94 94	
17	$L_{SA}=65$, E: A, B = 85, E:A', B' (CID W-22) L_{NA} ... Geräusch bis 2 kHz	Innenohr-Schwer- hörigkeit durch Lärm, mittlerer Hörverlust in dB; unterh./ bei u. o- berh. von 3 kHz	normal normal 25/50 25/50		60 48 43 38	77 65 61 53						85 76 80 67			

1	2	3	4										5							
			Art + Kriterium		Werte der Schwerhörigkeit		SV in % für SNR in dB / SNR ($L_{SA}-L_{NA}$) in dB													
Sprechpegel							-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	(Ruhe)	SNR 50%		
Geräuschpegel			a	b																
18	$L_{SA}=60$ dB, E, S (MRT/CID) L_{NA} ... Sprechergeräusch (12 Sprecher)	Hochton-Schwerhörige mittlerer Hörverlust in dB a (0,5 – 2)kHz b (2 – 4) kHz	8 10 – 18 20 – 28	5 26 41	A B C		60 32 17	86 65 54										97 93 87		
19	$L_{SA, 1m} = 63$ dB, E (PB-Worte) L_{NA} ... Verkehrsgeschw. 1) innen, 1 m T = 0,5 s 2) innen, 4 m T = 0,5 s 3) außen, 1 m T = 0 s 4) L_{SNA} (75%) für 1m innen 0,5 s / außen 0 s Kunst- kopf/Kopfhörer	Normalhörende (18 – 54) (Gruppe A), Altersschwerhörigkeit (65 – 75J.) (B...F), Innenohr-Schwerhörigkeit durch Lärm (18 – 64 J.) (B'...H'), Schalleitungs-Schwerhörigkeit (29 – 65 J.) (B''...E''), mittlerer Hörverlust (0,5 – 4 kHz) in dB, w – weibl. P m – männl. P	normal w 26 m 29 m 35 w 45 m 46	A B C D E F		92 ³⁾ 80 69 51 62 51	98 ²⁾ 96 ¹⁾ 84 89 72 79 57 66 50 67 49 59											0/2 ⁴⁾ 10/7 19/12 26/18 38/35 –/–		
			15 20 29 30 38 40 49	B' C' D' E' F' G' H'		82 81 65 62 46 43 31	90 93 89 92 77 80 74 78 57 63 48 54 27 42												6/6 10/7 16/12 25/27 38/23 –/– –/–	
			36 44 53 66	B'' C'' D'' E''		84 74 34 0	81 86 61 73 20 30 0 1												10/6 16/8 –/– –/–	

1	2	3	4							5				
			SV in % für SNR in dB / SNR ($L_{SA}-L_{NA}$) in dB											
Sprechpegel	Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	(Ruhe)	SNR 50%
21	$L_{SA} = 80/95$ dB, E (NU-6): A / A' (MRT): A''/A''' A → A, B, C, D $L_{NA} = \dots$ Sprechgeräusch (12 Sprecher)	Innenohr- schwerhörigkeit (Presbycusis) mittlerer Hörverlust (0,25 – 8 kHz) in dB, Alter in Jahren A < 42 B > 64 C < 42 D > 64	5 – 10 5 – 20 10 – 60 15 – 60	A B C D	A' B' C' D'	A'' B'' C'' D''	A''' B''' C''' D'''	57 56 48 43	56 49 46 42	55 57 59 51	60 52 58 48	97 98 79 79	97 98 79 79	9,9 10,1 16,3 22,0
22	$L_S = 70$ dB, S (SPIN, hohe VW) $L_N = \dots$ Vorne/Vorne A-D Vorne/Seite A'-D' Sprechgeräusch (12 Sprecher)	Innenohr- Schwerhörigkeit (Presbycusis) mittlerer Hörverlust (0,25 – 8 kHz) in dB, Alter in Jahren A < 29 B = 40 – 54 C = 55 – 70 D = 55 – 70	-3,0 – 5,0 -1,5 – 8,0 1,0 – 19,0 14,0 – 66,0 (Diff r-l: 0 – 6 dB)	A B C D	A' B' C' D'									-2 -1 0 3 -8 -7 -5 0

1	2	3	4										5
			SV in % für SNR in dB / SNR (L _{SA} -L _{NA}) in dB										
Sprechpegel	Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	SNR 50%
Geräuschpegel		Schwerhörigkeit											(Ruhe)
29	L _S = L _{HVT} +50dB, Si (NST) L _N ... Cafeteriageräusch (S/N = 10 dB, T=0,0 / 0,9 s) initiale Konsonanten /a/ A, B, C /i/ A' /u/ A'' finale Konsonanten /a/ A''' /i/ A ^{IV} /u/ A ^V Kunst-kopf/Kopfhörer	Innenohr-Schwerhörigkeit, (Presbycusis) mittlerer Hörverlust (0,5 – 2 / 2 – 6 kHz) in dB, mittleres Alter in Jahren A: 26 B: 70 C: 71	-4 / -1 8 / 22 13 / 45										
			A						97/73				98
			B						83/60				88
			C						74/51				82
			A'						86/61				85
			B'						75/43				81
			C'						65/32				70
			A''						63/57				94
			B''						65/43				86
			C''						60/33				88
			A'''						65/63				96
			B'''						51/46				84
			C'''						37/36				73
			A ^{IV}						69/57				96
			B ^{IV}						52/41				86
			C ^{IV}						45/34				76
			A ^V						86/50				97
			B ^V						54/40				90
			C ^V						51/32				86

1	2	3	4										5																																																																																							
			Sprechpegel Geräuschpegel	Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	SV in % für SNR in dB / SNR ($L_{SA}-L_{NA}$) in dB (Ruhe)																																																																																														
						-20	-15	-10	-5	0	5	10		15	20	25	SNR 50%																																																																																			
30	$L_{SA}=L_{HVT}+40$ dB, S $L_{NA} = \dots$ Geräusche: Sprachspekt.-G.: A – D CocktailpartyG.: A' – D' Verkehrsg.: A'' – D'' Sprechgeräusch (1 Sprecher): A''' – D'''	Innenohr- Schwerhörigkeit, (Presbycusis) mittlerer Hörverlust (0,5 – 4 kHz) in dB, Alter in Jahren A < 31 B = 65 – 81 C < 45 D = 65 – 85	-5 – 1 15 – 20 20 – 60 20 – 60	A B C D	A' B' C' D'	A'' B'' C'' D''	A''' B''' C''' D'''	0	3	27	81	98	0	3	11	76	96	0	3	20	70	90	0	2	11	60	86	0	8	35	78	95	0	4	15	65	90	0	4	25	65	95	0	3	15	45	80	8	30	65	88	99	8	25	63	85	97	4	12	40	78	97	8	8	30	70	90	8	25	58	80	95	8	25	57	78	94	6	24	50	70	92	2	8	25	45	65	2	8	25	45	65	-2	-2	1,5	2,5	-1	-1	0	6

1	2	3	4							5			
			SV in % für SNR in dB / SNR (L _{SA} -L _{NA}) in dB										
Sprechpegel	Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	SNR 50%
Geräuschpegel		Schwerhörigkeit											(Ruhe)
31	L _{SA} = ..., S (frontal, 0°) L _{NA} = 65 dB A = 75 – 90 dB B Ziel: L _{HSS,N} (50 %) Sprachmod.G. frontal (0°) 1,2,4,6 Geräusche: A _F , A _F , A _F , A _F , A _F Verteil: asym.: 1, sym.: 2, 4, 6 Geräusche: A _A , A _S , A _S , A _S , A _S Kunst-kopf/Kopfhörer	Innenohr-Schwerhörigkeit, mittlere Hörschwelle (0,5 – 2 kHz) in dB, mittleres Alter in Jahren A: 25 B: 54	< 20 16 – 56										-12,0 -4,9 -9,6 -4,7 -8,1 -4,0 -7,7 -3,2 -20,0 -11,4 -14,2 -7,4 -10,0 -5,0 -9,2 -4,9
32	L _{SA} = ..., Si MCL für jede Vp 6 Sprecher: A – F L _{NA} ... Sprachmod. Geräusch Frequenzanpassung Kopfhörer	Innenohr-Schwerhörigkeit, mittlerer Hörverlust (0,25 – 8 kHz) in dB, Alter in Jahren A – F: 20 – 46 A' – F': 50 – 69	Normal 30 – 72					83 90 88 93 91 92					

1	2	3	4										5	
			SV in % für SNR in dB / SNR (L _{SA} -L _{NA}) in dB											
Sprechpegel	Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	(Ruhe)	SNR 50%
Geräuschpegel		Schwerhörigkeit												
34	L _{SA} = ..., S A: L _{NA} = 55 dB A': MCL Sprachspekt.-G. L _{HSS, N} (50%) Richtung: (h/v) (horizont./vertikal) S: 90°/0° N: 90° ± 18°/0° A 90° ± 54°/0° B 90°/0° ± 18° C 90°/0° ± 54° D	Innenohr-Schwerhörigkeit, mittlerer Hörverlust (0,5 – 4 kHz) in dB 30 – 62 (Diff r – l: < 15 dB)	< 20											3,8 6,1 3,0 5,5 0,8 1,8 -1,0 1,0
35	L _{SA} = 85 dB, S deutlich: A, B normal: C, D L _{NA} = ... Geräusch: Sprachmod.-G. T = 0 s A T = 0,2 s A' T = 0,6 s A'' für a: -4 dB WR für b: freq.-selekt. Verstärkung auf eine angenehme Lautstärke	Innenohr-Schwerhörigkeit, Hörverlust (0,25 – 8 kHz) in dB, Alter in Jahren a 18 – 40 b 50 – 60	a < 20 b = 60...90 a b					89 75 71 41	93 83 73 55					97 87 81 71 93 84 78 69 91 79 71 50

1	2	3	4										5	
			SV in % für SNR in dB / SNR ($L_{SA}-L_{NA}$) in dB											
Sprechpegel	Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	SNR 50%	
Geräuschpegel		Schwerhörigkeit											(Ruhe)	
36	<p>$L_{SA} = 80$ dB, W (NU-6)</p> <p>Geräusche: $L_{NA} = 75$ dB</p> <p>Weißes Rauschen mit Hochpassfilter (4 kHz) 60 dB:A</p> <p>dazu: Sprachspekt.-G.: A' Sprachmod.-G.: A'' Sprechgeräusch (12-Sprecher): A''' Kopfhörer</p>	<p>Innenohr-Schwerhörigkeit, (Presbycusis)</p> <p>mittlerer Hörverlust (0,25 – 4 kHz) in dB,</p> <p>Alter in Jahren</p> <p>A 20 – 40 B 22 – 35 C 64 – 77</p>	<p>< 10 20 – 55 20 – 55</p> <p>A' B' C'</p> <p>A'' B'' C''</p> <p>A''' B''' C'''</p>				82 59 66	70 43 53	53 35 36				97 85 93	
37	<p>$L_{SA} \dots, S$ (SPIN)</p> <p>$L_{NA} = 76 - 93$ dB</p> <p>Breitbandgeräusch: konstant: A amplitudenmod.: A' Frequenzanpassung Kopfhörer</p>	<p>Innenohr-Schwerhörigkeit,</p> <p>Hörverlust (0,25 – 4 kHz) in dB,</p> <p>Alter in Jahren</p> <p>A 19 – 34 B 37 – 74</p>	<p>normal < 15 20 – 70</p> <p>A B</p> <p>A' B'</p>				28 25 70 48	78 65						-6 -5 -10 -7

1	2	3	4							5															
			SV in % für SNR in dB / SNR ($L_{SA}-L_{NA}$) in dB																						
Sprechpegel	Art + Kriterium	Werte der Schwerhörigkeit	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	SNR 50%												
Geräuschpegel			(Ruhe)																						
38	<p>$L_{SA} = 87$ dB, S (SPIN, niedrige VW)</p> <p>$L_{NA} = \dots$</p> <p>Sprechgeräusch (12 Sprecher)</p>	<p>Innenohr-Schwerhörigkeit, Hörverlust, Alter in Jahren</p> <p>A 18 – 40 B 65 – 76 C 18 – 40 D 65 – 76</p>	<p>normal normal leicht – mittel leicht – mittel</p> <p>A B C D</p>				16		90				5												
39	<p>$L_S = L_{HST} + 50$ dB, S (SPIN-R)</p> <p>hohe VW A, B, C</p> <p>niedrige VW A', B', C'</p> <p>Sprechgeräusch (8 Sprecher)</p> <p>$L_N = \dots$ Kopfhörer</p>	<p>Innenohr-Schwerhörigkeit, (Presbycusis)</p> <p>(3 Vp, repräsentativ ausgewählt für A, B, C)</p> <p>mittlerer Hörverlust (0.25 – 4 kHz) in dB, Alter in Jahren</p> <p>A 22 – 29 B 65 – 77 C 67 – 91</p>	<p>0 – 5 7 – 30 18 – 60</p> <p>A B C A' B' C'</p>	35	30	5	95	100	100	100	99	99	20	55	85	98	98	98	90	70					

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse zwischen den einzelnen Arbeiten doch sehr unterschiedlich sind, auch wenn man die Tatsache berücksichtigt, dass die Sprach- und Geräuschpegel, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Untersuchungen zu erhalten, in A-bewertete Schallpegel umgerechnet wurden. Da das Sprachmaterial und die Versuchsbedingungen der einzelnen Untersuchungen verschieden gehalten sind, zeigen sich selbst schon bei Normalhörenden sehr divergente Daten: so ergibt sich bei dieser Personengruppe, z.B. bei einem Signal-Geräusch-Abstand von $L_{SNA} = 0$ dB eine Sprachverständlichkeit von $SV = 27 - 99\%$, deshalb können absolute Daten nur innerhalb einer Untersuchung miteinander verglichen werden.

Als Sprachmaterial (Tabelle 4-2, Spalte 1) wurden in diesen Arbeiten Wörter (Einsilber, Zweisilber), Silben, Vokale und sehr unterschiedliche Sätze benutzt. In den Untersuchungen, in denen bereits veröffentlichte Sprachtests benutzt wurden, sind diese aufgeführt und im Anhang kurz erläutert. Zumeist sind es phonetisch ausbalancierte (PB-) Wörter oder Sätze. Die untersuchten Schwerhörigen (Spalten 2, 3) waren im wesentlichen Lärmschwerhörige mit Hörverlusten vor allem im Hochtonbereich, aber auch Leitungsschwerhörige (Zeilen 6, 19), schwerhörige Kinder (Zeile 3, 10) und ältere Personen (Zeilen 5, 12, 19 – 22, 24 – 33, 35 – 41). Die Spalte 3 der Tabelle 4-2 beinhaltet die Kriterien, nach denen die Schwerhörigen klassifiziert wurden, in Spalte 4 sind die dazugehörigen Werte angegeben. Klassifikationskriterien (Spalte 2, 3) sind der mittlere Hörverlust (L_{HVT} in dB) bei bestimmten Frequenzen (z.B. 0,5 – 4 kHz), der Frequenzbereich, von dem aus der Hörverlust stark zunimmt (f in kHz), das Ausmaß des Sprachhörverlustes (L_{HVS} in dB) und das Alter der Personen (in Jahren).

Tendenz der Ergebnisse

Aus der Tabelle 4-2 kann generell abgelesen werden, dass mit abnehmendem Signal-Geräusch-Abstand, das heißt, mit steigendem Geräuschpegel bei konstantem Sprachpegel, die Sprachverständlichkeit schwerhöriger Personen stärker abnimmt als die der Normalhörenden. Die Sprachverständlichkeit ist bei einem niedrigen Signal-Geräusch-Abstand, wie es bei einem lauten Hintergrundgeräusch in der Praxis häufig vorliegt, umso geringer, je stärker die Schwerhörigkeit ausgeprägt ist. Das ist so, obwohl in den meisten Fällen der Sprechpegel ausreichend hoch (über der Ruheshwelle) ist. Geräusche vermindern die Sprachverständlichkeit besonders stark bei Personen mit Schäden der Innenohrhaarzellen, bei denen der Hörverlust besonders hohe Werte aufweist oder schon relativ weit zu den mittleren Frequenzen (0,5 – 2 kHz) hin fortgeschritten ist. Personen mit Leitungsverlusten, die in der Regel ein flaches Audiogramm haben, zeigen eine schwächere Verminderung der Sprachverständlichkeit. Ist der Signal-Geräusch-Abstand größer als $L_{SNA} = 10$ dB, so kann zwar in den meisten Fällen für Normalhörende eine gute Sprachverständlichkeit erwartet werden ($SV = 75 - 100\%$), was jedoch für Schwerhörige nicht zutrifft. Diese verstehen unter diesen akustischen Bedingungen je nach Art und Schwere des Hörverlustes und Art des Sprachmaterials zwischen 0 und 90%.

Bei der Angabe des Hörverlustes muss auch berücksichtigt werden, dass die Schwerhörigen in Ruhe wegen ihrer Tonhörverluste schon weniger verstehen als ein

Normalhörender (Tabelle 4-2, Spalte 4, Ruhe); in den meisten der aufgeführten Fälle liegt die Sprachverständlichkeit in Ruhe bei ca. 70 bis 100 %.

Bedingt durch die Tonhörverluste hören Schwerhörige bei einem konstanten Sprachpegel nur die Sprachlaute, die die individuelle Hörschwelle in ihrer Intensität übersteigen. So nimmt bei einem vorgegebenen festen Sprachpegel $L_{SA} = 57 - 70$ dB (Zeilen 1, 2 (A – D), 5, 9, 11, 13, 14, 17 (A, B), 18, 19 (A – F, B' – H'), 22, 28) die Sprachverständlichkeit mit steigendem Ausmaß des Tonhörverlustes der Innenohrschwerhörigkeit mit zunehmendem Geräuschpegel ab. Bei einem Signal-Geräusch-Abstand, z.B. von $L_{SNA} = 10$ dB, bei dem normalhörende Personen eine Verständlichkeit von $SV = 77 - 100\%$ aufweisen, erreichen Personen mit stark ausgeprägtem Tonhörverlust eine Sprachverständlichkeit von $SV = 10 - 85\%$. Bei einem Signal-Geräusch-Abstand von $L_{SNA} = 0$ dB liegt die Verständlichkeit von Normalhörenden bei $SV = 50 - 100\%$, von Schwerhörigen mit ausgeprägten Tonhörverlusten aber nur bei $SV = 0 - 80 \%$.

Ähnliche Ergebnisse erhält man auch, wenn der Sprechpegel besonders hoch ($L_{SA} > 70$ dB) oder deutlich über der Hörschwelle liegt ($L_{SA} = 60 - 90$ dB) (Zeilen 2 (A'-D'), 6, 8 (B), 10, 12, 15, 16, 17 (A', B'), 21, 26, 27, 29, 30, 31 (B), 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41).

Frühere Untersuchungen

Lärm stört die sprachliche Kommunikation von normalhörenden, aber – wie man aus Erfahrung weiß – von schwerhörigen Personen besonders stark. Schon in frühen Untersuchungen wurde auf die stärkere Störanfälligkeit der Sprachverständlichkeit schwerhöriger Personen verwiesen (*Palva 1955, Lightfoot et al. 1956*). So erwähnten *Simonton & Hedgecock (1953)*, dass die Sprachverständlichkeit von Leitungschwerhörigen nicht, von Lärmschwerhörigen mit Innenohrhaarzellenschäden im Vergleich zu Normalhörenden dagegen erheblich durch Geräusche vermindert wird.

Zur gleichen Erkenntnis kamen *Pestalozza & Lazzaroni (1954, Zeile 1)*, die das Sprachverstehen von Personen mit Schallempfindungs-, Schalleitungs- und simulierter Schwerhörigkeit bei verschiedenen Signal-Geräusch-Abständen verglichen.

Es wurde bereits früh untersucht, in welcher Weise die Kommunikation schwerhöriger Personen durch Geräusche beeinträchtigt wird. Z.B. versuchte *Groen (1969, Zeile 5)* ein Testverfahren zu entwickeln, mit dem man abschätzen kann, wie der Hörgeschädigte in seiner sozialen Umgebung beeinträchtigt ist. Dazu wurde die Sprachverständlichkeit nicht nur in Ruhe (Ruheschwelle), sondern auch im Kontext von verschiedenen Pegeln eines Cocktailparty-Geräuschs (Mithörschwelle) untersucht.

Altersschwerhörige und Lärmschwerhörige, die vor allem durch einen Hörverlust bei höheren Frequenzen gekennzeichnet sind, werden besonders durch tieffrequente Umweltgeräusche wie durch Verkehrsgeräusche oder Gespräche in Kantinen und Büroräumen in ihrer Hörfähigkeit beeinträchtigt. Die tieffrequenten Geräusche verdecken den noch für das Sprachverstehen verbleibenden Teil der Hörfläche, so dass eine besonders starke Störeinswirkung zu beobachten ist (vgl. auch Abb. 2–1).

Erläuterndes Beispiel

Besonders deutlich konnte *Niemeyer* (1967b, Zeile 4) den Einfluss von Störgeräuschen auf die Sprachverständlichkeit demonstrieren. Er bot schwerhörigen Personen Sätze mit einem Sprachpegel von $L_{SA} = 47/62/77$ dB mit ($L_{NA} = 41$ dB) und ohne Störgeräusche an. Die Sprachverständlichkeit normalhörender Personen ist bei den verwendeten Signal-Geräusch-Abständen von $L_{SNA} = 36/21/6$ dB für Sätze nahezu 100%. Schwerhörige mit Hörverlusten nur bei/über 3 – 4 kHz weisen bei einem hohen Signal-Geräusch-Abstand ($L_{SNA} \approx 35$ dB, $L_{SA} = 77$ dB) ebenfalls ein Sprachverstehen für Sätze (SVS) von 100% auf; wenn der Signal-Geräusch-Abstand allerdings um 30 dB abnimmt, sinkt die Sprachverständlichkeit auf SVS = 85%. Liegt die Frequenz, ab der die Tonhörverluste von Schwerhörigen besonders stark ausgeprägt sind, bei 2 – 3 kHz oder 0,5 – 1 kHz, so vermindert sich die Sprachverständlichkeit bei einer Reduzierung des Signal-Geräusch-Abstandes um 15 dB von SVS = 95% auf 85% oder von SVS = 25% auf 10%. Sinkt der Signal-Geräusch-Abstand um weitere 15 dB, vermindert sich die Verständlichkeit auf SVS = 55% oder 0%.

Um auszuschließen, dass diese Verringerung der Sprachverständlichkeit nur durch die Abnahme des Sprachpegels bedingt sein könnte, gibt *Niemeyer* die Werte der Sprachverständlichkeit ohne Störgeräusch bei den gleichen Sprachpegeln an: selbst bei dem niedrigsten Sprachpegel von $L_{SA} = 47$ dB (ohne Störgeräusch) liegt die Verständlichkeit immer höher als beim Sprachpegel $L_{SA} = 77$ dB (mit Störgeräusch: $L_{SNA} \approx 35$ dB).

Vergleichbarkeit im überschwelligen Bereich

Da die Sprachverstehensleistungen der Schwerhörigen und der Normalhörenden miteinander verglichen werden sollen, kann der Sprachpegel jeweils an den individuellen Hörverlust für Sprache (L_{HVS}) oder für Töne (L_{HVT}) anpasst und der Sprechpegel $L_{SA} = L_{HVS} + (10 - 40)$ dB (Zeilen 6, 8, 12, 15, 16, 26, 41) bzw. $L_{SA} = L_{HVT} + (40 - 50)$ dB (Zeilen 27, 29, 30, 39) gesetzt werden. Teilweise wird auch die „most comfortable loudness“ (MCL) jeder Versuchsperson für die Sprache eingestellt. Dieser Pegel kann als individuell angenehmer Pegel für gutes Sprachverstehen betrachtet werden.

Die Sprachverständlichkeit vermindert sich in Abhängigkeit vom Geräuschpegel und dem Hörverlust der Person in diesen Untersuchungen etwa in gleicher Weise wie in den Untersuchungen, in denen der Sprachpegel konstant vorgegeben wurde. Dies kann man beispielsweise an den Sprachverständlichkeitswerten von *Acton* (1970, Zeile 7: Gruppe A und D) und *Cooper & Cutts* (1971, Zeile 8: Gruppe A und B) erkennen.

Wird der Sprachpegel beispielsweise 30 dB oberhalb der individuellen Hörschwelle für Sprache ($L_{SA} = L_{HVS} + 30$ dB) festgesetzt (*Jokinen* 1973, Zeile 12), so erhält man eine Sprachverständlichkeit, die für Personen aller Altersklassen (20 – 80 Jahre, ohne berufliche Lärmexposition) in Ruhe zwischen SV = 98 – 86% liegt. Wird zusätzlich zur Sprache ein Störgeräusch dargeboten, erhält man eine mit dem Alter stark ab-sinkende Sprachverständlichkeit. Bei einem Signal-Geräusch-Abstand von $L_{SNA} = 20$ dB wird noch 94 – 80% der Sprache verstanden, bei einem $L_{SNA} = 10$ dB fällt die Sprachverständlichkeit mit steigendem Alter von SV = 79% auf SV = 54% ab.

Ein weiterer Ansatz, um das Sprachverstehen der Schwerhörigen und der Normalhörenden vergleichbar zu machen, ist das Sprachmaterial nach einer Frequenzanpassung an die individuelle Hörschwelle darzubieten.

Eisenberg et al. (1995, Zeile 37) und *Nábělek et al.* (1992, Zeile 32) untersuchten so das Sprachverstehen von Schwerhörigen und Normalhörenden und fanden dabei wiederum Ergebnisse, die ähnlich denen ohne Frequenzanpassung sind.

Betrachtet man bei vergleichbaren Verhältnissen ($L_{SA} = L_{HVS} + 26$ dB) allerdings Schallleitungs-Hörgeschädigte (*Carhart & Tillman* 1970, Zeile 6), erhält man bei Störgeräuschen ähnliche Ergebnisse wie bei den Normalhörenden. So verschlechterte sich die Sprachdiskriminationsleistung dieser Geschädigten von 95 % in Ruhe auf 71 % bei einem $L_{SNA} = -5$ dB. Beim gleichen Signal-Geräusch-Abstand verstanden die Normalhörenden 97 bzw. 75 % der Sprache.

Sehr schön zeigt sich die Vergleichbarkeit bei einem Sprachverständlichkeitstest mit Worten in Sätzen bei einem Sprecher-Geräusch (12 Sprecher) (nach *Abel et al* 1990, Abb. 4-5).

Um eine Sprachverständlichkeit zu erhalten, wie sie für Normalhörende möglich ist (50% bei $L_{SNA} = -2$ dB), muss der Signal-Geräusch-Abstand für die beiden Schwerhörigengruppen (S1, S2: 50% bei $L_{SNA} = 2/5$ dB) um 4 und 7 dB gesenkt werden.

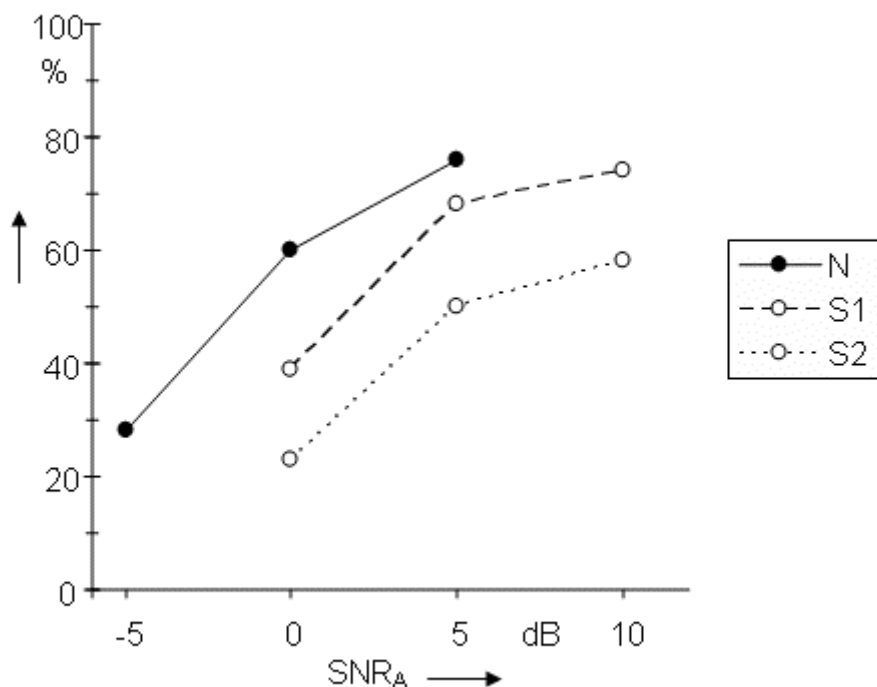


Abbildung 4–5 Satzverständlichkeit (SV in %) mit hoher und niedriger Vorhersagewahrscheinlichkeit (SPIN) gestört durch ein Sprechgeräusch (12 Sprecher) für Normalhörige (N, Alter ca. 35 Jahre, mittlere Tonhörschwelle (0,5 – 4 kHz) = 2 – 14 dB und Schwerhörige (S1/S2, Alter 55/61 Jahre, mittlere Tonhörschwelle (0,5 – 4 kHz) = 14 – 53 dB / 38 – 65 dB; Pegelhöhe: $L_{SA} = 68$ dB (für N; für S oder $L_{HST} + 40$ dB) (nach *Abel et al.*, 1990, Zeile 24, aber anderes Sprachmaterial und Geräusch)

Schwerhörigkeit, Störgeräuschpegel

In den vorliegenden Studien wurden verschiedene Möglichkeiten gewählt, das Verhältnis zwischen Sprachpegel, Störgeräuschpegel und Sprachverstehen anzugeben. Die meisten Untersuchungen geben bei verschiedenen Signal-Geräusch-Abständen die erreichte Verständlichkeit an, andere wählen ein festes Diskriminationsniveau (meist Mithörschwelle bei $SV = 50\%$) und geben dazu die erforderlichen Signal-Geräusch-Abstände an (Zeile 19 – 23, 25, 30, 31, 34, 37, 38, 41).

Die Studie von *Harris & Swenson* (1990, Zeile 26) beschäftigte sich mit der Frage, wie die Sprachverständlichkeit für Worte von Nachhall in Kombination mit einem Geräusch mit sprachähnlichem Spektrum beeinflusst wird.

Die 3 Gruppen (normalhörend (A), leichter Hörverlust (B), moderater Hörverlust (C)) zu je 10 Personen wurden in 3 verschiedenen Nachhallbedingungen bezüglich ihres Sprachverständnisses untersucht. Diese Bedingungen wurden durch verschiedene spezielle Räume mit bestimmter Nachhallzeit oder in einem reflexionsfreien Raum hergestellt. Das Signal-Geräusch-Abstand betrug 10 dB.

Für die Normalhörenden wurde das Wortmaterial 40 dB über der individuellen Hörschwelle für Sprache dargeboten, für die Hörgeschädigten bei einem ihnen angenehmen Pegel (MCL).

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl das Störgeräusch als auch beide Nachhallbedingungen das Sprachverstehen erheblich verschlechtern und dass mit zunehmendem Hörverlust die negativen Auswirkungen auf das Sprachverstehen steigen.

Suter (1980, Zeile 18) bemerkte außerdem, dass die Diskriminationsleistung der einzelnen schwerhörigen Personen bei schlechteren Signal-Geräusch-Abständen immer deutlicher divergieren.

Aniansson (1980) und *Aniansson & Petersen* 1983, Zeile 19) bestimmte in seiner Untersuchung zum einen den Geräuschpegel, der eine Wortverständlichkeit für Einsilber von $SVE = 75\%$ zulässt und zum anderen die Verständlichkeit, die sich bei verschiedenen Signal-Geräusch-Abständen ergab.

Ein Verkehrsgeräusch war so aufgenommen worden, dass es einmal das Geräusch von $L_{NA} = 40$ dB bei einem Abstand zwischen Sprecher und Hörer von $r = 1$ und 4m im Innenraum (Nachhallzeit 0,5 s) und zum anderen ein Geräusch von $L_{NA} = 55$ dB bei einem Abstand von $r = 1$ m im Freien wiedergibt. Der Sprachpegel ($L_{SA,1m} = 63$ dB) wurde konstant gehalten und, mit dem Verkehrsgeräusch gemischt, per Kopfhörer den Probanden dargeboten. Dadurch ergaben sich 3 Signal-Geräusch-Abstände: $L_{SNA} = 8, 19$ und 23 dB.

Bei Betrachtung der Signal-Geräusch-Abstände, die benötigt werden, um eine Sprachverständlichkeit für Einsilber von $SVE = 75\%$ zu erhalten, ergab sich Folgendes: der Pegel des Geräusches muss für Personen mit einer altersbedingten Schwerhörigkeit (B – F) selbst bei geringen bis mittleren Hörverlusten um 10 – 20 dB, für Altersschwerhörige mit mittleren Hörverlusten von $L_{HVT0,5/1/2/4} = 35 – 51$ dB sogar um 15 – 40 dB gesenkt werden.

Für Lärmschwerhörige (B' – E') mit mittleren Hörverlusten muss der Geräuschpegel um 5 – 25 dB vermindert werden, um eine Wortverständlichkeit von $SVE = 75\%$ zu

erhalten. Weisen Personen noch höhere Hörverluste ($F' - H'$) auf, so ist der Geräuschpegel um bis zu 40 dB zu reduzieren.

Dagegen ist bei Leitungsschwerhörigen mit einem mittleren Hörverlust (B'' , C'') der Geräuschpegel nur um 5 – 15 dB zu verringern, um gleiche Verhältnisse zu schaffen.

Schultz-Coulon (1973, Zeile 11) untersuchte bei Lärmschwerhörigen das Satzverstehen (Marburger Sprachverständlichkeitstest) in Abhängigkeit eines Sprechgeräuschs unterschiedlicher Lautstärke. Der Sprachpegel betrug konstant $L_{SA} = 62$ dB, das Störgeräusch wurde in der Lautstärke zwischen 50 und 80 dB variiert.

Bei getrennter Betrachtung des Sprachverstehens nach Beginn des starken Hörverlustes (zwischen 2 – 3 kHz: Gruppe B, 1 – 2 kHz: Gruppe C, 0,5 – 1 kHz: Gruppe D) ergab sich folgendes Bild: Während bei einem $L_{SNA} = -5$ dB von den Normalhörenden weiterhin eine Diskriminationsleistung von 95% erreicht wurde, musste für die Schwerhörigen, die einen Hörverlust oberhalb der Frequenzen von 2 – 3 kHz bzw. 1 – 2 kHz aufwiesen, die Sprache bei einem Signal-Geräusch-Abstand von ca. $L_{SNA} = 5$ dB bzw. $L_{SNA} = 15$ dB angeboten werden, um die gleiche Verständlichkeit zu erhalten.

Auch für die Personen, die einen geringen Hörverlust (bei 2 kHz, $L_{HVT,2} = 25$ dB) aufweisen, muss das Störgeräusch im Vergleich zu normalhörenden Personen um 5 dB abgesenkt werden, damit die Sprachverständlichkeit von 75% erhalten bleibt (*Lindeman* 1971, Zeile 9).

Kuzniarz (1973, Zeile 13) konnte feststellen, dass bei einem $L_{SNA} = 10$ dB bzw. 5 dB das Sprachverstehen aller Hörgeschädigten erheblich eingeschränkt war und zwischen 42 und 80 % bzw. 24 und 73 % lag, während die Normalhörenden unter diesen Bedingungen keinerlei Probleme hatten. Somit ist nach den Ergebnissen von *Kuzniarz* ein Störgeräusch etwa um 15 dB zu vermindern, um auch für Schwerhörige eine Sprachverständlichkeit von 55 – 60% zu erhalten.

Aniansson (1974, Zeile 14) untersuchte in seinen Experimenten das Sprachverstehen Hörgeschädigter mit verschiedenen Hochtonhörverlusten und Normalhörender in verschiedenen alltäglichen Hörsituationen (Verkehrsgerausche $L_A = L_C - 16$ dB, Sprechgeräusche).

Die Ergebnisse in Ruhe zeigen eine relativ geringe Variation. Die Sprachverständlichkeit liegt für die Gruppen A, B und C zwischen 88 und 97 %. Einzig die Gruppe mit einem Hörverlust ab 2 kHz zeigt mit 61 % eine deutlich reduzierte Sprachverständlichkeit. Die Unterschiede werden aber wesentlich deutlicher in schwierigen Hörsituationen: bei einer Verschiebung des Signal-Geräusch-Abstandes zu Ungunsten der Sprache nimmt die Verständlichkeit mit zunehmendem Hörverlust stärker ab. Bei einem $L_{SNA} = 0$ dB liegt die Sprachverständlichkeit nur noch zwischen 7 und 69 %. Sehr ähnliche Werte werden bei 3 konkurrierenden Sprechern erzielt. Obwohl man hier eher von einem Signal-Geräusch-Abstand von -5 dB ausgehen muss (die drei störenden Sprecher haben den gleichen Pegel wie der zu erkennende Sprecher), entsprechen die Werte eher der Situation bei 0 dB. Hier erreichen die Normalhörenden noch Werte um 62 % während die Hörgeschädigten nur noch 5 – 49 % der Sprache verstehen.

Cohen & Keith (1976, Zeile 15) konnten zeigen, dass die Sprachverständlichkeit nicht nur von der Schwere des Hörverlustes abhängt, sondern auch von dessen Ver-

lauf. Sie untersuchten unter anderem Personen mit flach verlaufendem Hörverlust (Gruppe C) und konnten zeigen, dass diese bei weitem nicht so stark beeinträchtigt werden, wie die Probanden mit ausgeprägten Hochton-Hörverlusten. Das Sprachverstehen nahm bei allen Gruppen mit Abnahme des Signal-Geräusch-Abstandes ab. Für die Personen mit Hochtonsteilabfall war dieser Effekt am stärksten und wurde über die Gruppe mit dem flachen Hörverlust zu den Normalhörenden hin geringer. Deutlich zeigt sich, dass schwerhörige Personen eine höhere Mithörschwelle haben, aber, dass dies vor allem für tieffrequenterer Geräusche gilt, die den Schall höherer Frequenzen verdecken (Aufwärtsverdeckung) (*Stelmachowicz et al.* 1985). Hier ist die Weitabverdeckung bei Schwerhörigen deutlich höher als bei dem Breitbandrauschen (Tabelle 4-3).

Tabelle 4-3 Mithörschwelle für Sprache (75%) bei Normalhörenden und Schwerhörigen (Sprachpegel $L_{SA} = 80 - 90$ dB)

	Signal-Geräusch-Abstand in dB	
	Tiefpass-Geräusch	Breitband-Geräusch
Normalhörende	-17,8	7,8
Schwerhörige	-2,4	10,7

Kinder

Watson (1965, Zeile 3) untersuchte die Sprachverständlichkeit von schwerhörigen Kindern, die ein flaches Audiogramm oder einen starken Abfall des Hörverlustes nach hohen Frequenzen hin (größer als 10 dB/Oktave) aufwiesen. Er stellte fest, dass die Sprachverständlichkeit durch Geräusche erheblich gestört wird. In Ruhe weisen alle Kinder eine Sprachverständlichkeit von $SV = 74 - 92$ % auf. Sobald aber die akustische Situation ähnlich der im Klassenzimmer ist ($L_{SNA} = 15$ dB), verstehen Kinder mit einem flachen Audiogramm (siehe Tab.: Gruppe A) noch $SV = 30 - 40$ % und Kinder mit steilen Hörverlustabfall (Gruppe B) nur noch $SV = 15 - 20$ %.

Erber (1971, Zeile 10) untersuchte stark schwerhörige Kinder mit einem weitgehend flachen Audiogramm. Sie benötigen einen um etwa 10 dB höheren Signal-Geräusch-Abstand, um die gleiche Verständlichkeit wie die Normalhörenden zu erreichen. Beispielsweise können die Normalhörenden bei einem $L_{SNA} = -10$ dB ein Sprachverstehen von $SV = 99$ % erreichen, während die hörgeschädigten Kinder für eine Versteheleistung von $SV = 98$ % einen Signal-Geräusch-Abstand von 0 dB benötigen. Allerdings darf bei dieser Messung nicht außer Acht gelassen werden, dass das gesamte Hörsystem von einem Störgeräuschpegel von 120 dB stark belastet wird und eventuell die Überlastung desselben zu diesen schlechten Leistungen geführt haben könnten.

Hohe Sprechpegel

Die bisher dargestellten Untersuchungen wurden mit einem meist mäßig lauten Sprachpegel von $L_{SA} = 55 - 70$ dB durchgeführt. Wird der Sprachpegel erhöht ($L_{SA} = 85 - 95$ dB, Tabelle 4-2, Zeile 2, 17, 21), so nimmt wie bei normalhörenden Personen

auch bei Schwerhörigen mit Hochtonverlusten ($L_{HVT} > 40$ dB bei $f > 3$ kHz) die Sprachverständlichkeit eher etwas ab. Die Abnahme der Verständlichkeit für Normalhörende liegt bei $SVS = 0 - 15$ % pro 10 dB Zunahme des Sprachpegels (Lazarus 1990). Im Gegensatz dazu verbessert sich für hohe Pegel die Verständlichkeit für Personen mit weit fortgeschrittenen Hörverlusten von $SVE = 30 - 48$ % auf $50 - 57$ % (Kryter & Williams 1962, Zeile 2: Gruppe C, D, C', D'). Dieser Zusammenhang zwischen Sprachpegel, Hörverlust und Verständlichkeit gilt in Ruhe wie auch unter Einfluss von Störgeräuschen.

Alter mit und ohne Schwerhörigkeit, sowie mit Geräuschen und Nachhall

Eine der ersten Untersuchungen, die sich zusätzlich mit dem Einfluss von Alter auf das Sprachverstehen beschäftigte, wurde von *Findlay & Denenberg* (1977, Zeile 16) durchgeführt.

Sie untersuchten das Sprachverstehen für Wörter (CID W-22) von Altersschwerhörigen (60 – 81 Jahre) und Lärmschwerhörigen (21 – 46 Jahre), die einen ähnlichen Hörverlust aufwiesen (Hörverlust von 50 dB oberhalb von 4 kHz). Die Sprache wurde 30 dB über dem individuellen Hörverlust für Sprache dargeboten und das Cocktailparty-Geräusch dazu mit einem Signal-Geräusch-Abstand von $L_{SNA} = -4$ dB.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Vergleich mit Normalhörenden das Sprachverstehen von Hörgeschädigten in Ruhe noch sehr gut ist. Die Normalhörenden erreichen ein Sprachverstehen von $SVE = 96$ % und die beiden hörgeschädigten Gruppen noch 94 %. Bei gleichzeitiger Präsentation eines Störgeräusches sinkt das Sprachverstehen für die Hörgeschädigten deutlicher ab, als bei den Normalhörenden ($SVE = 72$ %). Bemerkenswert ist hier die schlechtere Leistung der älteren Hörgeschädigten ($SVE = 49$ %) im Vergleich zu den jüngeren ($SVE = 59$ %).

Jokinen (1973, Zeile 12) erhielt in einer ähnlichen Untersuchung, bei der der Sprechpegel immer ausreichend (30 dB) über dem Hörverlust für Sprache in Ruhe (L_{HVS}) lag, folgende Ergebnisse: bereits in Ruhe ist das Sprachverstehen für Einsilber bei den beiden ältesten Probanden-Gruppen mit Hörverlust (Gruppen E und F) signifikant schlechter als das der jüngsten ohne Hörverlust. Während die Jüngsten noch 98% Sprache verstanden, wiesen diese bereits ein auf 92 % bzw. 86 % abgesunkenes Sprachverstehen auf. Mit zunehmendem Alter und Hörverlust nahm das Verständnis im Störgeräusch drastisch ab. Die Werte, die bei einem $L_{SNA} = 22$ dB erreicht werden, liegen zwischen $SVE = 94 - 80$ %. Bereits bei einem $L_{SNA} = 12$ dB sinkt das Sprachverstehen auf Werte zwischen 79 % und 54 % ab.

Anders betrachtet bedeutet dies, dass selbst wenn im Gespräch mit älteren Personen (Alter > 65 Jahre) schon um ca. 15 – 20 dB lauter gesprochen wird, muss das Störgeräusch um 5 – 10 dB gesenkt werden, um eine gleiche Wortverständlichkeit wie die bei jüngeren Personen (20 – 40 Jahre) zu erhalten. Weisen Personen eine altersbegleitende Schwerhörigkeit von $L_{HVT} = 20 - 60$ dB auf, so muss bei diesen Bedingungen das Geräusch bei einem Sprachpegel $L_{SA} = 62$ dB um 15 dB gesenkt werden, damit eine Sprachverständlichkeit ähnlich der von Normalhörenden erreicht werden kann.

Plomp & Mimpen (1979) fanden in einer Studie mit Satzmaterial und einem sprachähnlichen Störgeräusch, dass es eine Verminderung der Sprachverständlichkeit mit dem Alter gab, die unabhängig vom Ausmaß des Hörverlusts war. Sie fanden ebenfalls, dass der Hörverlust für Sprache in Ruhe und unter Lärm ab einem Alter von 50 Jahren zunimmt. Die gefundenen 2 – 10 dB scheinen nicht sehr groß. Dabei sollte aber bedacht werden, dass jedes dB im Signal-Geräusch-Abstand eine 5 – 10 prozentige Veränderung des Sprachverständlichkeitsscores bewirken kann.

Townsend & Bess (1980) erzielten in einer Studie mit einer jüngeren Gruppe (15–35 Jahre, $n = 56$) und einer älteren Gruppe (55 – 85 Jahre, $n = 139$) mit ähnlicher leichter Schallempfindungs-Schwerhörigkeit keine Unterschiede in der Sprachverständlichkeit zwischen den beiden Personengruppen in Ruhe und nur 5 % mit Störgeräusch. Dennoch zeichnen sich je nach Sprachmaterial, Personengruppen, Schwerhörigkeitskriterien und Fragestellungen unterschiedliche Ergebnisse zwischen jungen und alten Personen ab.

Die widersprüchlichen Ergebnisse und Interpretationen von Studien zur Auswirkung des Alters auf das Sprachverstehen führten dazu, das *Gordon–Salant* (1987, Zeile 21) in einer Studie versuchte die Auswirkungen des Alters auf das Sprachverstehen unabhängig vom Hörverlust zu erheben.

Dazu untersuchte sie insgesamt 40 Probanden, die zu je 10 Personen in 4 Gruppen unterteilt wurden. Dies waren junge und alte Normalhörende (Gruppe A und B) und Hörgeschädigte (Gruppe C und D), deren Sprachverstehen unter verschiedenen Bedingungen und mit verschiedenen Tests überprüft wurde.

Im ersten Experiment wurde die individuelle S/N-Schwelle gesucht, bei der die Probanden noch 50 % der Sprache (NU-6 bzw. MRT) verstehen konnten. Das Sprachmaterial wurde entweder bei $L_{SA} = 80$ dB oder bei $L_{SA} = 95$ dB präsentiert und dazu ein Störgeräusch, welches aus einem 12-Sprecher-Geräusch bestand.

Im zweiten Experiment wurde das Sprachmaterial wiederum bei Pegeln von $L_{SA} = 80$ dB bzw. $L_{SA} = 95$ dB präsentiert allerdings ohne Nebengeräusch.

Im dritten Versuch wurde das Sprachmaterial mit denselben Pegeln und zusätzlich mit dem 12-Sprecher-Geräusch und einem festen $L_{SNA} = 10$ dB dargeboten.

Auch ihre Ergebnisse zeigen, dass junge und ältere Hörer in ruhigen Bedingungen aber auch in einer Bedingung mit einem Hintergrundgeräusch keine deutlichen Leistungsunterschiede zeigen. Verwendet man allerdings Bedingungen, die mit adaptiver Einstellung des Signal-Geräusch-Abstandes arbeiten, zeigen sich die Auswirkungen des Alters und die der Hörverluste sehr deutlich. Die jungen Probanden konnten hierbei die 50 % Sprachverstehen durchgängig bei um 0 – 8 dB geringeren Signal-Geräusch-Abständen erreichen als die Älteren (Vergleich Spalte 5: A, C mit B, D). Schwerhörige benötigen einen um 5 – 16 dB höheren Signal-Geräusch-Abstand (Vergleich Spalte 5: A, B mit C, D).

Einen ähnlichen Ansatz verfolgten *Abel et al.* (1990, Zeile 24). Sie untersuchten Gruppen von alten und jungen Normalhörenden (Gruppe A, B) und Hörgeschädigten (Gruppe D, E) mit verschiedenen Konsonanten-Erkennungs-Tests (CCT, FAAF) mit sinnlosen Silben und einem Wörter-Test (MRT). Sie konnten feststellen, dass der CCT sehr gut geeignet zu sein scheint, Leistungsunterschiede zu erfassen, die aufgrund der Hörschwellenunterschiede entstehen. Dagegen kann der MRT, wenn er

bei einem Signal-Geräusch-Abstand von 8 dB durchgeführt wird, die Auswirkungen des Alters auf das Sprachverstehen gut abbilden.

In späteren Versuchsreihen konzentrierte sich *Gordon–Salant* darauf, spezifische Faktoren zu finden, die die schlechtere Diskrimination von älteren Personen erklären können.

Die Ergebnisse von *Gordon–Salant & Fitzgibbons* (1993, Zeile 33) weisen darauf hin, dass altersbedingte Faktoren zusätzlich zum Hörverlust für die verringerte Sprachverständlichkeit bei älteren Personen verantwortlich sind. Der Hörverlust und das Alter beeinflussen unabhängig voneinander die Defizite in der Sprachverständlichkeit. Diese Schlussfolgerung ist vor allem daraus zu ziehen, dass ohne Nachhall das Verstehen der verschiedenen Gruppen zwischen 87 und 98 % lag. In der Bedingung mit längstem Nachhall ($T = 0,6$ s) verstehen die jungen Normalhörenden noch 97 und 66 %, aber die älteren Normalhörenden nur noch 93 und 52 %. Die jungen Hörgeschädigten verstehen bei der langen Nachhallzeit (0.6 s) genauso viel wie ältere Normalhörende (52 %). Die älteren Hörgeschädigten zeigen unter dieser Bedingung ($T = 0.2$ und 0.6 s) die schlechteste Leistung mit 79 und 28 %.

Diese Ergebnisse machen vor allem deutlich, dass geringe Nachhallzeiten, die bei Normalhörenden nur einen geringen Einfluss haben, bei Älteren und Schwerhörigen die Sprachverständlichkeit gravierend mindern.

In der Studie von 1995 untersuchten *Gordon–Salant & Fitzgibbons* (Zeile 38) ihre Annahme, dass ältere Personen einen reduzierten funktionalen Signal-Geräusch-Abstand aufweisen.

Dazu teilten sie die Probanden jeweils den Gruppen jung-normalhörend (Gruppe A), alt-normalhörend (B), jung-hörgeschädigt (C) und alt-hörgeschädigt (D) zu. Die Normalhörenden und die Hörgeschädigten untereinander sollten sich dabei möglichst wenig in ihren Hörverlusten unterscheiden.

Diesen Gruppen wurden dann Sätze mit niedriger Vorhersagewahrscheinlichkeit (SPIN–R, niedrige VW) bei einem durchgängigen Pegel von $L_{SA} = 87$ dB per Kopfhörer dargeboten. Das Störgeräusch (12-Sprecher-Geräusch) wurde variiert, um verschiedenen Signal-Geräusch-Abstände realisieren zu können.

Es wurde zum einen untersucht, bei welchem S/N-Verhältnis ein Sprachverstehen von SVS = 50 % möglich ist, zum anderen wurde auch das prozentuale Sprachverstehen bei verschiedenen Signal-Geräusch-Abständen erhoben. Zusätzlich wurden Bedingungen realisiert, in denen das Sprachverstehen in Ruhe durch verschiedene Kompressionen und Nachhallzeiten gestört wurde.

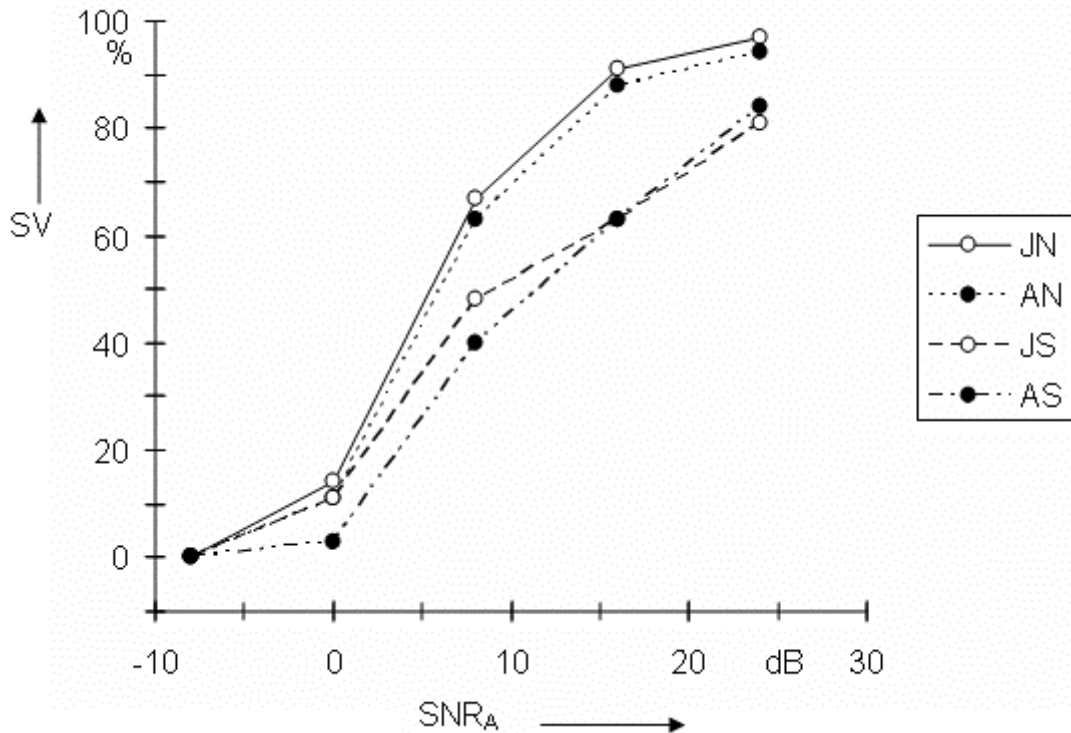


Abbildung 4-6 Sprachverständlichkeit (SV in %) mit niedriger Vorhersagewahrscheinlichkeit (nVW) für normalhörende und schwerhörige, jüngere und ältere Personen (JN, AN, JS, AS); bei einem Sprechergeräusch (12 Sprecher) und einem Pegel von $L_{SA} \approx 87$ dB (nach *Gordon-Salant & Fitzgibbons 1995*, Zeile 38)

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Hörverluste den entscheidenden Einfluss auf den Diskriminationsverlust haben (Abbildung 4-6).

Die Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass die Probleme der älteren Personen beim Verstehen von Sprache vor allem durch den Anstieg des neuralen Grundrauschens aufgrund von altersbedingten Veränderungen im zentralen Nervensystem zurückzuführen sind. Dies ist daran erkennbar, dass das Verstehen im Störgeräusch (speziell bei schlechten S/N-Verhältnissen) deutliche Alterseffekte aufwies, während Nachhall und Kompression einen allgemeinen altersunabhängigen negativen Einfluss auf das Sprachverstehen hatten.

1997 untersuchten dieselben Autoren zusätzlich die Einflüsse von Gedächtnis und Sprechrate auf das Sprachverstehen. Die Hypothese, dass eine verlangsamte Sprechrate einen Vorteil für die älteren Hörer ergeben könnte, bestätigte sich in dieser Untersuchung nicht. Auch ließen sich für die älteren Personen bei dem verwendeten $L_{SNA} = 16$ dB keine Alterseinflüsse mehr zeigen, wenn anstelle des gesamten Satzes mit geringer Vorhersagewahrscheinlichkeit nur noch das letzte Wort zu wiederholen war. Das lässt vermuten, dass ebenfalls eine verringerte Gedächtniskapazität mitverantwortlich für das geringere Sprachverstehen sein könnte (*Gordon-Salant & Fitzgibbons 1997*, Zeile 40).

Für das hier vor allem interessierende Gestaltungspotential zeigen die Untersuchungen von *Gordon–Salant* (Zeilen 21, 33, 38, 40), dass jeweils die Sprachverständlichkeit der jungen und älteren Schwerhörigen gegenüber der der Normalhörenden durch Geräusche und Nachhall deutlich absinkt. Der Signal-Geräusch-Abstand, der benötigt wird, um bei erhöhter Hörschwelle und höherem Alter die gleiche Sprachverständlichkeit wie bei jungen Normalhörenden zu erreichen, hängt natürlich wesentlich vom Ausmaß des Hörverlustes, aber auch vom Alter ab. Bei den aufgeführten Untersuchungen lag dieser Signal-Geräusch-Abstand, um eine Sprachverständlichkeit wie bei jungen Normalhörenden zu erreichen, bei etwa 5 – 10 dB. Außerdem lässt sich daraus ableiten, dass man bei Sprache, die zeitliche Verzerrungen aufweist, die Sprachverständlichkeit nur bedingt durch einen höheren Sprachpegel verbessern kann.

Während *Gelfand et al.* (1988, Zeile 22) jeweils nur einen Teil der Sätze des SPIN verwendeten, verbanden *Pichora–Fuller et al.* (1995, Zeile 39) die Erkenntnisse über die Sprachverständlichkeit, die sie aus hochredundanten (hohe VW) und unvorhersehbaren (niedrige VW) Sätzen zogen. Sie konnten zeigen, dass die älteren Schwerhörigen den höchsten Verständnis-Zuwachs im Vergleich zu älteren und jüngeren Normalhörenden aufwiesen, wenn von unvorhersehbaren (niedrige VW) auf redundante (hohe VW) Sätze gewechselt wurde. Die Autoren deuten dieses Ergebnis dahingehend, dass ältere Hörgeschädigte aufgrund der vorhandenen Einschränkungen im Sprachverstehen am geübtesten sind, Kontextinformationen in schwierigen Hörsituationen zu nutzen. Dies zeigt, wie die Auswahl von Sätzen und Texten sinnvoll genutzt werden kann, um mit alten, schwerhörigen Personen umzugehen. Will man jedoch gleiche Gegebenheiten schaffen, die weitgehend für alle Personen gleichermaßen nutzbar sind, kann man aus den vorliegenden Daten (Zeilen 22, 39) recht gut ableiten, dass für leichte Texte (hohe VW) durch eine Erhöhung des Signal-Geräusch-Abstandes um 5 dB die Sprachverständlichkeit der schwerhörigen älteren Personen an die der jungen Normalhörenden angeglichen werden kann. Bei schwierigen Texten (niedrige VW) ist eine Erhöhung des Signal-Geräusch-Abstandes um ca. 10 dB erforderlich.

Helper & Wilber (1990, Zeile 27) untersuchten den Einfluss von Störgeräuschen und Nachhall auf das Verstehen sinnloser Silben (NST).

Dazu nutzten sie Sprachsets, die in 4 verschiedenen Nachhallbedingungen ($T = 0$ s, 0,6 s, 0,9 s und 1,3 s) jeweils mit einem Cafeteria-Geräusch ($L_{SNA} = 10$ dB) oder in Ruhe in einem speziellen Raum aufgenommen worden waren. Diese Aufnahmen wurden dann den Versuchspersonen 50 dB über der individuellen Hörschwelle für Töne mittels Kopfhörer dargeboten.

Es wurden 4 Gruppen zu je 8 Personen untersucht: zwei Gruppen junger Leute (< 36 Jahre) mit normalem Gehör (Gruppe A) bzw. geschädigtem Gehör (Gruppe C) und zwei mit älteren Personen (> 60 Jahre) zum einen mit minimal geschädigtem Gehör (Gruppe B) und zum anderen Hörgeschädigte mit einem deutlichen Hörverlust (Gruppe D).

Allgemein nahm die Verständlichkeit in Ruhe mit zunehmendem Nachhall ab und verschlechterte sich bei allen Gruppen noch weiter durch das Cafeteria-Geräusch. Die höchste Verständlichkeit erreicht über alle Bedingungen die Gruppe der jungen

Normalhörenden, gefolgt von den älteren mit geringem Hörverlust. Interessanterweise korrelierte die Verstehensleistung unter Nachhall und Störgeräusch stark negativ mit dem Alter. Dieses Ergebnis ist vor allem auf den großen Unterschied zwischen jungen Normalhörenden und älteren minimal Hörgeschädigten zurückzuführen.

Vor allem scheint aber der Hörverlust entscheidend für die geringere Verstehensleistung zu sein, wobei andere Einflüsse, die mit dem Alter zusammen hängen könnten, nicht ausgeschlossen werden können.

In ihrer Studie untersuchten *Helfer & Huntley* (1991, Zeile 29) mit einem ähnlichen Versuchsaufbau das Verstehen sinnloser Silben unter verschiedenen Bedingungen.

Hier wurden 3 Gruppen von Probanden untersucht: je 8 junge Normalhörende (Gruppe A), Ältere mit geringen (Gruppe B) und mit mittleren (Gruppe C) Hörverlusten.

Interessant war hier das deutlich schlechtere Abschneiden der Älteren mit geringen Hörverlusten im Vergleich zu dem der jungen Normalhörenden in der Bedingung mit Nachhall. Die Auswirkungen waren wesentlich größer, als es der Hörverlust allein hätte erwarten lassen.

Die Verbindung von überschwelligen Maskierungsschwellen für Töne und der Mithörschwelle für Sprache versuchten *Halling & Humes* (2000) zu klären. Sie haben für junge und ältere Personen die Schwelle für moduliertes (entsprechend der Sprache) und unmoduliertes Rauschen mit zwei Sprachtests in drei Raumsituationen (Nachhall 0, 1s, 3s) gemessen (Tab. 4-4). Man erkennt, dass die mittlere Differenz zwischen der Schwelle für moduliertes und unmoduliertes Rauschen für Schwerhörige (3 – 11 dB) gegenüber den Normalhörenden (18 – 24 dB) in der Raumsituation (T = 0s) sehr gering wird.

Obwohl die Differenz der unmodulierten und modulierten Hörschwellen sowohl bei den Schwerhörigen (2 – 11 dB), als auch in der halligen Situation (2 – 8 dB) sehr gering ist, nimmt die Sprachverständlichkeit nur bevorzugt bei Schwerhörigen in der halligen Situation (T = 3s) ab (2% und 24%). Wie die Analyse der Ergebnisse zeigt bestimmt die Ruhe-Hörschwelle weitgehend die Qualität der Sprachverständigung. Die Korrelation liegt in allen drei Raumsituationen für beide Sprachmaterialien bei 0,5 – 0,95. Defizite im überschwelligen Bereich, obwohl sie mit dem Alter verbunden sind, tragen sie nur in einem geringeren Ausmaß zur Veränderung der Sprachverständlichkeit bei. Das Alter spielt nur eine geringe Rolle.

Tabelle 4-4 Maskierung von Tönen (oben), Differenz der Hörschwellen für Töne (mittig), Hörschwelle für Sprache (unten): Hörschwellen für Sinustöne (0,5, 1, 2, 4kHz) in Ruhe und bei Geräuschen (WR unmoduliert, WR/4 moduliert ($m = 100\%$, 4Hz); mittlere Differenz der Hörschwellen für unmoduliertes und moduliertes Rauschen ($f_{\text{mod}} = 0,4 - 32\text{Hz}$) und Hörschwelle für Sprache in drei Raumsituationen ($T = 0, 1, 3\text{s}$) für die Gruppen junge (22 – 24 Jahre) und ältere (67 – 81 Jahre) Normalhörende (JN, AN) und ältere Schwerhörige (68 – 81 Jahre, AS)

	Hörschwelle für Töne in dB					
Gruppe	JN	AN	AS	JN	AN	AS
Töne	0,5kHz			4kHz		
Ruhe	13	21	41	18	22	66
WR	53	54	58	58	61	69
WR/4	32	34	45	32	37	66
	mittlere Differenz der unmod. und mod. Hörschwellen					
Töne	0,5kHz			4kHz		
T = 0s	20	18	11	24	22	3
T = 1s	8	7	7	13	14	3
T = 3s	4	4	4	8	5	2
	Hörschwelle für Sprache in %					
Sprache	sinnl. Silben			Sätze		
T = 0s	95	92	73	98	98	90
T = 1s	83	78	45	67	45	11
T = 3s	58	48	24	15	5	2

Für ältere Personen sind drei Aspekte maßgebend (*Halling & Humes 2000*) die beeinträchtigt sein können: das periphere Hörsystem, gegeben durch Defizite an der Ruhehörschwelle und im überschwelligen Bereich (d.h. bei der Frequenz- und Zeitauflösung), das zentrale Hörsystem und die kognitiven Möglichkeiten.

Eine größere Untersuchung, in der die Leistung, die diese drei Aspekte gut repräsentieren, bei 50 Personen (63 – 83 Jahre) erhoben und miteinander verglichen wurde, ergab, dass die Ruhe-Hörschwelle die wesentliche Einflussgröße war. Sie klärte 70 – 75% der totalen Varianz bei der Spracherkennung auf; Tests, die dem zentralen Hörsystem und der kognitiven Funktion zuzurechnen sind, haben kaum einen Einfluss (*Humes et al. 1994*). Die meisten anderen, älteren Untersuchungen unterstützen dieses Ergebnis (*van Rooij et al. 1989, Helfer & Wilber 1990, Humes & Roberts 1990, van Rooij & Plomp 1990, Humes & Christopherson 1991, Jerger et al. 1991, van Rooij & Plomp 1992, Souza & Turner 1994, Divenyi & Haupt 1997a, 1997b, 1997c*).

Häufig wurde gezeigt, dass die Defizite bei der Frequenz- und Zeitauflösung im überschwelligen Bereich die Ursache für Defizite bei der Hörbarkeit sind (*Wightman et al. 1977, Fitzgibbons & Wightman 1982, Tyler et al. 1982a, b*), andere betonen

eher den Einfluss der Hörschwelle (*Humes et al.* 1988, *Dubno & Schäfer* 1992). Sicher ist, dass für die Verarbeitung von Sprachsignalen die Information, die in der Hüllkurve des Sprachsignals steckt, erkannt und dekodiert werden muss (*Horii et al.* 1971, *Houtgast & Steeneken* 1972, *van Tasell et al.* 1987, *Shannon et al.* 1995, *Turner et al.* 1995, *van Tasell & Trine* 1996).

Insofern wurden bei älteren und schwerhörigen Personen vorwiegend temporale Prozesse wie zeitliche Integration, Vor- und Nachverdeckung und Erkennung von zeitlichen Löchern untersucht (*Formby* 1982, *Bacon & Viermeister* 1985, *Florentine et al.* 1988, *Grose et al.* 1989, *Nelson & Pavlov* 1989, *Moore et al.* 1992, *Cobb et al.* 1993, *Halling & Humes* 2000). All diese Untersuchungen zeigen, dass ältere Personen (gegenüber Jüngeren) und schwerhörige Personen (gegenüber Normalhörenden) deutliche Verluste bei der temporalen Verarbeitung von Schallsignalen und Sprache haben.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Einflüsse des Alters und der Schwerhörigkeit nicht klar zu trennen sind. Durch einen hohen Signal-Geräusch-Abstand und eine geringe Nachhallzeit kann der Einfluss von Alter und Ruhehörschwelle weitgehend kompensiert werden. Eine Erhöhung des Signal-Geräusch-Abstandes um 0 – 4 dB ist für den Ausgleich des Alters und 3 – 10 dB für die Kompensation der Schwerhörigkeit (je nach Ausmaß des Hörverlustes) erforderlich: ältere schwerhörige Personen benötigen – insbesondere bei schwierigen Worten und Texten – ein um 10 dB höheren Signal-Geräusch-Abstand, um die gleiche Sprachverständlichkeit wie die jungen Normalhörenden zu erreichen.

Besonders deutlich zeigt sich der Einfluss des Alters und der Hörschäden bei zeitlich veränderlichen Geräuschen. Bei jungen Normalhörenden kann der Signal-Geräusch-Abstand für zeitlich veränderliche Geräusche um bis zu 4 – 7 dB geringer sein, damit die gleiche Sprachverständlichkeit (SV = 50 %) wie bei einem zeitlich konstanten Geräusch erzielt wird. Bei älteren Schwerhörigen beläuft sich dieser Gewinn nur auf maximal 1,5 dB (*Peters et al.* 1998, Zeile 41)

Richtungshören bei Schwerhörigkeit

Neben den bisher beschriebenen Leistungen des Gehörs bei der Verarbeitung von Intensitäts-, Frequenz- und Zeitmustern im auditorischen System ist die binaurale Interaktion, d.h. die zentral stattfindende Verarbeitung der an beiden Ohren anliegenden Signale von besonderer Wichtigkeit für das Hören in natürlicher Umgebung. Es trägt zur Lokalisation von Schallquellen im Raum und zur Unterdrückung von unerwünschten Störgeräuschquellen und zur Hallunterdrückung bei. Der von einer Schallquelle (die im Raum an einem bestimmten Punkt positioniert ist) ausgesendete Schall trifft mit einem bestimmten Einfallswinkel auf den Kopf und die Ohren des Hörers. Dieser Schalleinfall bewirkt eine interaurale Zeitdifferenz, einen interauralen Intensitätsunterschied sowie eine von der Einfallsrichtung abhängige spektrale Verfärbung und befähigt so den Hörer, die Richtung festzustellen, aus der der Schall von der Schallquelle eintrifft. Gleichzeitig kann der Hörer das Nutzsignal (Sprache) und das Störsignal (Geräusche ein oder mehrerer Quellen) trennen, soweit sie aus unterschiedlichen Richtungen eintreffen, und den wirksamen Signal-Geräusch-Abstand verbessern. Ist diese Wahrnehmungsleistung für bestimmte Frequenzbereiche durch

eine Schwerhörigkeit in einem oder in beiden Ohren gestört, hat dies Auswirkungen auf die Parameter der binauralen Interaktion und kann somit das Richtungshören beeinträchtigen.

Können ältere Personen noch genauso vom beidseitigen Hören profitieren wie Normalhörende? Dieser Frage ging *Duquesnoy* (1983, Zeile 20) nach und untersuchte die Effekte von störenden kontinuierlichen oder fluktuierenden Geräuschquellen auf die beidseitigen Mithörschwellen für Sätze im freien Schallfeld.

Stichprobe waren 20 ältere und 10 junge Personen, die mit den 10 Listen bestehend aus 13 Sätzen getestet wurden. Das Störgeräusch hatte dabei das gleiche mittlere Spektrum wie die Sprache. Getestet wurden verschiedene Hörbedingungen: beidseitige und einseitige Mithörschwellen für Geräusche bei 0° und 90° . Die Sprache wurde immer frontal (0°) dargeboten. Als Störgeräusche wurden ein konstantes Geräusch, Sätze und rückwärts vorgespielte Sätze verwendet.

Ergebnisse dieser ausführlichen Messungen waren: Auch ältere Menschen mit moderaten Tonhörverlusten (bei 0,5 – 2 kHz = 25 dB) sind in täglichen Hörbedingungen beeinträchtigt. Der Gewinn durch das Richtungshören (Sprache/Geräusch $0^\circ/90^\circ$ gegenüber $0^\circ/0^\circ$) liegt für die drei Geräuscharten für Normalhörende bei 5 – 9 dB und für die Älteren mit Hörverlust bei 3 – 4 dB. Der Vorteil einer Bewegung der Sprachquelle oder des Interferenzgeräusches in einer lateralen Position ist für junge Hörer größer als für Ältere. Das kann ein Hinweis für die schlechtere auditive Abstandswahrnehmung unter Älteren sein, die vielleicht durch die höherfrequenten Hörverluste entsteht.

Bronkhorst & Plomp (1988, 1989, Zeile 23) untersuchten in ihrer Studie den Einfluss von symmetrischen und asymmetrischen Hörschäden auf die Sprachverständlichkeit bei beidseitigem Hören.

Die Gruppen bestanden aus Personen mit symmetrischen Hörschäden (interauraler Unterschied < 6 dB) und asymmetrischen Hörschäden (interauraler Unterschied 5 – 31 dB). Das Sprachmaterial waren Sätze, die von vorne dargeboten wurde (0°). Dazu wurde ein Sprach-Geräusch mit einem sprachähnlichen Spektrum, aus einem Winkel von 0° , 30° und 90° präsentiert. Zum Vergleich der Sprachverstehensleistung wurden für alle Probanden die Mithörschwellen erhoben. Das Geräusch wurde so dargeboten, dass der Einfluss der interauralen Zeitverzögerung und Intensitätsunterschiede der Geräusche getrennt betrachtet werden konnte.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Schwerhörigen nicht so viel davon profitieren konnten, wenn Störgeräusch und Sprachquelle separiert wurden (Sprache: 0° , Geräusch 90°). Während die Normalhörenden dann bei einem nahezu 10 dB geringeren Signal-Geräusch-Abstand genauso viel verstehen konnten wie in der Situation, in der beide Schallquellen frontal bei 0° vor den Probanden stehen, muss für die Schwerhörigen der Pegel des Störgeräuschs maximal 7 dB lauter sein, um das selbe Ergebnis zu erreichen.

Betrachtet man den Einfluss der binauralen Situation getrennt, so scheint es, als ob Hörgeschädigte im Vergleich zu Normalhörenden die interauralen Intensitätsunterschieden weniger gut nutzen können. Dies galt aber nicht für die interaurale Zeitverzögerung, von der sie genauso profitieren wie Normalhörende.

Zusätzlich wurden Hörer mit einem asymmetrischen Hörverlust betrachtet. Sie profitieren ebenfalls geringer von interauralen Zeitverzögerungen, wenn sie als einzelner Hinweis dargeboten wurde. Dieses Problem entsteht hauptsächlich durch Hörschwelleneffekte (hohe Frequenzen sind tendenziell stärker beeinträchtigt) und die verhältnismäßig starke Beugung derselben Frequenzen am Kopf.

Bronkhorst & Plomp (1992, Zeile 31) untersuchten zum einen die Auswirkung von Richtung und zum anderen die Anzahl der Störquellen (Sprecher) auf das Sprachverstehen. Die Störquellen (Sprecher) wurden durch nichtkohärente sprachmodulierte Geräusche nachgebildet.

Hier wurden nicht, wie in vielen Untersuchungen, extreme Richtungssituationen (z.B. $0^\circ/0^\circ$ mit $0^\circ/90^\circ$) verglichen, sondern es wurden die Störquellen (Sprecher) entweder alle frontal (0°), asymmetrisch (90°) oder symmetrisch um den Kopf, d.h. z.B. bei sechs Geräuschen jeweils drei rechts (bei $30^\circ/90^\circ/120^\circ$) und links (bei $330^\circ/270^\circ/240^\circ$) verteilt.

Es zeigt sich insgesamt, dass alle Hörer davon profitieren, wenn die Störgeräusche aus einer anderen Richtung als die Sprache kommen, die Hörgeschädigten aber in einem geringeren Ausmaß als die Normalhörenden. Liegt nur eine einzige Geräuschquelle vor und wechselt diese von vorn (0°) zur Seite (90°), gewinnen die Normalhörenden 8 dB, die Schwerhörigen nur 6 dB. Während Normalhörende für die symmetrisch verteilten Geräusche gegenüber den frontal eintreffenden, bei dem Zwei-Sprecher-Geräusch, einen Vorteil von 4,5 dB haben, liegt dieser bei den Schwerhörigen nur bei 2,5 dB. Bei dem nahezu konstanten Geräusch (4 – 6 Sprecher) verschwindet dieser Unterschied fast: Normalhörende 1,5 – 2 dB gegenüber Schwerhörigen 1 – 1,5 dB.

In ihrer Studie untersuchten *Pröschel & Döring* (1992) richtungsabhängiges Sprachverstehen in Abhängigkeit von einer Störung der auditiven Selektionsfähigkeit. Bei einer Störung der auditiven Selektionsfähigkeit kann ein interessierendes Schallsignal nicht oder nur unzureichend von konkurrierenden Schallereignissen abgegrenzt werden. Die auditive Selektionsfähigkeit ist eng mit der Fähigkeit des Richtungshörens verbunden.

Deshalb wurde in der Studie das richtungsabhängige Sprachverständnis unter Störchalleinfluss bei Normalhörenden (HVT (0,25 – 6 kHz) < 20 dB), mit ($n = 43$) und ohne ($n = 19$) Störung der auditiven Selektionsfähigkeit sowie bei Personen mit geringgradiger, seitengleicher Innenohrschwerhörigkeit im Hochtonbereich ($n = 11$) (HVT (0,25 – 6 kHz) < 40 dB) untersucht (Gesamt $n = 73$). Das Störgeräusch hatte das Langzeitspektrum der Sprachsignale und wurde konstant von hinten appliziert. Die Sprachsignale (Einsilber des Hörtests für Sprache nach DIN 45621) wurden aus sechs verschiedenen Richtungen im Winkelabstand von 60° dargeboten.

Es zeigte sich, dass mit zunehmender Schwerhörigkeit auch das Sprachverständnis bei Störgeräuschen stärker gestört war. Dies galt in erster Linie für die Richtungen außerhalb der Medianebene und wurde besonders deutlich, wenn man die Verständlichkeitswerte aus den verschiedenen Richtungen relativ zu der Richtung betrachtete, bei der Nutz- und Störsignal vom selben Ort ausgingen (BILD = Binaural Intelligibility Level Differences). Auch die Personen, die trotz normaler Hörschwelle über Störun-

gen der auditiven Selektionsfähigkeit klagten, zeigten ein individuell mehr oder weniger stark gestörtes Sprachverständnis unter Störschalleinfluss. Sie unterschieden sich in dieser Hinsicht im statistischen Vergleich nicht von den Probanden mit mäßigen Hochtonschwerhörigkeiten. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass neben Störungen in der binauralen Hörverarbeitung auch cochleare Läsionen im Hochtonbereich, die im Tonschwellenaudiogramm noch nicht in Erscheinung treten, bereits Störungen der auditiven Selektionsfähigkeit bewirken können.

Genauer betrachtet ist der Gewinn durch den interauralen Intensitätsunterschied verringert, was hauptsächlich durch Hörschwelleneffekte zu entstehen scheint. Jedoch zeigen Personen, die von Schwierigkeiten der auditiven Selektionsfähigkeit berichten, aber keinen sichtbaren Hörverlust aufweisen, auch Störungen in der binauralen Interaktion. Der Gewinn durch die interaurale Zeitverzögerung variiert bei Hörgeschädigten zwischen 0 dB und normalen Werten (7 dB und mehr). Besonders nachteilig scheint hier eine asymmetrische Störung zu sein.

Humes & Roberts (1990, Zeile 28) verglichen in ihrer Studie die Leistungen von älteren Hörgeschädigten und jungen Normalhörenden.

Dafür wurde das Sprachverstehen in Ruhe und bei einem S/N-Verhältnis von 5 dB erhoben. Des Weiteren wurden Hörbedingungen mit und ohne Nachhall und mit verschiedenen Geräuschpositionen (Sprache immer von vorn; dazu Störgeräusch ebenfalls von vorn und von 90°) realisiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer Nachhallzeit von 3 s die Trennung der Sprache (0°) und Geräusche (90°) selbst für die Normalhörenden verschwindet (die SV liegt bei beiden bei 71 %). Bei den Hörgeschädigten ist ein Gewinn durch das Richtungshören (Geräusch: 90° gegen 0°) durchaus vorhanden, bei einer Nachhallzeit von 3 s ergibt sich aber kein Gewinn, sondern ein Verlust (24 % gegenüber 30 %).

Die Untersuchung von *Ter-Horst et al.* (1993, Zeile 34) geht der Frage nach, welchen Vorteil Normalhörende und Hörgeschädigte daraus ziehen können, wenn die Störgeräuschquelle systematisch entweder horizontal oder vertikal von der Sprachquelle (Sprecher) entfernt wird.

In der Tabelle 4-2 sind unter A und B die Störgeräuschpositionen 18° und 54° auf horizontaler Ebene und unter C und D auf vertikaler Ebene angegeben.

Als Störgeräusch wurde ein Geräusch mit sprachähnlichem Spektrum mit einem Pegel von $L_{NA} = 55$ dB bzw. für die Hörgeschädigten, in der ihnen angenehme Lautstärke (MCL) verwendet. Als Sprachmaterial dienten Sätze in unterschiedlicher Lautstärke.

Es zeigte sich auch, dass die Hörgeschädigten für 50 % Sprachverstehen zu einem wesentlich höheren Signal-Geräusch-Abstände benötigen als die Normalhörenden und zum anderen von der Trennung zwischen Störgeräusch- und Sprachquelle nicht im selben Maße profitieren wie diese. Die Normalhörenden können bei einem um 2,3 bzw. 2,5 dB schlechteren Signal-Geräusch-Abstand weiterhin 50 % Sprache verstehen, wenn sich das Störgeräusch von 18 auf 54° weiter entfernt, während die Hörgeschädigten dies nur bei maximal 1 bzw. 2 dB leiserer Sprache konnten.

Tabelle 4-5 Mithörschwelle (SNR_A) für Sätze gestört durch ein Sprecher-Geräusch (12 Sprecher) für Normal- und Schwerhörige (HVT (0,25 – 4 kHz) = 14 – 60 dB)

S/N	SNR_A in dB		
	Normalhörende		Schwerhörige
	< 40 J	> 55 J	
0°/0°	-2	0	3
0°/90°	-8	-5	0

Bei einer Analyse des Richtungshören (*Gelfand et al.* 1988) zeigt sich, dass die Mithörschwelle sich für ältere Personen (mit einem normalen Gehör) nur wenig ändert, das aber bei Schwerhörigen sowohl die Mithörschwelle (gegenüber Normalhörenden) absinkt, als auch der Vorteil des Richtungshören sich halbiert (Tab 4-5). Die Autoren schließen auf einen stärkeren Einfluss der peripheren als der zentralen Funktion.

Zusammenfassend zeigt sich, dass Hörgeschädigte demnach einen geringeren Vorteil durch binaurale Hörsituationen gegenüber Normalhörenden haben. Der Gewinn durch eine Verschiebung der Geräuschquelle um 90° (Sprache weiter von vorne 0°) resultiert bei Schwerhörigen in einem 2 – 5 dB kleineren binauralen Gewinn als bei Normalhörenden. Dabei zeigen sich die Nachteile von Hörgeschädigten besonders für Richtungen außerhalb der Medianebene und bei zeitlich fluktuierenden Geräuschen.

Zeitlich fluktuierende Geräusche

Das Spektrum eines stationären, für die Wahrnehmung zeitlich konstanten Geräusches und sein Einfluss auf die Sprachverständlichkeit ist sehr umfangreich untersucht worden. Das trägt vor allem der Tatsache Rechnung, dass beim Wahrnehmen von Sprache die Intensität der spektralen Verteilung der Sprache und des Geräusches miteinander interferieren. Schwieriger und nur wenig untersucht ist die Beeinflussung der Sprachverständlichkeit durch die Zeitstruktur von Geräuschen. Dabei sind gerade Verkehrsgeräusche, Bürogeräusche und störende Sprachgeräusche stark durch ihre zeitliche Struktur geprägt und nur in den seltensten Fällen haben sie einen konstanten Pegelverlauf, wie er in Untersuchungen zum Spektrum vorausgesetzt ist.

Als weiterer Parameter der störenden Geräusche gilt die Informationshaltigkeit. Sie ist sicher stark mit dem zeitlichen Verlauf des Geräusches verbunden, könnte aber doch einen eigenen Parameter darstellen.

Der Zeitverlauf von nicht verständlicher Sprache oder auch rückwärts abgespielter Sprache, wobei diese keine Informationen (für den Hörer) enthalten, ist ähnlich dem Zeitverlauf der Sprache. So werden in den weiteren Untersuchungen vor allem folgende Geräusche benutzt:

- sprachähnliche Geräusche (Rauschen mit einem sprachähnlichem Spektrum, das dem Langzeitspektrum der Sprache ähnlich ist; konstanter Pegelverlauf)
- sprachmoduliertes Geräusch (bei dem der zeitliche Verlauf der Hüllkurve dem der Sprache ähnlich ist)
- Sprecher-Geräusch (das aus natürlich gesprochener Sprache mit einem bis 12 Sprechern besteht)

Setzt man gleiche Schallintensität, d.h. gleichen A-bewerteten Dauerschallpegel (L_{Aeq}) voraus, hat das Geräusch mit einem konstanten Pegelzeitverlauf gegenüber einem Pegel, der zeitlich schwankt, den höheren Maskierungscharakter. Bei zeitlich schwankenden Pegeln (sprachmoduliertes Geräusch, Verkehrsgeräusch etc.) ist in den mehr oder weniger langen Perioden mit niedrigen Pegeln, die Sprache besser zu verstehen und somit insgesamt der Maskierungscharakter geringer. Enthält das Geräusch Informationen (verstehbare Sprache), kann der Hörer von der eigentlichen Aufgabe, Sprache zu verstehen, noch zusätzlich abgelenkt werden.

In früheren Untersuchungen wurde schon beobachtet, dass für sprachähnliches Geräusch (konstanter Pegel, sprachähnliches Spektrum) die Mithörschwelle bei mäßig Schwerhörigen um 2 bis 5 dB zunimmt (*Glasberg & Moore 1989, Plomp 1994*), dass jedoch dieser Unterschied sehr deutlich zunimmt, wenn ein zeitlich schwankendes Geräusch benutzt wird; wenn das Geräusch ein Sprechgeräusch (ein Sprecher) (*Carhardt & Tillmann 1970, Duquesnoy 1983, Hygge et al. 1992, Moore et al. 1995*), ein rückwärts abgespieltes Sprechgeräusch (*Duquesnoy 1983*) oder ein sprachmoduliertes Geräusch (*Duquesnoy 1983, Takahashi & Bacon 1992, Eisenberg et al. 1995*) war, lag der Unterschied zwischen den normalhörenden und schwerhörigen Personen bei 7 bis 15 dB. Der Grund für diesen Anstieg der Mithörschwellen liegt daran, dass die schwerhörigen Personen offenbar den Vorteil der zeitlichen Lücken (Clips) im Störgeräusch für das Verstehen von Sprache nicht nutzen können (*Duquesnoy 1983, Festen 1987 a, b, Festen & Plomp 1990, Hygge et al. 1992, Moore et al. 1995*).

Schwerhörige zeigen generell eine reduzierte zeitliche Auflösung. Die reduzierte Möglichkeit, zeitliche „Löcher“ im Störgeräusch zum Vorteil der Sprachdiskrimination zu nutzen, wird hiermit zusammenhängen (*Festen 1987 a, b, Glasberg et al. 1987, Moore & Glasberg 1988, Festen & Plomb 1990, Glasberg & Moore 1992, Festen 1993, Moore 1995*). In gleicher Weise wird die reduzierte Fähigkeit von Schwerhörigen „Löcher“ im Spektrum von Störgeräuschen zu nutzen mit dem geringen Vermögen der Frequenzselektion in Verbindung gebracht (*Glasberg & Moore 1986, Tyler 1986, Moore 1995*).

Schon vor 20 Jahren konnte *Duquesnoy (1983, Zeile 20)* zeigen, dass ältere Personen mit üblichen Tonhörverlusten den Vorteil von fluktuierenden Geräuschen weniger nutzen können als junge Normalhörende. Der vernachlässigbare Effekt für Junge und Alte beim Rückwärtsspielen der Sätze lässt vermuten, dass es die physischen Aspekte des Interferenzsignals sind, die entscheidend sind und nicht psychologische wie die Störung durch gleichzeitige Verständlichkeit von „wettstreitenden“ Sätzen. Ältere Personen, obwohl sie für ihr Alter normale Tonhörverluste aufweisen, profitieren kaum (nur 0 bis 1 dB) von den stillen Intervallen in interferierender Sprache, wohingegen Junge 3 bis 7 dB relativ zu kontinuierlichen Störgeräuschen gewinnen.

Festen & Plomp (1990, Zeile 25) untersuchten in ihrer Studie den Einfluss verschiedener Störgeräusche auf das Sprachverstehen von Normalhörenden und Hörgeschädigten.

Als Störgeräusch verwendeten sie ein konstantes Geräusch mit sprachähnlichem Spektrum, ein sprachmoduliertes Geräusch und ein 1-Sprecher-Geräusch mit einem jeweiligen Pegel von $L_{NA} = 80$ dB.

Hier konnte für die Normalhörenden gezeigt werden, dass die Sprache bei einem Störgeräusch mit zunehmendem Modulationsgrad der Geräusche von einem zeitlich konstanten Geräusch ($m \approx 0$) bis zu einem Sprechgeräusch (1 Sprecher, $m \approx 1$) deutlich leiser sein kann, um ein Sprachverstehen von 50% zu erhalten (L_{SNA} sinkt von -5 dB auf -12 dB). Im Gegensatz dazu konnten die Schwerhörigen nicht von den Lücken im Geräusch profitieren. Ihr Signal-Geräusch-Abstand blieb auf ähnlichem Niveau zwischen $L_{SNA} = -0,5$ und -1 dB erhalten (Abbildung 4-7).

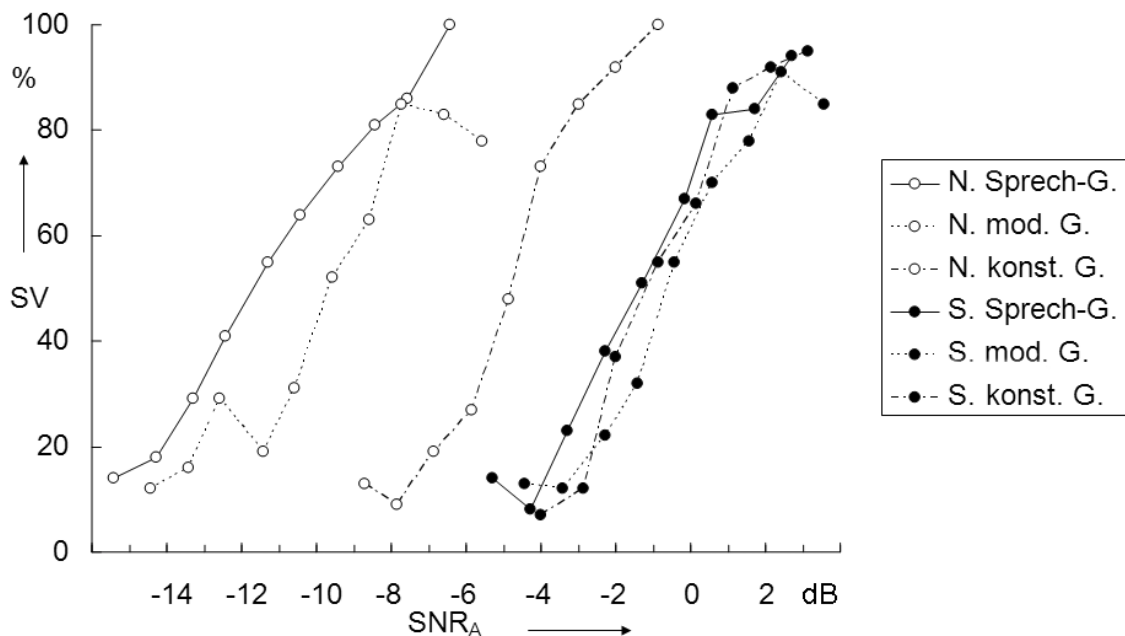


Abbildung 4-7 Sprachverständlichkeit (SV in %) von Sätzen für Normalhörende (N) und Schwerhörige (S), für Geräusche mit einem sprachähnlichem Spektrum mit drei verschiedenen Pegelzeitverläufen (Hüllkurve: konstant, amplitudenmoduliert (mod.), natürliche Sprache (1 Sprecher; Sprechgeräusch))

Auch *Prosser et al.* (1991, Zeile 30) untersuchten Probanden bezüglich ihres Sprachverstehens für Sätze bei verschiedenen Störgeräuschen.

Den jungen und alten Normalhörenden (Gruppe A und B) und Hörgeschädigten (Gruppe D und C) wurden Sätze 40 dB über der individuelle Tonhörschwelle in Verbindung mit einem Geräusch mit sprachähnlichem Spektrum, einem Cocktailparty-Geräusch, einem Verkehrsgeräusch und einem Sprechgeräusch (1 Sprecher) über Lautsprecher dargeboten. Der Signal-Geräuschabstand variierte zwischen $S/N = -10$ dB und $S/N = 10$ dB.

Auch wenn die Details des Zeitverlaufes der vier Geräusche nicht genau dokumentiert sind, lässt sich folgendes festhalten: Die beiden stationären Geräusche mit einem nahezu konstanten Pegel (sprachähnliches-, Cocktailparty-Geräusch) haben den größeren Verdeckungseffekt (Normalhörende (Gr. A, B, A', B') $L_{SNA}(50\%) = 2 - 4$ dB), die beiden Geräusche mit zeitlich fluktuierender Intensität (Verkehrs-, Sprecher-Geräusch) ergeben einen Vorteil bei der Sprachverständigung von 3 – 5 dB (Normalhörende (Gr. A'', B'', A''', B''') $L_{SNA}(50\%) = -2$ bis -1 dB).

Die alten Personen mit normalem Hören hatten in allen Störgeräuschsituationen eine leicht verschlechterte Spracherkennung verglichen mit den Jungen. Die jungen hörgeschädigten Personen erzielten Leistungswerte zwischen denen der jungen Normalhörenden und denen der alten Hörgeschädigten. Die Effekte des Alters auf die Sprachverständlichkeit sind gering, werden aber mit zunehmendem Hörverlust deutlicher.

Das Verkehrsgeräusch schien besonders geeignet zu sein, um Auswirkungen des Hörverlustes auf das Sprachverstehen aufzudecken. In dieser Bedingung war die Leistung der beiden hörgeschädigten Gruppen signifikant geringer als die der Normalhörenden, während sich aber die jungen und alten Personen nicht voneinander unterschieden.

In der Bedingung mit kontinuierlicher Sprache als Störgeräusch (1-Sprecher-Geräusch) zeigte sich besonders deutlich der Nachteil der älteren Hörgeschädigten gegenüber jungen Hörgeschädigten. Der Einfluss der beiden Geräuscharten, nämlich des stationären (A, A') und des fluktuierenden (A'', A''') Geräusches, zeigt sich deutlich bei Personen mit und ohne Hörverlusten. Für die stationären Geräusche erhöht sich die Mithörschwelle für die Schwerhörigen von 2 bis 4 dB auf 3 bis 6 dB, bei den fluktuierenden Geräuschen nimmt sie deutlich mehr zu, sie steigt von -2 bis -1 dB auf 1,5 bis 6 dB.

Die Autoren sehen insbesondere dieses Ergebnis (die Mithörschwelle erhöht sich um 7 dB) als Unterstützung für die Annahme, dass erst bei einem vorhandenen Hörverlust sich auch die altersbedingten kognitiven Defizite beim Sprachverstehen auswirken.

Diesen Effekt mit sprachähnlichem Geräusch fanden auch *Schum & Matthews* (1991).

Wortverständlichkeitswerte (NU-6, SPIN) wurden in Ruhe und mit einem Hintergrundgeräusch (12-Sprecher-Geräusch) von beiden Ohren von 101 älteren Personen mit einer Schallempfindungs-Schwerhörigkeit erhoben (60 – 77 Jahre mit leichten bis schweren Hörverlusten). Diese Leistungswerte wurden mit den Worterkennungswerten verglichen, die durch den AI vorhergesagt wurden. Negative Differenzwerte würden Aspekte der Hörschädigung und/oder des Alterungsprozesses reflektieren, die über die Hörbarkeit hinausgehen.

Die Verteilungen der Unterschiedswerte für das linke und das rechte Ohr in Ruhe ergab, dass die meisten Werte nahe Null lagen. Im Gegensatz dazu waren die Werte mit einem Störgeräusch normalverteilt um ein Mittel von ca. -25 . Die Ergebnisse legen nahe, dass von der typischen älteren hörgeschädigten Person unter Ruhe eine ähnliche Sprachverständnisleistung erwartet werden kann, wie von Normalhörenden,

wenn sie den gleichen Hörbarkeitslevel haben. Unter Geräuscheinwirkung hingegen werden Schwerhörige Leistungsverringerungen zeigen, auch wenn die Hörbarkeit sichergestellt wurde.

Souza & Turner (1994, Zeile 36) untersuchten das Sprachverstehen von jeweils:

10 jungen Normalhörenden (Gruppe A), jungen Hörgeschädigten (Gruppe B) und älteren Hörgeschädigten (Gruppe C) in Abhängigkeit von verschiedenen Störgeräuschen. Sie verwendeten als Wortmaterial Einsilber aus dem NU-6, die mit Weißem Rauschen (WR, es sollte nur weitere Störeffekte vermeiden), WR und einem Geräusch mit sprachähnlichem Spektrum, WR und sprachmoduliertem Geräusch oder WR und Sprechgeräusch von 12 Sprechern gemischt und den Probanden monaural über Kopfhörer dargeboten wurden. Der Signal-Geräusch-Abstand betrug durchgehend 5 dB.

Ergebnis dieser Untersuchung war, dass sich das Verstehen immer weiter verschlechterte, je ähnlicher das Störgeräusch einem Mehr-Sprecher-Sprechgeräusch wurde. Grundsätzlich verstanden die Hörgeschädigten immer schlechter als die Normalhörenden. Interessanterweise konnte diese Studie keinen Alterseffekt finden, wenn konstante und modulierte Hintergrundgeräusche verwendet wurden, sondern hier war die Schallempfindungs-Schwerhörigkeit für die verminderte Spracherkennungsleistung verantwortlich. Die Ergebnisse stehen etwas im Widerspruch zu denen anderer Untersuchungen, bei denen fluktuierende Geräusche eher einen Vorteil für normalhörende und schwerhörige Personen hatten. Die Autoren bringen das mit der Tiefe und Art (Satz, Wort) der Modulation in Verbindung.

Recht deutlich zeigen *Bronkhorst & Plomp* (1992, Zeile 31), dass ein Mehrsprecher-Geräusch (zusammengesetzt aus sprachmodulierten Geräuschen) gegenüber einem sprachmoduliertem Geräusch (1 Sprecher) im Pegel nahezu konstant ist und auch so wirkt. Allgemein zeigt sich, dass je mehr Störquellen (Sprecher) an einem Störgeräusch beteiligt sind, umso weniger fluktuiert das Geräusch und umso schlechter werden die Verstehensleistungen sowohl bei Normalhörenden als auch Schwerhörigen. Auch in dieser Untersuchung zeigt sich der Effekt, dass Hörgeschädigte weniger von einem modulierten Störgeräusch profitieren als Normalhörende. Beispielsweise muss für dasselbe Sprachverstehen (50%) bei Normalhörenden bei einem 6-Sprecher-Geräusch der Signal-Geräusch-Abstand bei $L_{SNA} = -8$ dB liegen, während bei einem 1-Sprecher-Geräusch der Signal-Geräusch-Abstand $L_{SNA} = -12$ dB betragen kann. Für Hörgeschädigte liegen die Werte bei denselben Störgeräuschen insgesamt schlechter und dürfen nur zwischen $L_{SNA} = -3$ dB bzw. -5 dB lauter sein als die Sprache.

In der Untersuchung von *Eisenberg et al.* (1995, Zeile 37) wurden ebenfalls die Auswirkungen von verschiedenen Maskierungsgeräuschen (moduliert oder konstant) auf die Verstehensleistung für Sätze bei Normalhörenden und Hörgeschädigten erhoben.

Dazu nutzten sie die hochredundanten Sätze aus dem SPIN (niedrige VW) und ein Breitbandgeräusch, die an den individuellen Hörverlust angeglichen wurden. Die Sätze und das Störgeräusch wurden per Audiometer abgemischt und über einen Kopfhörer den 16 Probanden auf deren besserem Ohr dargeboten.

Es zeigte sich, dass für das Geräusch mit einem konstanten Pegel eine 50-prozentige Verstehensleistung bei den 12 Normalhörenden (Gruppe A) bereits bei

einem Signal-Geräusch-Abstand von -6 dB erzielt wurde, während für die 4 Hörgeschädigten (Gruppe B) die Sprache maximal 5 dB leiser sein durfte als das Störgeräusch (Signal-Geräusch-Abstand -5 dB).

Bei Verwendung des amplitudenmodulierten Störgeräusches konnte für das gleiche Sprachverständnis der Signal-Geräusch-Abstand weiter zuungunsten der Sprache verschoben werden. Darüber hinaus wurde deutlich, dass die Normalhörenden von diesem Störgeräusch sehr viel stärker profitierten als die Hörgeschädigten. Normalhörende konnten bei $L_{SNA} = -9,9$ dB weiterhin die Hälfte der Sätze verstehen, während die Hörgeschädigten dies nur bis zu einem $L_{SNA} = -7$ dB konnten.

Bei Betrachtung der einzelnen Signal-Geräusch-Abstände ergibt sich ein ähnliches Bild. Während bei den Hörgeschädigten bei einem Signal-Geräusch-Abstand von = -8 dB sich das Sprachverstehen von 25 % auf 48 % verbesserte, wenn anstelle eines konstanten Geräusches ein amplitudenmoduliertes Störgeräusch dargeboten wurde, konnten die Normalhörenden unter denselben Bedingungen einen Zuwachs von 42 % verzeichnen.

Auch bei einem Versuch mit sinnlosen Silben ergab sich bei den normalhörenden Personen für das amplitudenmodulierte Geräusch ein Zuwachs von $SVSi = 9\%$, für die Schwerhörigen jedoch nur $SVSi = 1\%$.

Peters et al. (1998, Zeile 41) vertieften diese Fragestellung dahingehend, inwieweit spektrale bzw. temporale Senken im Störgeräusch die Verstehensleistung verbessern.

Dazu erhoben sie für 4 Personengruppen die S/N-Verhältnisse: junge Normalhörende (25 Jahre, Gr. A), ältere Normalhörende (74 Jahre, Gr. B), junge Hörgeschädigte (29 Jahre, Gr. C) und ältere Hörgeschädigte (76 Jahre, Gr. D), bei denen noch 50% Sprachverstehen möglich waren.

Sie verglichen die S/N-Verhältnisse für ein Geräusch mit sprachähnlichem Spektrum, ein Sprechgeräusch (1 Sprecher), welches natürlicherweise temporale und spektrale Löcher aufweist, ein sprachmoduliertes Geräusch, bei dem natürlicherweise nur noch temporale Löcher vorhanden waren und ein Geräusch mit sprachähnlichem Spektrum, welches nur spektrale Löcher (off) (on/off Filter-Muster mit einer jeweiligen Breite von 3 Frequenzgruppen (ERB equivalent-rectangular bandwidth) hat und ein sprachmoduliertes Geräusch, was dann sowohl zeitliche als auch spektrale Löcher (das o.g. Filtermuster) besitzt.

Die Ergebnisse sind nicht ganz einfach zu interpretieren. Das konstante Geräusch (Sprachspektrum -G., Gr. A) bewirkt für junge Normalhörende die höchste Mithörschwelle (Gr. A: -4 dB). Das sprachmodulierte Geräusch (nur zeitliche Löcher, Gr. A'') und das Sprachspektrum-Geräusch (nur spektrale Löcher, Gr. A''') reduzieren die Mithörschwelle deutlich auf -10 dB und -16 dB (Gr. A'', A'''). Die Autoren *Peters et al.* gehen davon aus, dass die natürliche Sprache (hier als störendes Geräusch) gegenüber der zu verstehenden Sprache eine Reihe zeitlicher und spektraler „Löcher“ enthält, gegeben z.B. durch Unterbrechungspausen oder geringe Pegel.

Der Vergleich des natürlichen Sprecher-Geräusches (A`- D`) mit dem des sprachmodulierten Geräusches (nur zeitliche Löcher) (A``- D``) zeigt, dass die Mithörschwellen

bei relativ ähnlichen Werten liegen: L_{SNA} (50%) = -12 bis 1 dB gegenüber -10 bis 1,5 dB.

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass die älteren Schwerhörigen im Vergleich zu den älteren Normalhörenden nur minimal von spektralen und temporalen Löchern im Störgeräusch profitieren können. Insgesamt gilt: während für die Normalhörenden ein Sprachverstehen von 50% zwischen L_{SNA} = -18 dB und -2 dB möglich ist, muss für die Hörgeschädigten der Signal-Geräusch-Abstand mit -7 bis 2,5 dB zugunsten der Sprache verschoben werden.

Den Vorteil von 12 bis 14 dB, den Normalhörende für zeitlich fluktuierende Geräusche (mit zeitlichen und spektralen Löchern) nutzen können, reduziert sich bei Schwerhörigen auf bis zu 4 bis 5 dB. Eine hohe Korrelation zwischen der Ruhehörschwelle (HVT) und der Mithörschwelle bei Verdeckung durch Geräusche mit zeitlichen und spektralen Löchern unterstützt die These, dass Schwerhörige den Vorteil für fluktuierende Geräusche nicht nutzen können.

Konzentriert man sich nur auf die drei relativ natürlichen Geräusche (A, A', A'') (die anderen beiden Geräusche sind durch die künstlich eingefügten spektralen Filter geprägt), ergibt sich – gibt man die Werte für die Mithörschwelle an, mit denen die der Älteren (normalhörend und schwerhörig) oder Schwerhörigen (Junge und Ältere) angehoben werden müssen, um die gleiche Sprachverständlichkeit (50%) wie Junge oder Normalhörende zu erhalten – folgendes Bild: Für Ältere erhöht sich die Mithörschwelle beim konstanten Geräusch um 2 bis 4 dB und bei dem Sprecher-Geräusch um 4 bis 7 dB. Bei Schwerhörigen liegen die Unterschiede höher: Beim konstanten Geräusch benötigt der Schwerhörige im Vergleich zum Normalhörenden eine um 2 bis 4,5 dB höhere Mithörschwelle, bei dem fluktuierenden Geräusch muss sie sogar um 6 bis 8,5 dB höher liegen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Beim Verstehen von Sprache (50%) profitieren Normalhörende von zeitlich fluktuierenden Geräuschen. Der Gewinn ist umso höher, je stärker das Geräusch zeitlich schwankt (Ein-Sprecher-Geräusch, sprachmoduliertes Geräusch, Verkehrsgeräusch). Der Gewinn, d.h. die Reduzierung der Mithörschwelle liegt bei bis zu 8 dB. Schon normalhörende Ältere können diesen Gewinn nicht voll nutzen, der Gewinn liegt nur bei bis zu 6 dB.

Für schwerhörige Personen reduziert sich dieser Gewinn, je nach Grad der Schwerhörigkeit und Alter liegt er nur bei 0 bis 4 dB.

Sprecher, Sprechweise

Wenn Menschen mit hörgeschädigten Personen kommunizieren, müssen sie lernen besonders deutlich zu sprechen. Leider wird, meist intuitiv, nur lauter gesprochen. *Payton et al.* (1994, Zeile 35) untersuchten, ob Normalhörende und Hörgeschädigte von deutlich artikulierter Sprache in einer weiten Vielfalt von akustischen Umgebungen profitieren können.

Dazu wurden Normalhörende und Schwerhörige mit deutlicher und normal gesprochener Sprache mit Hintergrundgeräuschen (Sprachmoduliertes Geräusch in Ruhe und bei verschiedenem Signal-Geräusch-Abstand), Nachhall (kein Hall, Wohnzimmer mit $T = 0,18$ s, Konferenzraum mit $T = 0,6$ s) und einer Kombination von beidem getestet.

Sprachmaterial waren sinnlose Sätze, von denen je die Hälfte vom Sprecher deutlich oder in normaler Konversationssprache gesprochen wurden.

"Deutliche" Sprache ist für alle Hörer in jeder Bedingung besser verständlich als "normale" Konversationssprache. Die Unterschiede in der Verständlichkeit durch die Art der Artikulation erhöhen sich, wenn die Geräuscheinwirkung und der Hall zunehmen. Die mittlere Differenz in der Verständlichkeit sind 20% für Normalhörende und 30% für Hörgeschädigte.

Ziel der Studie von *Nábělek et al.* (1992, Zeile 32) war, die Unterschiede in der Erkennung von Vokalen von verschiedenen Sprechern bei verschiedenen Hörbedingungen (Lärm oder Nachhall) zu untersuchen.

Dazu nutzten sie verschiedene Sprachtests mit Silben. Diese wurden von 6 Sprechern in einem Labor aufgenommen und zwar in Ruhe, mit Störgeräusch ($L_{SNA} = 0$ dB) und mit Nachhall und später per Kopfhörer dargeboten. Für alle Versuchspersonen wurde die MCL als Sprachpegel gewählt. Für die Hörgeschädigten wurde zusätzlich der Frequenzverlauf der Aufnahmen an ihren individuellen Hörverlust angepasst. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass nicht aufgrund des Hörverlustes bestimmte Frequenzen benachteiligt wurden.

Das erste Ergebnis (Zeile 32, Spalte 4) zeigt den starken Einfluss der Sprecher und der Schwerhörigkeit. Eine genauere Analyse zeigt, dass Hörgeschädigte mehr Fehler in der Vokalerkennung aufwiesen als Normalhörende. Der Zusammenhang zwischen Hörverlust und Spracherkennung scheint aber wesentlich komplexer zu sein: zum einen unterscheiden sich die Laute untereinander in ihrem Spektrum und dadurch natürlich in der Erkennung derselben und zum anderen unterscheiden sich die Sprecher dahingehend, wie sie welche Laute artikulieren. Verwechslungen scheinen davon abzuhängen, welche Frequenzinformationen den Hörer noch erreichen und in welcher Weise diese durch Störgeräusche und Nachhall (unterschiedlich) beeinflusst werden.

Abschließend weisen *Nábělek et al.* darauf hin, dass aus diesen Gründen die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus unterschiedlichen Tests fraglich erscheint, denn Sprecher, Sprachmaterial, Hörvermögen und die akustische Situation beeinflussen in gleicher Weise die Erkennungsleistung.

Sprecher, Sprechrate

Unter der Annahme, dass die bessere Sprachverständlichkeit von „deutlicher“ Sprache auf einer verlängerten Zeit zur Reizverarbeitung basieren untersuchten *Uchanski et al.* (1996), ob diese Effekte auch durch eine Veränderung der Dauer der jeweiligen Sprachsegmente erreicht werden kann.

Dies versuchten sie durch a) eine einheitliche Signal-Zeit-Skalierung b) das Löschen oder Einfügen von Pausen und c) durch die Erstellung von Material durch einen professionellen Sprecher mit verschiedenen Sprechraten.

Schlüsselworte aus deutlich gesprochenen, sinnlosen Sätzen waren substantiell besser zu verstehen als solche aus normaler Konversationssprache (15 %), wenn sie in Ruhe Hörern mit einer Schallempfindungs-Schwerhörigkeit oder Normalhörenden

mit einem Störgeräusch präsentiert wurden. Verschlechterungen, die durch die Zeitskalierung entstanden, zeigten, dass diese Technik problematisch ist. Die Manipulation der Pausenstruktur reduzierte die Werte in beiden Fällen, wenn sie aus deutlichen Sätzen herausgenommen wurden oder zu Konversationssätzen hinzugefügt wurden. Schlüsselwortwerte für das Material des professionellen Sprechers waren invers mit der Sprechrate korreliert, aber Konversationsscores konnten nicht die von deutlicher Sprache erreichen. In allen Experimenten mit Maskierungen zeigten Normalhörende ähnliche Leistungen wie Hörgeschädigte.

Nejime & Moore (1998) verringerten in ihrer Studie die Sprechrate (durch digitale Bearbeitung), ohne die Tonlage dabei zu verändern.

Zwei Expansionsraten wurden für die Sprechratenverlangsamung verwendet: 1,25 und 1,50 und dann die Verständlichkeit von Sätzen (18 Sätze bei 65 dB) mit einem Hintergrundgeräusch mit sprachähnlichem Spektrum (bei 65 – 74 dB) gemessen.

Auch in dieser Studie hat die Verlangsamung der Sprechrate die Sprachverständlichkeit nicht erhöht. Im Gegenteil, in einer der Simulationsbedingungen hat die Verlangsamung sogar einen signifikant negativen Effekt auf die Verständlichkeit gehabt. Die Ergebnisse legen nahe, dass eine künstliche Sprachverlangsamung die Sprachverständlichkeit für Hörgeschädigte in einem Hintergrundgeräusch nicht verbessern wird.

Kirk et al. (1997) untersuchten die Wirkung von Sprechraten in Abhängigkeit von der Stimulusvariabilität (leichte und schwere Worte) und der Sprechervariabilität (einer gegenüber mehrere Sprecher).

Untersucht wurden 17 Erwachsene (18 – 66 Jahre, Schallempfindungsschwerhörigkeit) mit leichtem bis mittleren Hörverlust. Die Effekte der Stimulusvariabilität wurden durch den Vergleich der Worterkennungsleistung (NU-6, MRT) in einer Bedingung mit einem gegenüber mehrere Sprecher (5 männlich, 5 weiblich) untersucht und mit verschiedenen Sprechraten (schnell, mittel, langsam). Lexikalische Schwierigkeit wurde durch die Erkennung von "einfachen" Worten (häufig auftretend und mit wenigen phonetisch ähnlichen Nachbarn) und "schwierigen" Worten (selten, viele Nachbarn) untersucht. Außerdem füllten die Personen einen Fragebogen aus, der ihr Sprachverständnis in täglichen Hörsituationen bewerten sollte.

Die Sprachverständlichkeit war in der Mehrsprechersituation verglichen mit der Einzugsprechersituation geringer und die Werte verringerten sich mit Erhöhung der Sprechrate. Lexikalische Effekte auf die Sprachverständlichkeit wurden ebenfalls beobachtet. Die Worterkennungsleistung war signifikant höher für lexikalisch einfache Wörter als für schwierige.

Schmitt & Moore (1989) untersuchten für alte Personen die Auswirkung von natürlich erhöhter/verminderter Sprechrate auf das Sprachverständnis.

Je 14 Männer und Frauen im Alter zwischen 75 und 84 Jahren beantworteten nach dem Hören von Passagen in vier verschiedenen Sprechraten Verständnisfragen. Sprechraten waren 60 %, 100 % = normale Sprechrate, 140 % und 180 %.

Die Leistung der Hörer war unter 60 % Zeitkompression signifikant schlechter als bei der normalen und bei den zwei Raten der Zeitexpansion. Die durch den Sprecher

generierten Zeitexpansionen von 140 und 180 % hatten nur einen leicht positiven Effekt auf das Verständnis der alten Hörer. Die mittleren Verständniswerte der beiden Raten waren nicht signifikant besser als bei der normalen Rate.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass die Spracherkennungsleistung allgemein mit Erhöhung der Sprechrate abnimmt. „Deutlich“ gesprochene Sprache erhöht die Verständlichkeit besonders unter Störbedingungen und für hörgeschädigte Personen etwas stärker als für Normalhörende. Dieser Effekt konnte bisher jedoch nicht künstlich erzeugt werden, weder durch eine Verlängerung der Pausen noch durch eine digitale Expansion der Sprechrate, die die Tonhöhe nicht verändert. Dies spricht zunächst gegen die Annahme, dass die Verbesserung der Sprachverständlichkeit bei „deutlicher“ Sprache aus der längeren Zeit zur Reizverarbeitung resultiert. Die Leistung von maskierten Normalhörenden war ähnlich der von Hörgeschädigten, was auch hier als Hauptfaktor wieder die absolute Hörschwelle vermuten lässt.

Schwerhörigkeit und psychoakustische Verarbeitung von Sprache

Betrachtet man den gesamten Prozess der Sprachverarbeitung und deren Störungen, so beziehen sich die Ergebnisse der bisher aufgeführten Untersuchungen gewissermaßen noch sehr nah an der „Oberfläche“ der Sprache. Gemäß der Fragestellung, Hinweise für eine neue Gestaltung des Umfeldes der Schwerhörigen für Räume, Arbeitsplätze, Freizeit und die Interaktion zu erhalten, war dies zweckmäßig. Aber damit sind die dahinter liegenden Ursachen für die Probleme der Schwerhörigen nicht benannt. Im Bereich der psychoakustischen Forschung liegt der Schwerpunkt stärker auf den frühen Stufen der Verarbeitung. Das heißt, man wendet sich Fragen zu wie beispielsweise:

- Was passiert beim Hören generell?
- Wie unterscheidet sich die Wahrnehmung von bestimmten Phonemen (Vokale, Konsonanten)?
- In welche Weise werden akustische Informationen verarbeitet?
- Wie werden die psychoakustischen Parameter des Hörens und Verstehens durch die Schwerhörigkeit verändert?
- Wie wird die akustische Informationsverarbeitung bei Schwerhörigkeit gestört bzw. beeinträchtigt?

Untersuchungen, die sich mit diesen Fragestellungen befassen, gehen dabei sehr in die Tiefe der Psychoakustik und des Sprachverarbeitungsprozesses, wobei allerdings die Auswirkungen auf die Kommunikation in den Hintergrund treten. Um aber die Komplexität sowohl der Sprachverarbeitung wie auch ihrer Störung aufzuzeigen, werden im Folgenden einige Untersuchungen aus den Bereichen Maskierung, Konsonanten- und Vokalverständlichkeit sowie Frequenz- und Zeitauflösung vorgestellt und zusammengefasst.

Maskierung & Schwerhörige

Ein Erklärungsgrund für die Veränderung der Mithörschwelle für Sprache durch Hörverluste kann natürlich die Maskierung/Verdeckung von Sprache durch Geräusche liefern.

Deswegen soll hier kurz auf die Ergebnisse von Untersuchungen eingegangen, die die Maskierung/Verdeckung von Tönen durch Geräusche bei Schwerhörigen behandeln. Dabei wird nicht nur die Verdeckung innerhalb einer Frequenzgruppe (Maskierer und maskierter Schall liegen bei den gleichen Frequenzen), sondern auch auf die Weitabverdeckung nach hohen und niedrigen Frequenzen hin (upward und downward spread of masking, Aufwärts- und Abwärtsverdeckung) betrachtet, wobei bei die Verdeckung der höheren Frequenzen durch tiefere (Aufwärtsmaskierung) stärker ausgeprägt ist (Zwicker & Feldkeller 1968, Kollmeier 2004).

Rittmanic (1962) untersuchte die Maskierung von reinen Tönen durch Schmalbandgeräusche in normalen, geräuschgeschützten normalen und geschädigten Ohren. Das Schmalbandrauschen (0,25, 0,5, 1, 2 und 4 kHz) hatte einen Pegel von 100 dB. Die Hörschwellenänderungen wurden bei 11 Frequenzen zwischen 0,125 – 8 kHz gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Maskierung der Normalhörenden und Schwerhörigen im Zentrum des Geräuschbandes (Frequenzgruppe) nicht unterscheidet. Jedoch zeigte das schallempfindungsgestörte Ohr eine größere Weitabverdeckung in der Größe zwischen 10 bis 20 dB im Vergleich zum normalen Ohr bei Frequenzen ober- und unterhalb des Geräuschbandes (Abbildung 4-8). Weiterhin nimmt die verdeckende Wirkung der tieffrequenteren Geräusche mit steigenden Pegeln zu den höheren Frequenzbereichen hin zu (Weitabverdeckung). Bei Schwerhörigen ist sie stärker als bei Normalhörenden.

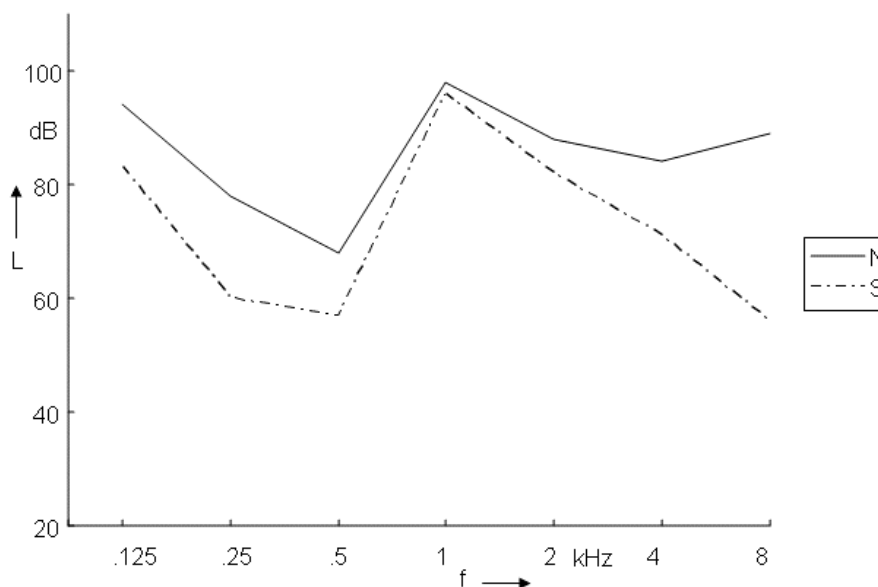


Abbildung 4-8 Weitabverdeckung, die mittlere Mithörschwelle von Sinustönen ($f = 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8$ kHz, Pegel L) erzeugt durch schmalbandiges Rauschen (1 kHz, $L = 100$ dB) für Normalhörende (N: 20 Jahre, HVT (0,25 – 6 kHz) = 10 dB) und Schallempfindungsschwerhörige (S: 20 Jahre, HVT (0,25 – 6 kHz) = 15 - 50 dB) (nach Rittmanic, 1962)

Lyregaard (1982) testete in einer Studie die Hypothese, dass die verschlechterte Sprachdiskrimination unter Lärm durch eine verschlechterte auditive Frequenzselektivität entsteht.

An der Studie nahmen 56 Testpersonen teil. Davon waren 10 Normalhörende und der Rest hatte verschiedene Hörverluste. Die Messungen wurden jeweils in beiden Ohren durchgeführt. Dabei wurde die Messung des kritischen Signal-Geräusch-Verhältnisses (critical ratio = CR) mit zwei verschiedenen Maskierpegeln von 35 und 59 dB/Hz mit einem Geräusch konstanter Spektrumsdichte durchgeführt. Die Messung des kritischen Verhältnisses wurde mit reinen Tönen (0,5, 1, 2 und 4 kHz) durchgeführt. Die Sprachverständlichkeit unter Lärm wurde mit Logatomen, die in Sätze eingebaut waren, unter einem sprachähnlichem Störgeräusch gemessen.

Es ergaben sich klare und signifikante Korrelationen zwischen dem kritischen Verhältnis (CR) und dem Hörverlust. Das legt nahe, dass die Frequenzselektivität sich mit der Vergrößerung des Hörverlusts verschlechtert. Der Signal-Geräusch-Abstand, der benötigt wird, um 50% Sprachverständlichkeit unter Lärm zu erreichen, erhöht sich auch mit dem Hörverlust. Für einen typischen Hörverlust muss der Signal-Geräusch-Abstand (für 50% SV) um 10 bis 15 dB höher sein. Korrelationen zwischen der Mithörschwelle unter Lärm und dem kritischen Verhältnis waren bei allen Frequenzen signifikant.

Leshowitz (1977) untersuchte die Wirkungen der Verdeckung höherer Frequenzbereiche.

Dazu wurde die Sprachverständlichkeit bei einem Hintergrundgeräusch bei Hörern mit einem selektiven hochfrequenten Hörverlust und fast normal hörenden Personen in Frequenzen des Sprachbereichs untersucht.

Relativ zur Kontrollgruppe zeigten Hörer mit selektiven hochfrequenten Hörverlusten bis zu 40 dB höhere Maskierungseffekte bei hohen Frequenzen. Interessant war dabei, dass sich die erhöhte Weitabverdeckung bei Hörgeschädigten häufig in Regionen mit normalen Tonhörschwellen zeigte. Die Mithörschwellen für Sprache waren bei den hörgeschädigten Personen ca. 5 bis 15 dB höher als bei den Normalhörenden.

Im Rahmen einer Untersuchung zur Frequenz- und Zeitauflösung des Gehörs von Personen mit lärmbedingtem Hörverlust (*Tyler et al.* 1980) wurden psychoakustische Messungen durchgeführt, bei denen Normalhörende und Personen mit einer Lärmschwerhörigkeit einbezogen wurden.

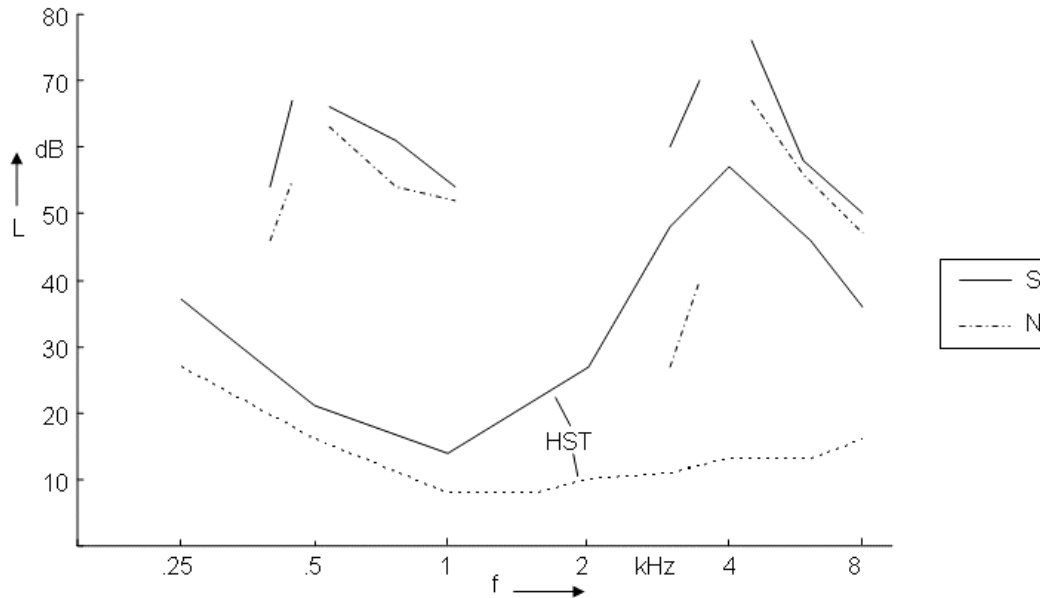


Abbildung 4-9 Weitabverdeckung: mittlere Mithörschwellen (N, S) für Sinustöne (L in dB, f in kHz) erzeugt durch Sinustöne (0,5 und 4 kHz bei 85 dB) für Normalhörende (N, 25 Jahre) und Lärmschwerhörige (S, 52 Jahre) (mittlere Hörschwelle in Ruhe: HST: N, S; nach *Tyler et al.* 1980)

Die Ergebnisse der Maskierungsmessungen zeigen deutliche Defizite bei den Lärmschwerhörigen. Die Mithörschwelle (bei 4 kHz) der Normalhörenden liegt im Mittel niedriger (92 (86 – 96) dB) als bei den Schwerhörigen (98 (89 – 104) dB). Die Weitabverdeckung ist bei den Schwerhörigen wesentlich ausgeprägter (Abbildung 4-9) als bei den Normalhörenden. Die psychoakustische Abstimmungskurve (PTC) ist für die Schwerhörigen ziemlich flach (Abbildung 4-10).

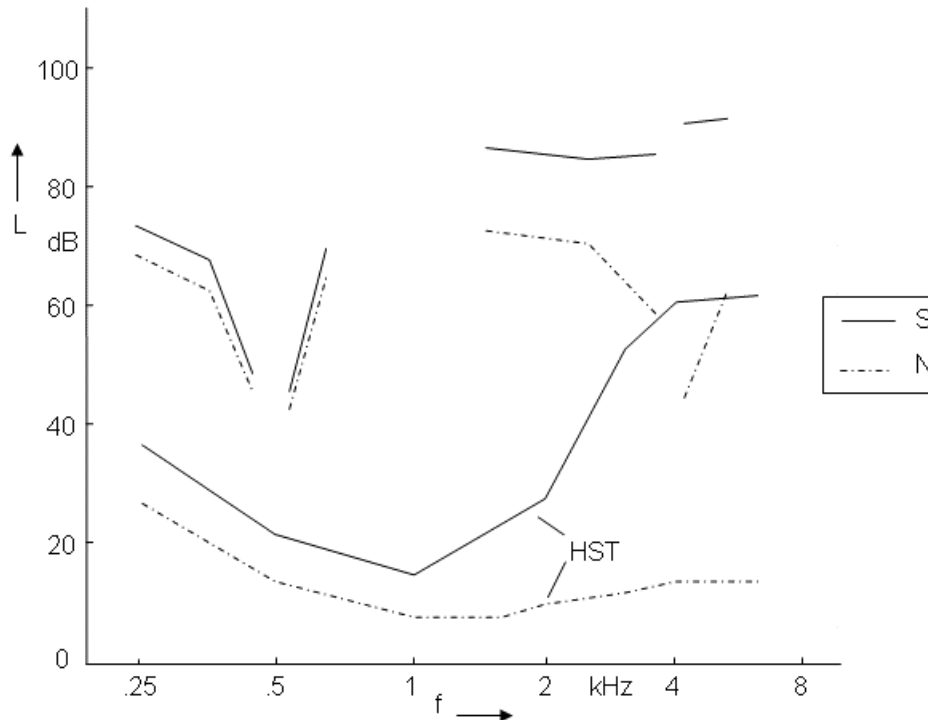


Abbildung 4-10 mittlere psychoakustische Abstimmkurve (PCT) für Normalhörende (N) und Lärmschwerhörige (S): Das Signal ist ein Sinuston 5 – 20 dB über der Hörschwelle (0,5 und 4 kHz), der Masker ist ein Sinuston (L in dB, f in kHz) (Hörschwelle HST für N und S; nach Tyler et al. 1980)

Eine erhöhte Mithörschwelle für Schwerhörige konnte für Aufwärtsverdeckung in einigen Untersuchungen nachgewiesen werden. Sowohl bei Sprachereignissen als auch bei nichtsprachlichen Schallereignissen trat dieser Effekt unabhängig vom Alter, der audiometrischen Konfiguration oder der Ätiologie der Störung (Hannley & Dorman 1983) auf.

Ähnliche Ergebnisse ergab eine Studie von Dubno & Ahlstrom (1995).

Sie erhoben die Hörschwellen und Konsonantenverständlichkeit unter einem Tiefpassgeräusch. Hörschwellen und Konsonantenverständlichkeit wurden für Normalhörende (HVT (0,25 – 8 kHz) < 15 dB) und hörgeschädigte Personen (HVT (1 – 8 kHz): 35 – 90 dB) erhoben.

Für Frequenzen oberhalb des Maskierers ergaben sich auch hier höhere mittlere Hörschwellen für hörgeschädigte als für normalhörende Personen.

Mithörschwellen wurden auch für ältere Personen untersucht (Klein et al. 1990). Es galt festzustellen, ob aufwärtsverdeckte Hörschwellen sich zwischen jungen und älteren Personen unterscheiden, die ähnliche Hörverluste aufweisen. Ein weiteres Ziel war es, die Beziehung zwischen aufwärtsverdeckten Hörschwellen und Sprachverständlichkeit unter Lärm für ältere Personen zu untersuchen.

Als Stichprobe wurden zwei Altersgruppen eingesetzt: eine Gruppe bestand aus Personen älter als 60 Jahre und die andere aus Personen jünger als 36. In beiden Gruppen waren Normalhörende vertreten (jung n = 13, alt n = 11) und Personen mit leichter

bis mittlerer Schallempfindungs-Schwerhörigkeit (jung $n = 11$, alt $n = 19$). Die Maskierung bestand aus einem kontinuierlichen, tiefpassgefilterten ($f_g = 1$ kHz) Geräusch. Hörschwellen wurden in Ruhe und mit einem Maskierer von 90 dB gemessen. Die Sprachdiskrimination wurde mit der revidierten Fassung des SPIN-Tests gemessen.

Im Ergebnis weisen junge und ältere Personen mit einem normalen Hörvermögen nahezu gleiche aufwärtsverdeckte Hörschwellen auf. Generell sind die aufwärtsverdeckten Hörschwellen für Personen mit einem Hörverlust für beide Altersgruppen höher als für junge Normalhörende. Insbesondere ergeben sich bei Personen mit ähnlichen Ruhehörschwellen auch ähnliche aufwärtsverdeckte Mithörschwellen. Obwohl die Höhe der aufwärtsverdeckten Hörschwellen für ältere Personen stark variieren, zeigen Personen, die eine geringere aufwärtsmaskierte Hörschwelle haben, eine bessere Sprachverständlichkeit unter Geräuscheinwirkung.

Es ist nicht einfach, aus den Untersuchungen quantitative Aussagen zur Verdeckung bei Schwerhörigen abzuleiten. Es gibt aber doch im Mittel eine einheitliche Tendenz: die Verdeckung durch Geräusche nimmt bei Schwerhörigen zu, insbesondere die Weitabverdeckung. Sicher ist diese Zunahme der Verdeckung teilweise für die niedrigere Sprachverständlichkeit im überschwelligen Bereich bei Schwerhörigen, im Vergleich zu Normalhörenden (bei gleichem Signal-Geräusch-Abstand) verantwortlich.

Konsonanten- und Vokalverständlichkeit

Es hängt von der Konfiguration des Audiogramms einer schwerhörigen Person und seiner Defizite im überschwelligen Bereich ab, welche Sprachlaute noch verstanden werden können. Bei typischen Audiogrammen für eine lärminduzierte Schwerhörigkeit, und teilweise auch für die altersbegleitende Schwerhörigkeit, können die Hörverluste als Tiefpass verstanden werden. Je tiefer die Grenzfrequenzen des Tiefpasses liegen, umso häufiger werden nur noch Sprachlaute mit niedrigen Frequenzen (vor allem Vokale) erkannt. Das heißt, dass vor allem und zuerst der Bereich der Konsonanten betroffen ist. Das ist für die Sprachverständlichkeit besonders nachteilig, da die Konsonanten die bedeutungsunterscheidenden Elemente der Sprache sind. Eine Reihe von Studien befassen sich beispielsweise mit der Verwertung perceptiver Hinweise, der Frequenzselektivität, perceptiven Gewichtungstrategien oder der Nutzung der Wahrnehmung der minimalen Amplitudendifferenz (u.a. *Leek et al.* 1987, *van Tasell et al.* 1987, *Dubno et al.* 1989, *Dubno & Dirks* 1989, *Zeng & Turner* 1990, *Dubno & Schäfer* 1992, *Pittman & Stelmachowicz* 2000).

Die Studien zeigen, dass Hörgeschädigte fast die gleiche Leistung in der Konsonantenerkennung erreichen wie Normalhörende, wenn sie unter gleichen Hörbarkeitsniveaus getestet werden. Obwohl die Frequenzselektivität bei den hörgeschädigten Personen vermindert ist, gibt es keine konsistenten Unterschiede in der Konsonantenerkennung. Dies weist darauf hin, dass für die verminderte Konsonantendiskrimination bei Hörgeschädigten doch mit der absoluten Hörschwelle verbunden ist. Bei der Vokalidentifikation machen hörgeschädigte Personen die gleichen Fehler wie Normalhörende, diese aber ausgeprägter und sie machen zusätzlich Fehler, die die Normalhörenden nicht machen. Hörgeschädigte scheinen Schwierigkeiten zu haben, nahe aneinanderliegende Formanten für die Vokalidentifikation zu benutzen. Wäh-

rend Normalhörende Differenzen von 1 bis 4 dB brauchen, um einen Vokal identifizieren zu können, brauchen hörgeschädigte Personen Differenzen von 6 bis 7 dB. Die Vokalmaskierungsmuster für hörgeschädigte Personen zeigen schlecht aufgelöste Peaks, die symptomatisch für schlechte Frequenzselektivität oder einen erhöhten Unterdrückungsmechanismus sein können. Hier scheinen Diskriminationsverluste oberhalb der Hörschwelle (überschwelliger Bereich) eine Rolle zu spielen. Wenn man die Spracherkennungsleistung bewerten will, ist es wichtig zu beachten, dass verschiedene Sprecher unterschiedliche Einflüsse auf die Leistung von Normalhörenden und Hörgeschädigten haben: zum einen unterscheiden sich die Laute untereinander in ihrem Spektrum und dadurch natürlich in deren Erkennung und zum anderen unterscheiden sich die Sprecher dahingehend, wie sie die Laute artikulieren. Verwechslungen scheinen davon abzuhängen welche Frequenzinformationen den Hörer noch erreichen und diese werden durch Hall und Störgeräusche unterschiedlich beeinflusst.

Intensitäts-, Frequenz- und Zeitauflösung

Für das Verstehen von Sprache ist die Art und Weise wie die Intensitäts-, Frequenz- und Zeitmuster des Schalls beim Hörprozess des Schwerhörigen abgebildet werden maßgebend. Die frequenzabhängige Ruhehörschwelle beschreibt die geringere Sensitivität des Hörorgans gegenüber dem Schall und ist einer der wesentlichen Faktoren, der das Sprachverstehen von Schwerhörigen bestimmt. Aber im überschwelligeren Bereich, in dem Sprachverstehen auch stattfinden soll, ergeben sich weitere Defizite.

Für eine Erkennung von Sprache ist es entscheidend, wie gut bestimmte Schallmuster (Phoneme) im Rauschen fehlerfrei dekodiert werden können. Um die Abbildung der Intensitäts-Frequenz-Zeit-Muster im überschwelligeren Bereich verstehen zu können, wurden die psychoakustischen Parameter, die man für Normalhörende gut kennt, auch für Schwerhörige untersucht. Mit psychoakustischen Tests wurden bei 10 bis 50 dB über der Hörschwelle und bis ca. 100 dB eine Reihe von Parametern untersucht, wie

- die Kategoriallauthheit zur Skalierung der Hörfläche,
- die Dynamik für Töne (Hörschwelle bis zum höchsten Pegel, der noch gerade angenehm ist (HCL),
- der gerade wahrnehmbare Intensitätsunterschied (JND) für Töne und gepulste Töne,
- die Erkennungsschwelle für die Amplituden- und Frequenzmodulation,
- die Erkennung von temporalen Löchern im Rauschen und in Tönen,
- Frequenzunterscheidungsschwellen von gepulsten und komplexen Tönen und Klängen,
- die Frequenzgruppenbreite,
- die Maskierung von Tönen durch Geräusche (Bandpass, Töne, simultane Auf- und Abwärtsverdeckung, nichtsimultane Vor- und Nachverdeckung),
- psychophysische Abstimmungskurve (PTC)

- bestimmte Mithörschwellen für Sprachreize

(vgl. Tyler et al. 1980, Lyregaard 1982, Tyler et al. 1982a, b, Dubno & Dirks 1989, Glasberg & Moore 1989, Lutmann et al. 1991, Dubno & Schäfer 1992, Kollmeier & Holube 1992, Baer & Moore 1993, Holube & Kollmeier 1996, Launer et al. 1996).

Teilweise wurde auch versucht Sprachvorhersagemaße (AI, STI) für schwerhörige Personen zu erweitern (Pavlovic et al. 1986, Dubno et al. 1989, Humes & Roberts 1990, Welzl-Müller et al. 1990, Holube & Kollmeier 1996). Die Ergebnisse zeigen kein klares einheitliches Bild, dafür scheint die Art und Weise der Schwerhörigkeit und ihre individuelle Ausprägung zu unterschiedlich. Zwei Aspekte zeigen sich aber doch durchgängig.

- die Ruhehörschwelle für Töne bestimmt wesentlich die Sprachverständigung in Ruhe
- die Mithörschwelle, die Sprachverständigung unter Geräuscheinfluss, ist mit psychoakustischen Parametern im überschwelligen Bereich verbunden.

Es gibt aber keinen Parameter, der konsistent eine deutlich hohe Korrelation mit der Mithörschwelle für Sprache aufweist, viel mehr zeigt sich, je nach Untersuchung und Auswahl der Kriterien, bei den meisten genannten psychoakustischen Parametern eine mittlere Korrelation zueinander und mit der Mithörschwelle für Sprache. Offenbar gibt es zusätzlich zum Hörverlust noch eine weitere Komponente, die das Sprachverstehen bestimmt, den Kompressionsverlust des Hörorgans und die damit verbundene Verschlechterung der Frequenz- und Zeitauflösung.

4.3 Wichtige Punkte im Überblick:

- Die Sprachverständlichkeit wird allgemein durch das Verhältnis der Schallintensitäten von Signal (Sprache) und Geräusch, dem Signal-Geräusch-Abstand, und den Raumeigenschaften (Nachhall) bestimmt. Generell kann man durch eine Anhebung des Sprachpegels, eine Senkung des Geräuschpegels und eine Reduzierung der Nachhallzeit die Sprachverständlichkeit erhöhen.
- Der Verlust an Sprachverständlichkeit wird auch schon bei leichten Hörverlusten deutlich. Entscheidend für den Verlust an Sprachverständlichkeit sind die Hörverluste bei den mittleren und höheren Frequenzen (0,5 bis 4 kHz). Die Qualität der Sprachverständlichkeit von Schwerhörigen wird durch Geräusche und Nachhall vermindert; das gilt besonders für Personen mit Schäden im Innenohr, d.h. für Lärmschwerhörige oder Altersschwerhörige.
- Mit abnehmendem Signal-Geräusch-Abstand, d.h. hier mit steigendem Geräuschpegel bei konstantem Sprachpegel, nimmt die Sprachverständlichkeit schwerhöriger Personen stärker ab als die der Normalhörenden.
- Bei normaler bis angehobener Sprechweise (Sprachpegel $L_{SA,1m} \approx 60$ bis 70 dB) muss der Geräuschpegel, je nach Ausmaß des Hörverlustes der Person, um 5 bis 25 dB vermindert werden, damit der Schwerhörige eine Sprachver-

ständigkeit erreichen kann, die der von Normalhörenden gleicht. Eine Erhöhung der Sprachlautstärke verbessert die Situation nur bedingt. Sie sollte nicht über $L_{SA} = 80$ dB liegen.

- Schwerhörige können im Gegensatz zu Normalhörenden kaum Gewinn aus dem Richtungshören (wenn Sprache und Geräusch aus unterschiedlichen Richtungen kommen) ziehen.
- Schwerhörige können ebenfalls keinen Nutzen aus zeitlich fluktuierenden Geräuschen ziehen, bei denen sich für Normalhörende die Sprachverständlichkeit verbessert, da sie in den Phasen geringen Pegels mehr Sprache verstehen. Durch das geringere Zeitaufklärungsvermögen bleibt die Sprachverständlichkeit so gering wie bei einem zeitlich konstanten Geräusch.
- Die Sprachverständlichkeit kann für Schwerhörige durch deutliches Sprechen, insbesondere bei Geräuschen, verbessert werden. Allgemein nimmt die Spracherkennungsleistung mit Erhöhung der Sprechrate ab.
- Die Ergebnisse zur Zeitaufklärung sind uneinheitlich und zeigen eine große Variabilität unter den hörgeschädigten Personen, von normaler bis schlechter Zeitaufklärungsfähigkeit.
- Das Alter spielt als Einflussgröße bei der Sprachverständlichkeit nur eine geringe Rolle. Das ändert sich völlig, wenn es mit einem Hörverlust verbunden ist.

Tabelle 4-6 Überblick über Audiometrieverfahren

Erscheinungsjahr	Name und Beschreibung	Autor
1952	CID-W 22; überarbeitete Fassung der PAL PB von Egan (1948)	<i>Hirsh et al.</i>
1965	Modified Rhyme Test (MRT); CVC-Wörter im geschlossenen Antwortset	<i>House et al.</i>
1966	NU-6; überarbeitete Fassung der CNC-Wortlisten nach <i>Lehiste & Peterson</i> (1959)	<i>Tilman & Carhart</i>
1977	SPIN Test (Speech Perception in Noise); Satztest mit Sätzen unterschiedlicher Vorhersagewahrscheinlichkeit (VW) SPIN-R; überarbeitete Version	<i>Kalikow et al.</i>
1977	CCT (California Consonant Test); Einsilbige Wörter (CVS)	<i>Owens & Schubert</i>
1979	FAAF (Four Alternative Auditory Feature Test); Sets aus jeweils 4 CVC-Wörtern, die sich nur in einem Phonem unterscheiden	<i>Foster & Haggard</i>
1994	HINT (Hearing in Noise Test); einfache Sätze in Ruhe und im Störgeräusch	<i>Nilsson et al.</i>

5 Auswirkungen von Gehörschutz und Schwerhörigkeit auf die akustische Verständigung im Betrieb

5.1 Gehörschutz und Schwerhörigkeit im betrieblichen Alltag

Das Auftreten hoher Geräuschpegel im Betrieb stört oder behindert die sprachliche Kommunikation, wie auch das Erkennen von akustischen Gefahrensignalen. Der Gehörschutz soll durch die Verminderung des für das Gehör wirksamen Geräuschpegels im Ohr die Entwicklung einer Schwerhörigkeit vermeiden und damit die Funktionsfähigkeit des Gehörs erhalten. Aber dieser Schutz des Gehörs, durch Stöpsel oder Kapseln, beeinflusst gleichzeitig auch die akustische Informationsaufnahme und -vermittlung. Ein funktionsfähiges Gehör, das akustische Information einwandfrei aufnehmen und verarbeiten kann, ist eine wesentliche Voraussetzung für das soziale Zusammenleben der Menschen und den sicheren Ablauf des Arbeitsprozesses und des Verkehrs. Dabei sind vor allem zu nennen, die Erkennung von Gefahren, die akustische Erfahrung der Umwelt, die Orientierung in der Umgebung und nicht zuletzt die Interaktion zwischen Personen durch sprachliche Mitteilungen.

Die hohe Anzahl der Betroffenen macht die Klärung des Einflusses von hohen Geräuschpegeln und des Tragens von Gehörschutz auf die sprachliche Kommunikation und die Signalerkennung notwendig. Man kann davon ausgehen, dass ca. 10 % der Arbeitnehmer gehörschädigendem Lärm von $L_{Aeq,8h} = 85$ dB und mehr ausgesetzt sind und somit Gehörschutz tragen muss.

Es muss die Frage gestellt werden, welche Konsequenzen die generelle Pflicht, bei Pegeln über 85 dB Gehörschutz zu tragen, für die akustische Verständigung im Betrieb, und damit auf den Produktionsablauf und auf das Niveau der allgemeinen Unfallgefährdung, hat.

Man kann davon ausgehen, dass wenn der Gehörschutz richtig und konsequent benutzt und getragen wird, dieses einen ausreichenden und sicheren Schutz vor Gehörschäden bedeutet. Aber einerseits ist die Tragequote im Betrieb gering (zwischen 30% und 80%), andererseits zeigen Untersuchungen, dass selbst das Tragen von Gehörschutz noch keinen ausreichenden Schutz bringt (*Körpert* 1980; *Bauer et al.* 1991, *Weiß* 2003). Offenbar wird der Gehörschutz nicht richtig, konsequent und ausdauernd benutzt.

Es bleibt die Frage, warum der Gehörschutz nicht, oder nicht ausreichend benutzt wird, obwohl die Schutzwirkung eindeutig gegeben ist? Gibt es Gründe den Gehörschutz nicht konsequent zu tragen? Ist in diesem Zusammenhang eine generelle Verpflichtung zum Tragen von Gehörschutz mit dem Ziel einen sicheren Arbeitsablauf und einen effektiven Arbeitsprozess zu gewährleisten vereinbar, oder sind der Schutz vor Gehörschäden einerseits und die Gewährleistung von Sicherheit und Produktivität andererseits gegensätzliche Ziele, die man zwar optimieren, aber nicht beide voll erreichen kann.

Tragekomfort und Kommunikation sind zwei wesentliche Kritikpunkte der Gehörschutznutzer (*Weiß 2003*). Die akustische Verständigung der Mitarbeiter im Betrieb wird durch Gehörschutz für jedermann offensichtlich beeinflusst (das Ohr wird bedeckt), ob auch akustisch wirksam, soll hier analysiert und dargestellt werden. Dazu wird der Stand des Wissens zur Erkennung akustischer Muster und der sprachlichen Kommunikation beim Tragen von Gehörschutz (s.a. *Suter 1992, Lazarus 1992*) zusammengefasst, entsprechend der Fragestellung bewertet und die zweckmäßigen Gehörschützer diskutiert (*Liedtke 2003*).

Die Auswahl der Übersicht ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass einerseits die Pflicht zum Tragen von Gehörschutz sehr ernst genommen werden muss (EG-Lärm-Richtlinie 2003/10). Andererseits erhöht sich aufgrund geänderter Organisationsstrukturen im Betrieb der kommunikative Anteil im industriellen Produktionsbereich: Vielfältige Planungsprozesse über Arbeitseinteilung- und Arbeitszeit, personelle und Materialressourcen, Einhaltung bestimmter Qualitätsniveaus sowie individuelle Qualifizierungsnotwendigkeiten erfordern ein hohes Maß an verbalen Abstimmungsprozessen. Diese Kommunikationssituationen sind häufig direkt in den Arbeitsablauf integriert und können nicht in „Ruhebereiche“ verlegt werden. Das heißt, die Kommunikation wird durch Geräusche verschiedenartigster Quellen mit unterschiedlichsten Intensitäten und Frequenzverteilungen gestört und gegebenenfalls durch das Tragen von Gehörschutz beeinflusst. Umso wichtiger ist es, unter den veränderten Organisationsbedingungen dem Aspekt der Aufrechterhaltung und Herstellung einer guten Sprachverständlichkeit als Voraussetzung gelungener Kommunikation zunehmend stärker in den Fokus der Aufmerksamkeit zu rücken. Dabei sind die Auswirkungen sowohl hörerseitig – unter Berücksichtigung der Personen mit Hörschädigungen – als auch sprecherseitig zu betrachten.

5.2 Mithörschwelle von Signalen und Gehörschutz

In den meisten Fällen wird in Lärmbereichen, in denen Gehörschutz getragen werden muss, die Hörleistung, d.h. die Anzahl der gehörten Signale, durch verdeckende Geräusche, d.h. durch die Mithörschwelle (*Zwicker & Feldtkeller 1967*) begrenzt.

In Untersuchungen mit breitbandigen Geräuschen wurden sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen der Hörleistung beim Tragen von Gehörschutz (Kapsel, Stöpsel) beobachtet (*Levin 1976, Wilkins & Martin 1978, Talamo 1979, Coleman et al. 1984, Abel et al. 1991*), die Erniedrigung und Erhöhung der Mithörschwelle beim Tragen von Gehörschutz lag gegenüber dem ungeschützten Ohr bei -3 bis 3 dB.

Weitere Untersuchungen (*Lazarus et al. 1983*) und Analysen (*Suter 1992, Berger 1991*) machen deutlich, dass die genaue Beurteilung der Hörleistung beim Tragen von Gehörschutz nur möglich ist, wenn das Oktavspektrum der Signale, der Geräusche und der Schalldämmung bekannt sind. Soweit das Oktavpegelspektrum des Signals und des Geräusches weit über der Hörschwelle der Personen liegt (also für Normalhörende) ist für eine Veränderung der Hörleistung die Änderung des Schallpegels direkt am Ohr verantwortlich. Würde der Gehörschutz den Schallpegel

frequenzunabhängig reduzieren, ergebe sich eher eine Erhöhung der Hörleistung. Eine Pegelreduzierung verringert die nichtlinearen Effekte des Ohres, wie sie bei hohen Pegeln bei der Maskierung und Ermüdung des Ohres (PTS: permanent threshold shift) entstehen. In einer neueren Untersuchung (*Nakladal & Henning 1995*), die unter möglichst realen Bedingungen durchgeführt wurde, werden diese Ergebnisse bestätigt (s. Abbildung 5-1; siehe auch Abschnitt 4.4).

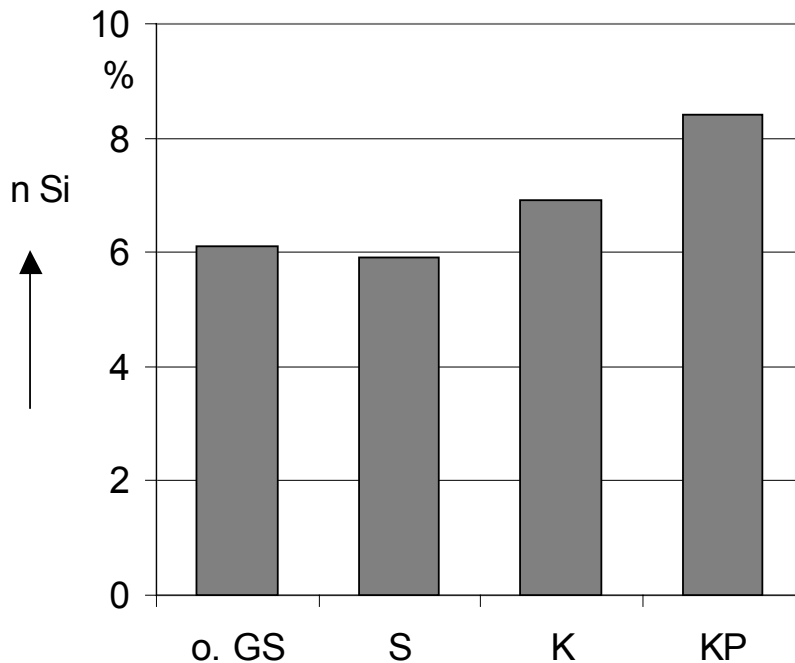


Abbildung 5-1 Anteil der nicht erkannten Signale (nSi) in den Situationen ohne Gehörschutz (o. GS), mit Stöpsel (S), Kapsel (K) und pegelabhängiger Schalldämmung (KP), bei 5 verschiedenen Geräuschen ($L_{NA} = 90$ bis 93 dB), 5 Betriebssignalen ($L_{SA} = 80$ bis 110 dB) über 8 Richtungen ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$)

Allerdings wird auch auf eine reduzierte Aufmerksamkeit hinsichtlich der Signale bei geringeren Pegeln durch Gehörschutz hingewiesen (Wilkins & Martin 1985). Insofern lassen sich eine Erhöhung, unter gewissen Umständen aber auch Erniedrigung der Hörleistung, bei geringeren Schallpegeln am Ohr durch Gehörschutz ableiten.

Für eine Verringerung der Hörleistung muss insbesondere die Weitabverdeckung durch die frequenzabhängige Schalldämmung der Gehörschützer verantwortlich gemacht werden. So bewirkt die Weitabverdeckung, dass sich die Hörleistung zwischen den Situationen ohne Gehörschutz, mit Stöpsel und mit Kapsel mit steigendem Geräuschpegel immer stärker unterscheidet. Unterhalb von $L_{NA} \leq 85$ dB sind die Hörleistungen in den drei Bedingungen kaum unterschiedlich, über 90 dB wird die Hörleistung beim Tragen eines Stöpsels eher höher, beim Tragen einer Kapsel wegen der geringen Schalldämmung bei tieferen Frequenzen eher niedriger als beim ungeschützten Ohr (*Lazarus et al. 1983*), bei einem hochfrequenten Signal (Sirene, Klingel) wurde auch eine Erhöhung der Hörleistung beim Tragen beider Gehörschutzar-

ten (Kapsel, Stöpsel) gegenüber dem ungeschützten Ohr festgestellt (Wilkins & Martin 1977).

Zusätzlich zu diesen Ergebnissen für normalhörende Personen muss der Einfluss der Hörschwelle auf die Hörleistung beachtet werden. Zum einen ist es sicher möglich, dass der Schallpegel des Signals durch die Schalldämmung der Gehörschützer unter die Hörschwelle der Schwerhörigen sinkt und das Signal nicht mehr hörbar ist (Lessing & Sauer 1979, Lazarus 1980). Zum anderen spielt aber bei den hohen betrieblichen Schallpegeln (L_{SA} , $L_{NA} \geq 80$ dB) eher die Veränderung des Wahrnehmungsvermögens wie die Zeit- und Frequenzauflösung des schwerhörigen Ohres im überschwelligen Bereich eine Rolle. Auf eine deutlich reduzierte Wahrnehmung von Signalen von Schwerhörigen mit Gehörschutz wird hingewiesen (Wilkins 1984, Lazarus et al. 1983, Abel et al. 1982a, 1983, 1985, 1990, 1991, 1993).

Die Ergebnisse lassen sich zusammenfassen: die Hörleistung ist umso geringer, je höher der Gehörschutz, je höher die Schalldämmung des Gehörschützes und je höher die Frequenz des Signals ist.

5.3 Identifizierung von Signalen

Auch wenn der Schallpegel des Signals die Mithörschwelle weit übersteigt, kann durch das Tragen von Gehörschutz die Signalerkennung erschwert werden (v. Lüpke 1964, Christ 1976). Durch Gehörschützer, die eine stark frequenzabhängige Schalldämmung aufweisen, wie es z.B. bei Kapseln der Fall ist, können bekannte Zuordnungen von Bedeutungen zu bestimmten akustischen Mustern verloren gehen oder zumindest kann die Sicherheit bei der Identifizierung beeinträchtigt werden. Weiterhin ist anzunehmen, dass durch häufiges Absetzen und Wiederaufsetzen von Gehörschützern, wie es gerade für Kapseln üblich ist, die Identifikationsleistung verringert werden kann. Diese Vermutungen konnten in einer Untersuchung (Lazarus 1979) bestätigt werden (s. Tabelle 5-1). Der Prozentsatz der richtigen Identifizierungen von 5 im Spektrum unterschiedlichen Signalen nahm beim Tragen einer Kapsel um 10 % ab. Da beim Tragen der Kapsel höherfrequente Signale häufiger als tieferfrequente Signale falsch identifiziert wurden, kann man vermuten, dass die mit der Frequenz zunehmende Schalldämmung für die Zunahme der Fehlerrate verantwortlich ist. Bedeutsam ist die höhere Unsicherheit bei der Identifizierung, wenn eine Kapsel benutzt wird.

Tabelle 5-1 Anzahl und Sicherheit bei der Identifizierung von 5 akustischen Mustern mit verschiedenen Spektren in zwei Hörsituationen (ohne Gehörschutz (GS), mit Kapsel)

Hörsituation	Beurteilung der Hörsituation	
	sicher sehr sicher	unsicher sehr unsicher
ohne GS	32	7
Kapsel	9	30

Die Identifizierung von unerwartet und selten auftretenden Signalen wurde in mehreren Experimenten beim Tragen von Gehörschutz untersucht (*Wilkins & Martin* 1981, 1982, 1984, 1985, 1987; *Wilkins* 1984). Hierbei wurden die zu testenden Signale in unregelmäßigen längeren Zeitintervallen dargeboten (im Mittel 90 s) und zusätzlich noch irrelevante Schallsignale eingeblendet. Die Erkennungsleistung war gegenüber einer reinen Wahrnehmungsaufgabe um ca. 10 % geringer. Tragen die Versuchspersonen Kapseln, sinkt die Erkennungsleistung bei den selten auftretenden Signalen um 16 %. Die Ergebnisse von Labor- und Felduntersuchungen (*Wilkins & Martin* 1984, *Wilkins* 1984) zeigen, dass vor allem zufällig auftretende Signale beim Tragen von Gehörschutz schlechter erkannt werden. Bei einem zufällig auftretenden Warnsignal mit einem hohen Anteil hoher Frequenzen (Metallschlag) verringert sich die Anzahl der richtig erkannten Signale beim Tragen von Gehörschutz im Feldversuch um 9 % gegenüber dem ungeschützten Ohr. Die Autoren machen für die Zunahme der Fehlerrate beim Tragen von Gehörschutz die durch die Kapsel reduzierte Lautheit verantwortlich.

5.4 Ortung von Schallquellen

Die Arbeiten, die sich mit dem Einfluss der Gehörschützer auf die Ortung von Signalen beschäftigen, benutzen dazu die horizontale aber auch die vertikale Ebene. In diesen Ebenen werden in der Regel eine Reihe von Lautsprechern aufgestellt, aus denen Signale zur Lokalisierung der Richtung gesendet werden (0° entspricht der Blickrichtung der Vpn). Untersucht wird der Einfluss von Signalen und deren Spektrum, von Geräuschen, des Hörvermögens (Hörverluste), Dauer des Signals, Lernmöglichkeiten (Wiederholungen) auf das Ortungsvermögen in den verschiedenen Gehörschutzsituationen.

Eine Lokalisierung von Schallquellen, deren Schallereignisse aus verschiedenen Richtungen eintreffen, ist nur möglich, wenn ein Unterschied zwischen den Schallereignissen an den beiden Ohren besteht. Tritt der Schall in der Medianebene auf, so kann der Ort der Schallquelle auf Grund richtungsbestimmender Frequenzbänder (*Blauert* 1974) lokalisiert werden.

Atherley & Noble (1973) untersuchten in Abhängigkeit vom Tragen des Gehörschutzes, wie hoch die Treffsicherheit ist, mit der die Richtung von Sinustönen (1 kHz), die aus 6 unterschiedlichen Richtungen eintreffen, erkannt wird. Sie konnten feststellen, dass die Anzahl der richtigen Antworten beim geschützten Ohr (50 %) gegenüber dem ungeschützten Ohr (76 %) abnimmt. Eine Analyse der falschen Antworten ergab, dass rechts-links Verwechslungen in 16 % der möglichen Antworten beim geschützten Ohr gegenüber 2 % beim ungeschützten Ohr beobachtet werden können. Verwechslungen vorn-hinten treten mit wie auch ohne Kapseln in ca. 25 % der Antworten auf, die Anzahl der Fehler, die der rückwärtigen Seite zugeordnet werden, ist beim Tragen der Kapsel allerdings höher als die, die für die vordere Seite angegeben werden. *Atherley & Noble* (1973) interpretieren diesen Befund als Zunahme der Unsicherheit beim Tragen einer Kapsel.

Ähnliche Ergebnisse erhält auch *Puzyna* (1981), der die Richtung von Oktavbandrauschen, das in der horizontalen Ebene aus 8 verschiedenen Richtungen eintrifft, von Versuchspersonen einstellen lässt. Die Personen tragen Kapsel und Stöpsel. Der angegebene Fehlwinkel ist die Differenz zwischen dem Winkel aus dem das Signal eintrifft und dem von der Person eingestellten Winkel. Dieser eingestellte Fehlwinkel (Tabelle 5-2) ist beim Tragen der Kapsel, wie auch des Stöpsels, mehr als doppelt so hoch ($30^\circ - 65^\circ$) als der Fehlwinkel, der ohne Gehörschutz eingestellt wird ($10^\circ - 30^\circ$).

Tabelle 5-2 Eingestellte Fehlwinkel bei der Beurteilung der Richtung von Oktavbandrauschen bei den Mittenfrequenzen (0.25, 0.5 ... 8 kHz), die aus 8 verschiedenen Richtungen ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ \dots 315^\circ$) eintreffen, gemittelt über die 8 verschiedenen Einfallsrichtungen

Frequenz in kHz	Gehörschutz		
	ohne	Kapsel	Stöpsel
0.25	15°	30°	35°
0.5	10°	30°	30°
1	20°	45°	40°
2	30°	65°	45°
4	30°	55°	35°
8	15°	50°	50°

Aus Tabelle 5-3 erkennt man, dass die eingestellten Fehlwinkel beim Schalleinfall von vorne (0°) und von hinten ($135^\circ, 180^\circ$) besonders hoch sind. Aus den Tabellen kann man ablesen, dass die Schallortung beim Tragen von Stöpseln vor allem bei höheren Frequenzen mit etwas geringeren Fehlern ausgeführt werden kann als beim Tragen von Kapseln. Nur bei tiefen Frequenzen ist die Erkennung der Schalleinfallrichtung mit der Kapsel leichter als mit dem Stöpsel, vermutlich weil die Schalldämmung der Kapsel bei tiefen Frequenzen geringer ist. Auch in Versuchen mit einzelnen Personen, die Gehörschutzstöpsel oder Kapseln tragen, wird eine deutliche Minderung des Richtungshörens beobachtet (*Döring* 1986).

Tabelle 5-3 Eingestellte Fehlwinkel für 5 verschiedene Einfallsrichtungen für Signale von Oktavbandrauschen mit den Mittenfrequenzen 0.5, 1...8 kHz bei drei Gehörschutzsituationen

Einfallsrichtung	Gehörschutz		
	ohne	Kapsel	Stöpsel
0°	$0^\circ - 30^\circ$	$10^\circ - 75^\circ$	$15^\circ - 80^\circ$
45°	$15^\circ - 25^\circ$	$20^\circ - 40^\circ$	$15^\circ - 25^\circ$
90°	$15^\circ - 25^\circ$	$15^\circ - 35^\circ$	$15^\circ - 30^\circ$
135°	$15^\circ - 40^\circ$	$40^\circ - 90^\circ$	$40^\circ - 45^\circ$
180°	$35^\circ - 120^\circ$	$75^\circ - 140^\circ$	$45^\circ - 150^\circ$

In einer Untersuchung mit Helmen und Gehörschutz (*Vause & Grantham* 1999) zeigt sich, dass das Benutzen eines Helms keinen signifikanten Einfluss auf die Lokalisie-

zung von Richtungen in der Horizontalebene hat. Benutzt werden weiterhin zwei Stöpsel (EAR, R = 25 - 40 dB; ER 25, R = 20 - 25 dB). Dargeboten wird ein kurzes (100 ms) hochfrequenten Signal (60 dB) innerhalb von zwei Richtungsfeldern (frontal und lateral). Die Abweichungen beim Tragen der Stöpsel sind sehr deutlich, vor allem in der lateralen Situation (Abbildung 5-2).

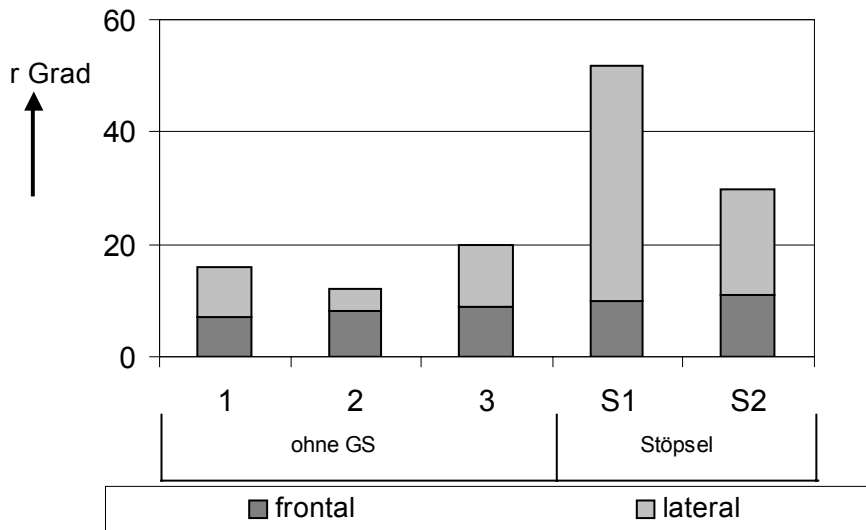


Abbildung 5-2a Mittlerer Fehler (r in Grad) bei der Bestimmung einer horizontalen Richtung eines Signals (60 dB; frontal 270° ... 0° ... 90° und lateral + 180° ... 270° ... 0°)

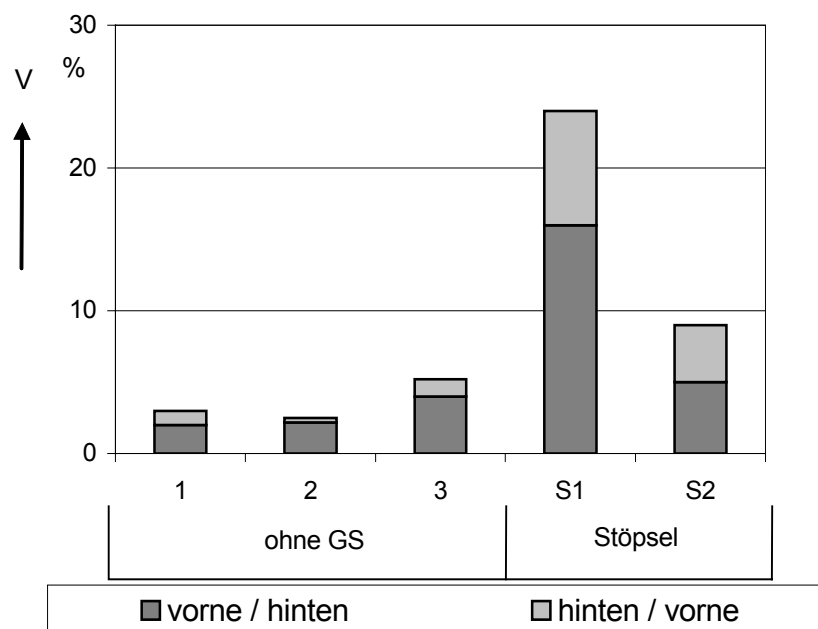


Abbildung 5-2b Prozentsatz (v) der vorne / hinten und hinten / vorne - Verwechslung für 5 Hörsituationen: 3 ohne Gehörschutz (1, 2 (Wiederholung), 3 (30 dB niedriger Pegel)) und mit Gehörschutz (Stöpsel : S1 (EAR), S2 (ER25))

Unter weitgehend betriebsnahen Bedingungen haben *Nakladal & Henning* (1995) die Ortung von Warnsignalen geprüft.

Sie benutzten 5 Betriebssignale wie Hupen, Typhone (Zweiklanghorn), Rettungswagen-Signale etc., 3 Gehörschützer (Stöpsel, Kapsel, Kapsel mit pegelabhängiger Dämmung) und 5 Geräusche. Die Signale wurden über 8 Lautsprecher aus 8 Richtungen in horizontaler Ebene dargeboten.

Die korrekt erkannten Richtungen der Warnsignale (Abbildung 5-3) sind beim Tragen von Gehörschutz bis zu 10 bis 25 % geringer als beim ungeschützten Ohr. Diese Tendenz wird auch bei der subjektiven Einschätzung der Situation hinsichtlich der Ortung deutlich; der Unterschied zwischen der Situation ohne Gehörschutz gegenüber denen mit Gehörschutz liegt bei 90%. Das lässt vermuten, dass die Unsicherheit bei der Ortung in den Gehörschutzsituationen relativ hoch ist.

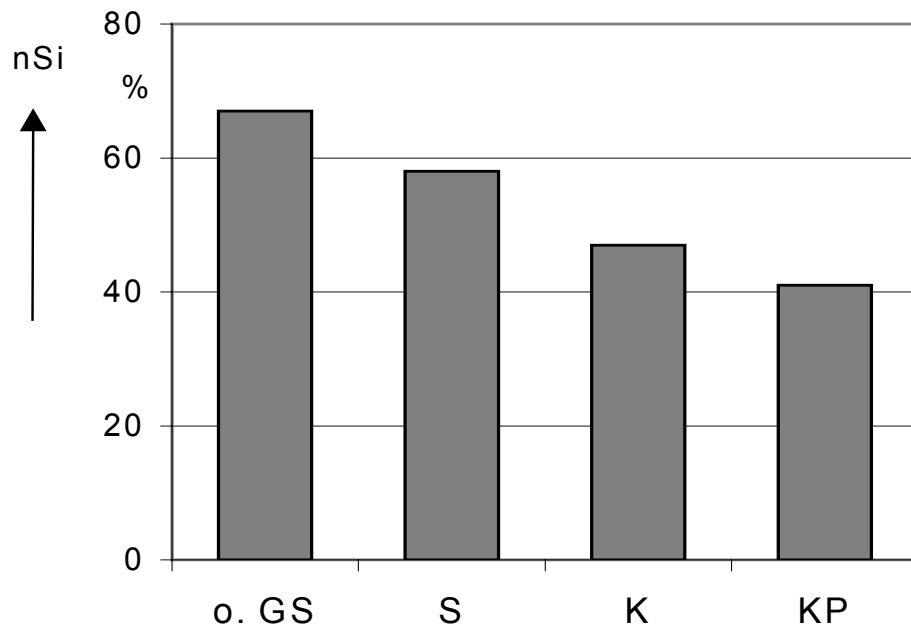


Abbildung 5-3 Anteil der richtig georteten Signale (nSi) in den Situationen ohne Gehörschutz (o. GS), mit Stöpsel (S), Kapsel (K) und pegelabhängiger Schalldämmung (KP), bei 5 verschiedenen Geräuschen ($L_{NA} = 96$ bis 93 dB), 5 Betriebssignalen ($L_{SA} = 80$ bis 110 dB) über 8 Richtungen (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315°)

Sieben Gehörschützer wurden von *Nobel et al.* (1990) in horizontaler und vertikaler Ebene untersucht. Auch hier zeigen die Ergebnisse Defizite bei der Ortung (Abbildung 5-4). Deutlich höhere Fehler bei der Ortung und längere Zeiten bis zu der Urteilsfindung zeigt ein weiteres Experiment (Tabelle 5-4) von *Nobel & Gates* (1985).

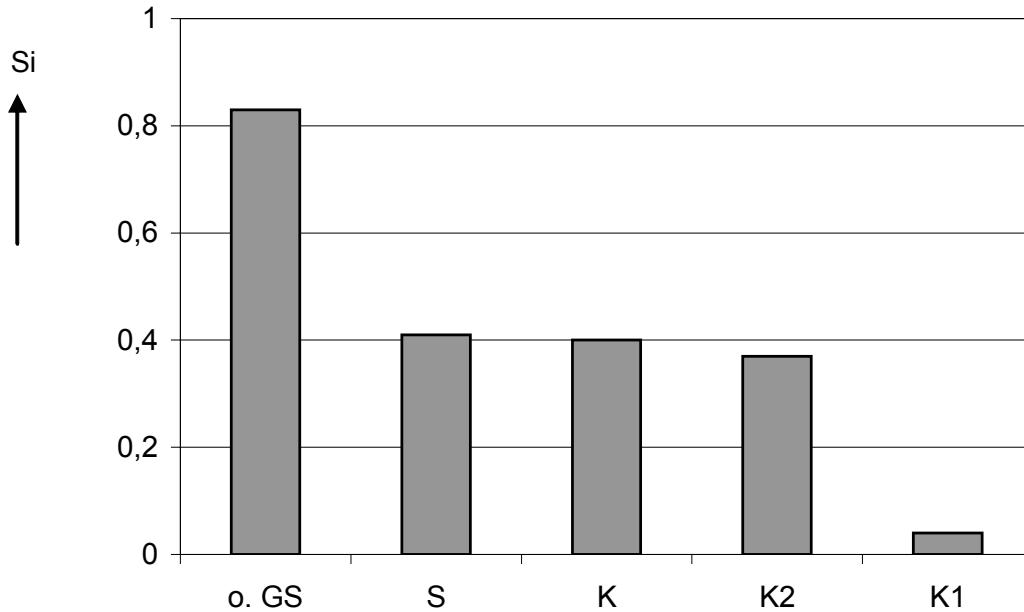


Abbildung 5-4 Anteil korrekt georteter Signalrichtungen (S_i) (10 Lautsprecher horizontal und 10 vertikal) mit Signalen (0,2 bis 8 kHz Impulsen aus Terzrauschen, 150 ms), jeweils gemittelt über Reihenfolgen mit verschiedener Lautsprecheranordnung bei der Hörbedingungen ohne Gehörschutz (o. GS), Stöpsel (S), Kapsel (K), aktiver Kapsel mit 2 Mikrofonen (K2) und mit einem Mikrophon (K1)

Tabelle 5-4 Fehler bei der Ortung von Signalen (Terzrauschen mit der Mittenfrequenz 2,8 kHz) in der horizontalen und vertikalen Ebene und Entscheidungszeiten (T in s) bei zwei Hörbedingungen (ohne Gehörschutz (GS), mit Kapsel)

Ebene	Fehler		T in s
	Horizontal	Vertikal	
ohne GS	9	251	3.4
Kapsel	222	595	6.3

Auch *Tominaga* (1969) weist auf längere Reaktionszeiten beim Identifizieren von Signalen und beim Tragen von Gehörschutz hin.

In einer Untersuchung mit Schwerhörigen wurde die Ortung von zwei Signalen (Terzrauschen bei 0,5 und 4 kHz, 300 ms) untersucht (*Abel & Armstrong* 1992, *Abel & Hay* 1996, *Abel* 1996). In der horizontalen Ebene sollten von den Versuchspersonen in 4 Hörbedingungen die Richtung von 6 Lautsprechern ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigen eine verringerte Anzahl von 10 bis 25% der korrekt angegebenen Richtung für Normalhörende und Schwerhörige bei dem Benutzen von Gehörschutz (Abbildung 5-5). Die Kapsel mit pegelabhängiger Schalldämmung wirkt sich teilweise positiv aus.

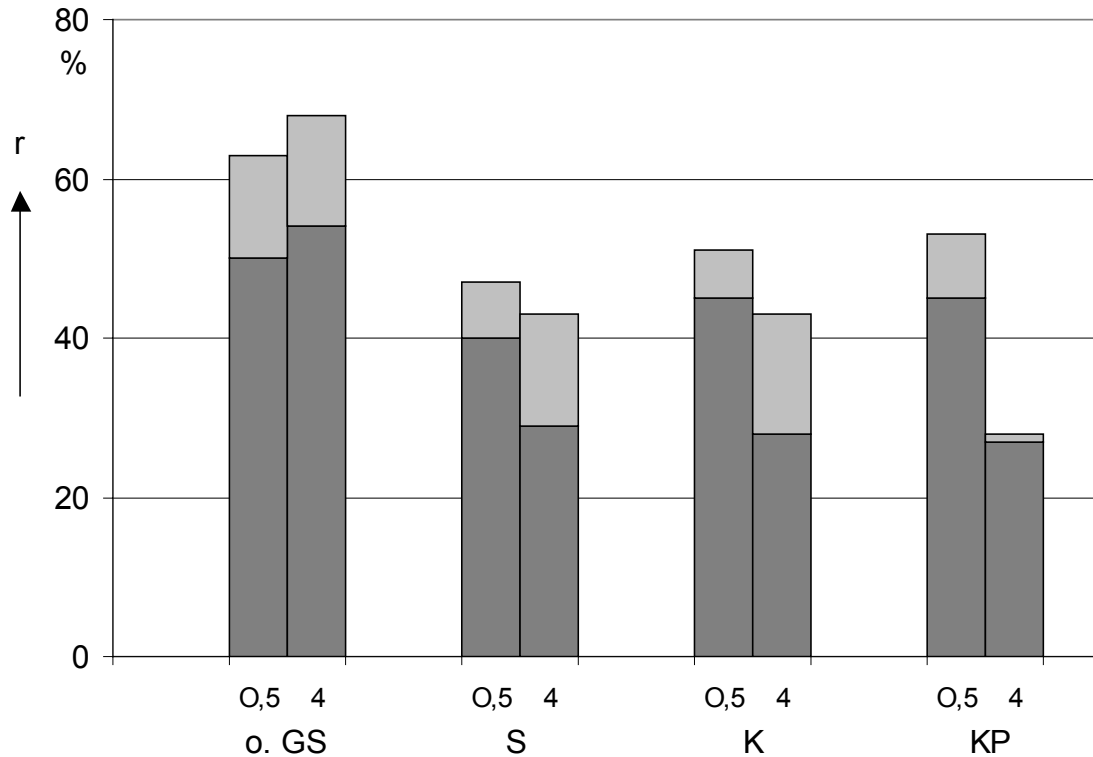


Abbildung 5-5 Korrekt angegebene Richtung (r in %), gemittelt über sechs Richtungen in horizontaler Ebene (60° , 90° , 150° , 210° , 270° , 330°) für normalhörende (hell unterlegt) und schwerhörige (dunkel unterlegt) Personen (für 0,5 / 4 kHz Hörverlust $L_{HVT} = 14 / 20$ und $23 / 54$ dB) für Signale 0,5 kHz (links) und 4 kHz (rechts) und unterschiedlichem Gehörschutz (o. GS: ohne Gehörschutz, S: Stöpsel, K: Kapsel, KP: Kapsel mit pegelabhängiger Dämmung) ($L_{SA} = 80$ dB, $L_{NA} = 65$ dB)

Mershon & Lin (1987) zeigten in ihren Experimenten ($L_{NA} = 86$ dB, Impuls-Signal ($f > 1$ kHz), $L_{SA} = 85$ dB), dass die Fähigkeit zu orten mit der Schalldämmung der Gehörschützer deutlich abnahm.

Da es im Verkehr und in der Industrie häufig auf Grund des Arbeitsablaufs nicht möglich ist, eine Kopfbewegung zur Lokalisation der Signale einzusetzen, um durch visuelle Eindrücke und Kopfdrehung eine Verbesserung der Ortung zu erreichen, wurden auch Versuche mit fixiertem Kopf durchgeführt (*Nobel* 1981). Mit fixiertem Kopf lag der Anteil der richtig georteten Richtung um 50 % niedriger als beim unfixierten Kopf. Die Versuchspersonen benötigen mit Gehörschutz länger zur Ortung als ohne: Die Entscheidungszeit bis zur Ortung betrug mit Gehörschutz 6.25 s, ohne Gehörschutz 1.85 s.

Diese Ergebnisse über die Ortung von Signalen zeigen deutliche Defizite beim Tragen von Gehörschutz. Sie sind kaum nur durch den niedrigeren Pegel im Ohr, aber auch nicht allein durch das Ausschalten der Funktion der Ohrmuschel (Pinna) gegeben. Denn würde letzteres gelten, müssten ausnahmslos die Kapseln eine Verschlechterung der Ortung bedingen. Aber auch Stöpsel reduzieren das Ortungsvermögen in fast gleicher Weise. Das Ortungsvermögen ist offenbar zu einem Teil ein

unter realen akustischen Bedingungen erlernter und ausdifferenzierter Prozess, der an ein komplexes Gefüge von physikalischen Bedingungen (interaurale Differenzen in Pegel, Zeit, Frequenz; Spektralverteilungen am Ohr) gebunden ist. Dieser Prozess wird aber durch den Gehörschutz gestört. Natürlich zeigen alle Versuche einen höheren Verwechslungsgrad hinten/vorne als einen seitlichen (rechts/links).

Weitere Ergebnisse, wie Messungen der Frequenzspektrums-Änderung am Ohreingang durch die Schalldämmung der Gehörschützer (*Ruszel 1976*) und der interauralen Differenzen (*Middlebrooks & Green 1991*) sowie Lernversuchen zur Schallortung (*Ruszel 1976, 1977*) geben Begründungen für die aufgeführten Defizite. Insgesamt kann man aus den vorhandenen Daten schließen, dass das Tragen von Gehörschutz die notwendige Informationsaufnahme zur sicheren und schnellen Ortung von Schallsignalen durch eine geringere, unsicherere und verzögerte Hörleistung deutlich vermindert.

5.5 Sprachverständlichkeit und Gehörschutz

Der Gehörschutz ist durch zweierlei gekennzeichnet;

- Gehörschutz reduziert den Schalldruckpegel der Sprache und Geräusch am Ohr.
- die Schalldämmung der Gehörschützer ist in der Regel frequenzabhängig, das heißt, der Pegel wird für bestimmte Frequenzbereiche unterschiedlich reduziert.

Wenn der Schallpegel der Sprache bei ca. $L_{SA} = 50$ dB und niedriger liegt, besteht die Möglichkeit reduzierter Sprachverständlichkeit (*Kryter 1946*), weil Teile der Sprache unter die Hörschwelle fallen. So wird die Sprachverständlichkeit bei niedrigen Sprechpegeln (in Ruhe) im Gegensatz zu hohen Sprechpegeln (um $\pm 2\%$) deutlich reduziert (um 10 - 30 %) (*Hashimoto et al. 1996*, s. Abbildung 5-6). Das gilt nicht nur in Ruhe, sondern in geringerem Umfang auch bei mäßigen Geräuschpegeln. Eine negative Korrelation (0.75) zwischen Schalldämmung und Sprachverständlichkeit zeigt sich allerdings deutlich nur in Ruhe. Eine geringe Sprachverständlichkeit in Ruhe gilt vor allem für schwerhörige Personen, da ihre Hörschwelle bedingt durch den Hörschaden schon höher liegt. Für die Praxis ist die Ruhe-Situation nicht unwichtig, da man gewohnt ist, sich in Lärmpausen unterhalten zu können.

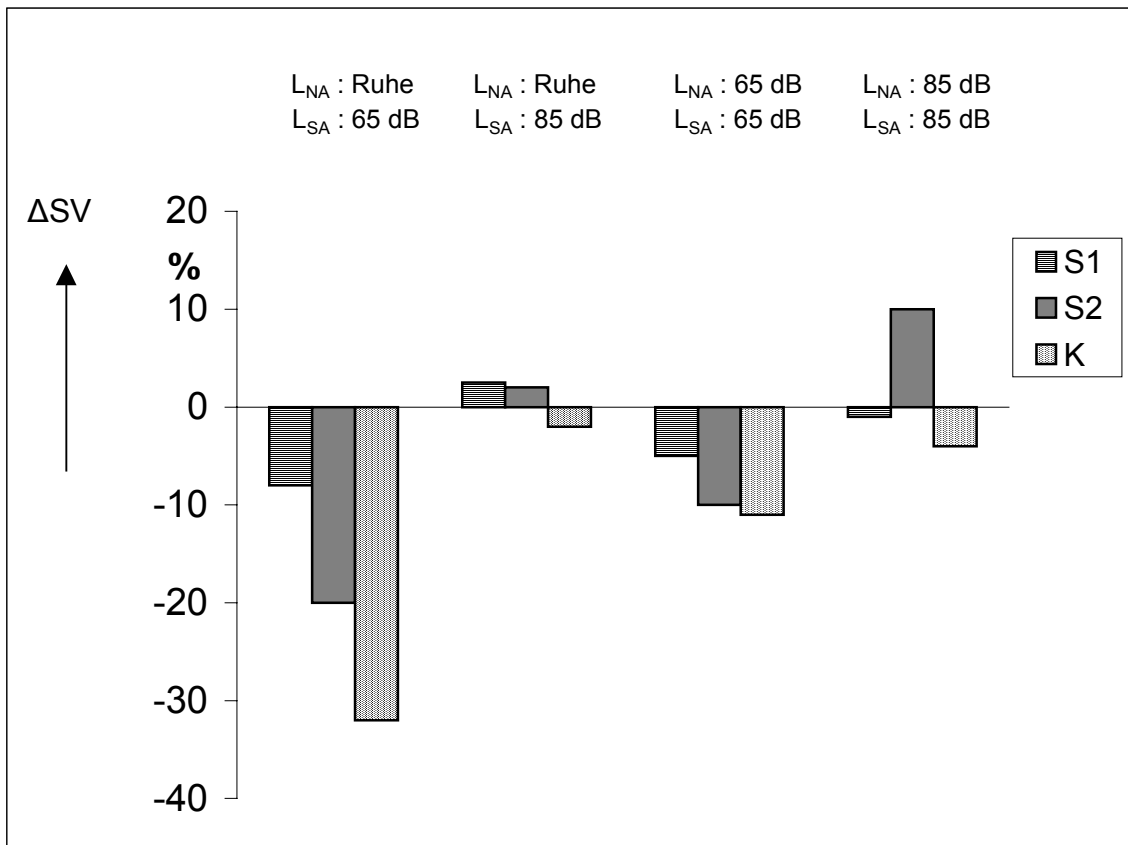


Abbildung 5-6 Differenz der Sprachverständlichkeit ($\Delta SV = SV(\text{GS}) - SV(\text{o.GS})$) für Stöpsel (S1,R (0.25 - 2 kHz) = 9 - 22 dB; S2,R (0.25 - 2 kHz) = 17 - 29 dB) und Kapsel (K, R (0.25 - 2 kHz) = 13 - 35 dB) mit niedrigen/hohen Sprechpegel am Ohr des Hörers (L_{SA}) bei Ruhe und einem Signal-Geräuschabstand von $L_{SNA} = L_{SA} - L_{NA} = 0 \text{ dB}$

Bereits *Kryter* (1946) gibt in seiner Untersuchung Verbesserungen der Sprachverständlichkeit an, wenn Gehörschutzstöpsel getragen werden. Für Geräuschpegel und Sprachpegel von $L_{NA} \approx L_{SA} \approx 90$ bis 110 dB steigt die Sprachverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz um $SV = 5$ bis 10 % an.

Bei Geräuschpegeln von $L_N = 70$ bis 110 dB und einem Signal-Geräuschabstand von $L_{SN} = 0$ und 12 dB verbesserte sich ab Geräuschpegeln von $L_N \geq 100$ dB die Sprachverständlichkeit durch Stöpsel um $SV = 0$ bis 15 % (*Pollack* 1957).

Williams et al. (1971) beschallte Personen mit Innengeräuschen eines Flugzeuges (tieffrequentes Geräusch $L_N = 95 - 105 \text{ dB}$ bei $f_i \leq 500 \text{ Hz}$) und ließ dabei einen Sprecher Wörter vorlesen; die Hörer trugen Gehörschutzstöpsel oder keinen Gehörschutz. Mit Gehörschutz lag die Sprachverständlichkeit $SV = 7 \%$ höher als ohne Gehörschutz.

Nur unter der Voraussetzung, dass Geräusch und Signal (Sprache) sich in ihrem Frequenzgang stark unterscheiden – wie z.B. bei Sprache und tief- oder hochfrequentem Maschinenlärm – kann eine frequenzabhängige Dämmung dazu führen, dass sich der Signal-Geräusch-Abstand durch den Gehörschutz verändert. Sind Geräusch und Sprache im Frequenzbereich ähnlich gelagert, was in der Regel der Fall ist (500 Hz – 4 kHz), werden auch bei der frequenzabhängigen Dämmung beide glei-

chermaßen reduziert, der Signal-Geräusch-Abstand verändert sich nicht oder nur geringfügig.

Ein offensichtlicher Nachteil der frequenzabhängigen Dämmung liegt darin, dass der Höreindruck verändert wird und dadurch unnatürlich erscheint (tiefenbetont), was Akzeptanz und Tragebereitschaft beim Hörer vermindert (*Berger 1991*). Durch nahezu frequenzunabhängige Dämmung – wie sie bei Gehörschützern für Musiker angeboten wird – reduziert man nur die Lautstärke, der natürliche Höreindruck bleibt weitgehend erhalten.

Die frequenzabhängige Dämmung wirkt sich außerdem recht deutlich auf die Sprachverständlichkeit aus; die meisten Ergebnisse dazu stammen aus Experimenten, die Stöpsel und Kapseln vergleichen. Die meisten Stöpsel reduzieren den Pegel annähernd gleichmäßig, während die Dämmung der Kapsel mit der Frequenz deutlich zunimmt. In den Experimenten mit Kapseln ($L_{NA} > 80$ dB) wird über leichte Zunahmen (*Fröhlich 1978, Lindeman 1976, Chung & Gannon 1979, Wilde & Humes 1990, Pekkarinen et al. 1990, Howell & Martin 1975*) und Abnahmen (*Chung & Gannon 1979, Abel et al. 1980, Baumann & Marston 1986, Wilde & Humes 1990, Nakladal & Listner 1997*) der Verständlichkeit berichtet.

Werden bei diesen Schallpegeln Stöpsel benutzt, wird die Sprachverständlichkeit um bis zu 10% verbessert (*Kryter 1946, Howell & Martin 1975, Wilde & Humes 1990*). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Abbildung 5-7 dargestellt.

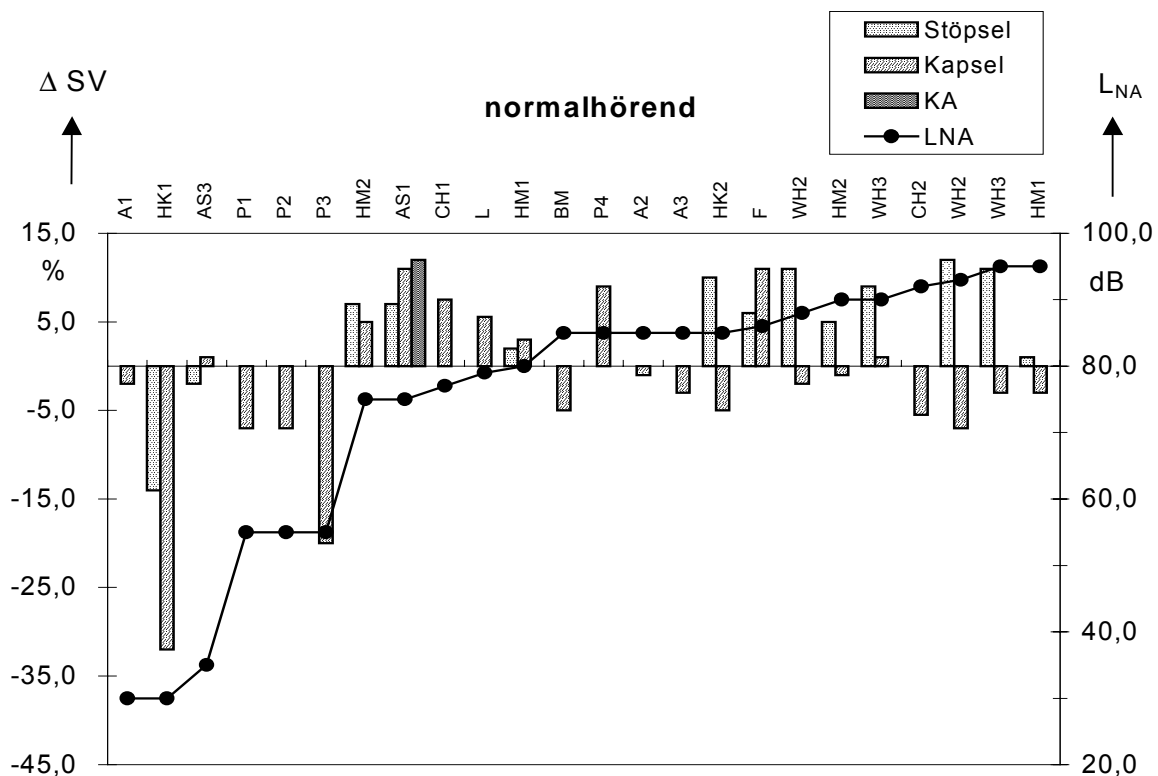


Abbildung 5-7 Zunahme / Abnahme der Sprachverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz (GS: Stöpsel, Kapsel, Kapsel aktiv) gegenüber der Situation ohne Gehörschutz (o.GS) ($\Delta SV = SV(GS) - SV(o.GS)$) bei unterschiedlichen Geräuschpegeln (L_{NA}) gemessen beim Hörer; Abkürzungen und Daten s. Tab. 5 - 5)

Bei Sprache und Geräuschen mit hohen Schallpegeln ($L_A > 85$ dB) hat die Minderung des Schallpegels einen positiven Effekt auf das Sprachverständnis. Als Grund wird dafür die Reduzierung des Pegels durch den Gehörschutz angegeben; ein reduzierter Pegel verringert die Weitabverdeckungen, eine Übersteuerung des Ohres mit nichtlinearen Verzerrungen im Ohr (Klirrfaktor) und die Ermüdungen des Hörorgans, insbesondere die Bildung einer zeitweiligen Hörschwellenverschiebung (*Kryter 1946, Pickett 1956, Pickett & Pollack 1958, Martin et al. 1976, Studebaker et al. 1999*).

Die dadurch bedingte Verbesserung der Sprachverständlichkeit wird vor allem für Stöpsel beobachtet, da bei diesen der Schallpegel von Geräusch und Sprache bei Frequenzen bis 2 kHz nahezu gleichmäßig um 15 bis 30 dB reduziert wird.

Bei Kapseln hingegen steigt die Dämmung deutlich mit der Frequenz. Kapseln reduzieren den Schallpegel in den Frequenzen zwischen 1 und 4 kHz, die für die Sprachverständlichkeit am wichtigsten sind, um 30 bis 40 dB, während der Schallpegel tieferer Frequenzen ($f < 500$ Hz) kaum beeinflusst wird. Damit ist der Schallpegel im tieffrequenten Frequenzbereich beim geschützten und ungeschützten Ohr etwa gleich. Die Pegel der wichtigen Sprachfrequenzen werden somit stärker gedämmt als die tieffrequenten Anteile der Geräusche und der Sprache. Beim Benutzen der Kapsel nimmt daher die verdeckende Wirkung der tieffrequenten Geräusche, die Weitabverdeckung, auf die höheren Sprachfrequenzen gegenüber dem ungeschützten Ohr zu. Auch eine eventuell aufgetretene Übersteuerung des Ohres durch tieffrequente Geräuschanteile bleibt weitgehend erhalten (*de Boer & Poissenot 1992*).

In dem besonderen Fall des Helikopter-Geräusches ($L_{NA} = 97 / L_N = 106$ dB) und des Benutzen eines Headsets, reduziert das zusätzliche Tragen einer Brille die Sprachverständlichkeit ($\Delta SV = 20$ bis 40 %); wird zusätzlich zum Headset noch ein Stöpsel benutzt, sinkt die Sprachverständlichkeit von 70 bis 90 % je nach Dämmung des Stöpsels um 10, 40, 60 % (*Wagstaff et al. 1996, Wagstaff & Woxen 2001*). Offenbar sinken durch die hohe Schalldämmung bei hohen Frequenzen die Konsonanten schon unter die Hörschwelle. Auch hat man vermutlich die Grenze der Schalldämmung durch Gehörschutz erreicht; die Maskierung durch die Knochenleitung bleibt trotz Stöpsel erhalten.

Die pegelreduzierenden und die frequenzabhängigen Effekte wirken natürlich zusammen und deren Einfluss lässt sich nur in Zusammenhang der Spektren von Sprache, Geräusch und Schalldämmung diskutieren. Als Trend lässt sich festhalten, die Sprachverständlichkeit wird verringert, wenn Gehörschutz mit frequenzabhängiger Dämmung (Kapseln) getragen wird, insbesondere bei Geräuschen mit mittleren oder tiefen Frequenzen. Nur bei Gehörschutz mit einer Dämmung, die weitgehend frequenzunabhängig ist (Stöpsel), bleibt die Sprachverständlichkeit gleich oder wird leicht verbessert.

Inzwischen sind eine Reihe von Gehörschützern auf dem Markt, die einen ziemlich frequenzunabhängigen Frequenzgang aufweisen (*Killion et al. 1988, Berger 1990*). Hilfreich sind vor allen auch Stöpsel mit einem gleichmäßigem Frequenzgang und einer niedrigen Schalldämmung ($R = 10$ -20 dB). Solche Gehörschützer können in der Regel in einem Pegelbereich von $L_{NA} = 85$ bis 95 dB benutzt werden, soweit die einzelnen Gehörschützer die Prüfung gemäß *DIN EN 458* bestehen (*Werkmeister-Stephan & Liedtke 1998*). Mit solchen Stöpseln kann so die akustische Umweltorien-

tierung, die Erkennung von Warnsignalen und die Sprachkommunikation weitgehend erhalten werden. Da auch der Klangcharakter der Musik erhalten bleibt, werden diese gerne von Orchestermusikern benutzt (*Berger 1991*).

Seit Jahren sind auch Kapseln mit einer möglichst frequenzunabhängigen Schalldämmung entwickelt worden: sowohl konventionelle Kapseln als auch Kapseln mit pegelabhängiger Schalldämmung (*Delfs & Liedtke 2003*). Der Einsatz dieser Kapseln zeigt widersprüchliche, teilweise positive Ergebnisse für die Sprachverständlichkeit (*Arlinger 1992, Abel & Spencer 1997, Nakladal & Listner 1997, Hiselius 2000*). Bei einer konventionellen (passiven) Kapsel mit einer weitgehend abgeflachten Schalldämmung für hohe Frequenzen zeigt sich ein positiver Effekt auch für leicht Schwerhörige, wie beim entsprechenden Stöpsel (*Hiselius 2000*). Bei Kapseln mit pegelabhängiger Dämmung ergeben nur die aktiven Kapseln eine verbesserte Sprachverständlichkeit (*Arlinger 1992*).

5.6 Sprachverständlichkeit, Gehörschaden und Gehörschutz

Gerade in Lärmumgebungen muss leider davon ausgegangen werden, dass ein Teil der zu schützenden Personen durch Lärmexposition in der Vergangenheit bereits einen Gehörschaden erhalten hat, der durch eine vorherige Lärmexposition, Alter oder ototoxische Stoffe hervorgerufen sein kann. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass sich Gehörschutz bei Schwerhörigen anders auswirkt, als bei Normalhörenden (*Fröhlich 1978, Lindeman 1976, Chung & Gannon 1979, Abel et al. 1980, Abel et al. 1982a, b, Baumann & Marston 1986, Wilde & Humes 1990*).

Die Untersuchungen von Abel et al. (1980, 1982a, b) stellen eine vergleichsweise typische Vorgehensweise dar.

Für Schwerhörige mit einem flach verlaufenden und mit einem nach hohen Frequenzen hin steil abfallenden Hörverlust haben *Abel et al.* (1980, 1982a, b) die Wortverständlichkeit (Einsilber) bei Pegeln der Sprache von $L_{SA} = 80/90$ dB und zwei Geräuschen (weißes Rauschen und ein sprachähnliches Rauschen) gemessen (Abbildung 5-7). Die Hörverluste der Personen liegen bei $L_{HVT} = 25$ bis 80 dB, wobei die Hörschwelle im Freifeld als Mittelwert der Frequenzen 0,5/1/2 kHz bestimmt wurde.

Für Normalhörende hatte das Tragen einer Kapsel auf die Verständlichkeit kaum einen Einfluss, für die Schwerhörigen nahm die Sprachverständlichkeit beim Benutzen der Kapsel um $SVE = 15$ bis 30 % gegenüber dem ungeschützten Ohr ab. Es ist interessant zu erwähnen, dass schon in Ruhe der Einfluss der Kapsel für die Schwerhörigen eine erhebliche Verminderung der Verständlichkeit von $SVE = 15$ bis 50 % bewirkt. Generell zeigt sich, dass für schwerhörige Personen die Verminderung der Sprachverständlichkeit umso größer ist, je höher die Schalldämmung der Gehörschützer ist (*Abel et al. 1982a, b*).

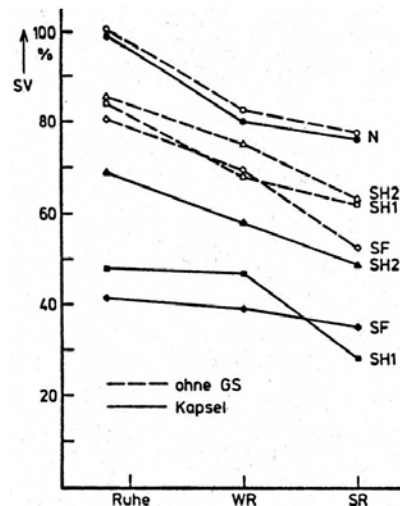


Abbildung 5-8 Verständlichkeit (SV) von Einsilbern dargeboten über einen Lautsprecher ($L_{SA} = 90$ dB) bei weißem Rauschen (WR) und sprachähnlichem Rauschen (SR) mit einem Geräuschpegel von $L_{NA} = 85$ dB für 4 Personengruppen: Normalhörende (N, Alter: 35 - 50 Jahre), Personen mit einem Hochtonverlust (SH1, SH2, Alter: 35 - 50 Jahre, 51 - 65 Jahre) und Personen mit einem flach verlaufendem Hörverlust (SF, Alter: 35 - 65 Jahre). Die Personen trugen keinen Gehörschutz (- - -) oder eine Kapsel (—) (nach *Abel et al.* 1980, 1982a, b).

Die Veränderung der Sprachverständlichkeit durch den Hörverlust und Gehörschutz ist in Abbildung 5-9a, b, c aufgeführt (siehe auch Tabelle 5-5). Eine kurze Übersicht enthält Tabelle 5-6.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass Personen mit geringen Hörverlusten ($L_{HVT} < 20$ dB bei 0,5, 1, 2 kHz oder $L_{HVT} < 35$ dB im Mittel bei 2,5 und 4 kHz), im Vergleich mit dem ungeschützten Ohr, bis zu 5% besser verstehen, wenn Stöpsel benutzt werden (*Wilde & Humes* 1990). Bei hochfrequenten Geräuschen gilt dieses Ergebnis auch für Kapseln (*Lindeman* 1976). Wenn Kapseln benutzt (*Wilde & Humes* 1990), oder, bei tieffrequentem Lärm, Kapsel oder Stöpsel getragen werden (*Fröhlich* 1978), nimmt die Sprachverständlichkeit bis zu 15 % ab. Bei Personen mit mittleren oder starken Hörverlusten die einen Gehörschutz benutzen nimmt die Sprachverständlichkeit deutlich um 10% bis 40 % ab (*Lindeman* 1976, *Fröhlich* 1978, *Chung & Gannon* 1979, *Abel et al.* 1980, *Baumann & Marston* 1986, *Wilde & Humes* 1990).

Tab. 5-5 Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz (GS: ohne (o), Stöpsel (S), Kapsel (K), aktiver Gehörschutz (KA) bei Schalldruckpegel beim Hörer (Geräusch L_{NA} , Sprache L_{SA}), Geräuschart (sprachähnliches Rauschen (SR), rosa Rauschen (RR), tieffrequent (tf), hochfrequent (hf), breitbandiges Geräusch (bb), Impulsgeräusch (im)) und gegebenem Sprachmaterial (Einsilber (Es), Sätze (Sz) mit hoher und niedriger Auftretenswahrscheinlichkeit (hV, nV), sinnlose Silben (sS)) und vier Gruppen von Hörverlusten (normal (n), leicht (l), mittel (m), schwer (s))

	Abkürzung	Geräusch L_{NA}		Sprache L_{SA}		Gehörschaden				Gehörschutz			
		Art	in dB	in dB	Sprachmaterial	n	l	m	s	o	S	K	KA
Howell & Martin 1975	HM1	hf	80/95	73-103	Es	x				x	x	x	
	HM2	tf	75/90	73-103	Es	x				x	x	x	
Lindeman 1976	L	hf	79	88	Es	x	x	x	x	x		x	
Fröhlich 1978	F	tf	86	86	Sz			x		x	x	x	
Chung & Gannon 1979	CH1	bb	77	87	Es	x			x	x		x	
	CH2	bb	92	87	Es	x			x	x		x	
Abel et al. 1980	A1	Ruhe	-	90	Es	x		x	x	x		x	
	A2	SR	85	90	Es	x		x	x	x		x	
	A3	hf	85	90	Es	x		x	x	x		x	
Abel et al. 1982	A1	Ruhe	-	90	Es			x		x	x		
	A2	SR	85	90	Es			x		x	x		
	A3	hf	85	90	Es			x		x	x		
Baumann & Marsten 1986	BM	SR	85	85	Worte	x		x		x		x	
Pekkarinen et al. 1990	P1	bb	55	60	Es	x				x		x	
	P2	bb	55	60	Sz	x				x		x	
	P3	bb	55	60	sS	x				x		x	
	P4	bb	85	85	Sz	x				x		x	
Wilde & Humes 1990	WH1	Ruhe	-	88	Sz	x	x			x	x	x	
	WH2	SR	93/88	88	Sz	x	x			x	x	x	
	WH3	hf	95/90	88	Sz	x	x			x	x	x	
Hashimoto, Kumashiro & Miyake 1996	HK1	Ruhe	-	65	Es	x				x	x	x	
	HK2	RR	85	85	Es	x				x	x	x	
Abel & Spencer 1997	AS1	im	75-85	80-90	Sz, hA	x	x			x	x	x	x
	AS2	im	75-85	80-90	Sz, nA	x	x			x	x	x	x
	AS3	Ruhe	-	-	Sz, nA	x	x			x	x	x	x

Tabelle 5-6 Veränderung der Sprachverständlichkeit gegenüber dem ungeschützten Ohr in Abhängigkeit von der Schwere des Gehörschadens und benutztem Gehörschutz, bei Geräuschpegeln über $L_{NA} = 80$ dB (Sprache erfolgt über Lautsprecher)

Gehörschaden	Gehörschutz	Veränderung der Sprachverständlichkeit durch Gehörschutz
Normal bis leicht	Kapseln	-10 bis 5 %
	Stöpsel	0 bis 10 %
mittel bis schwer	Kapseln	-40 bis -10 %
	Stöpsel	-25 bis -5 %

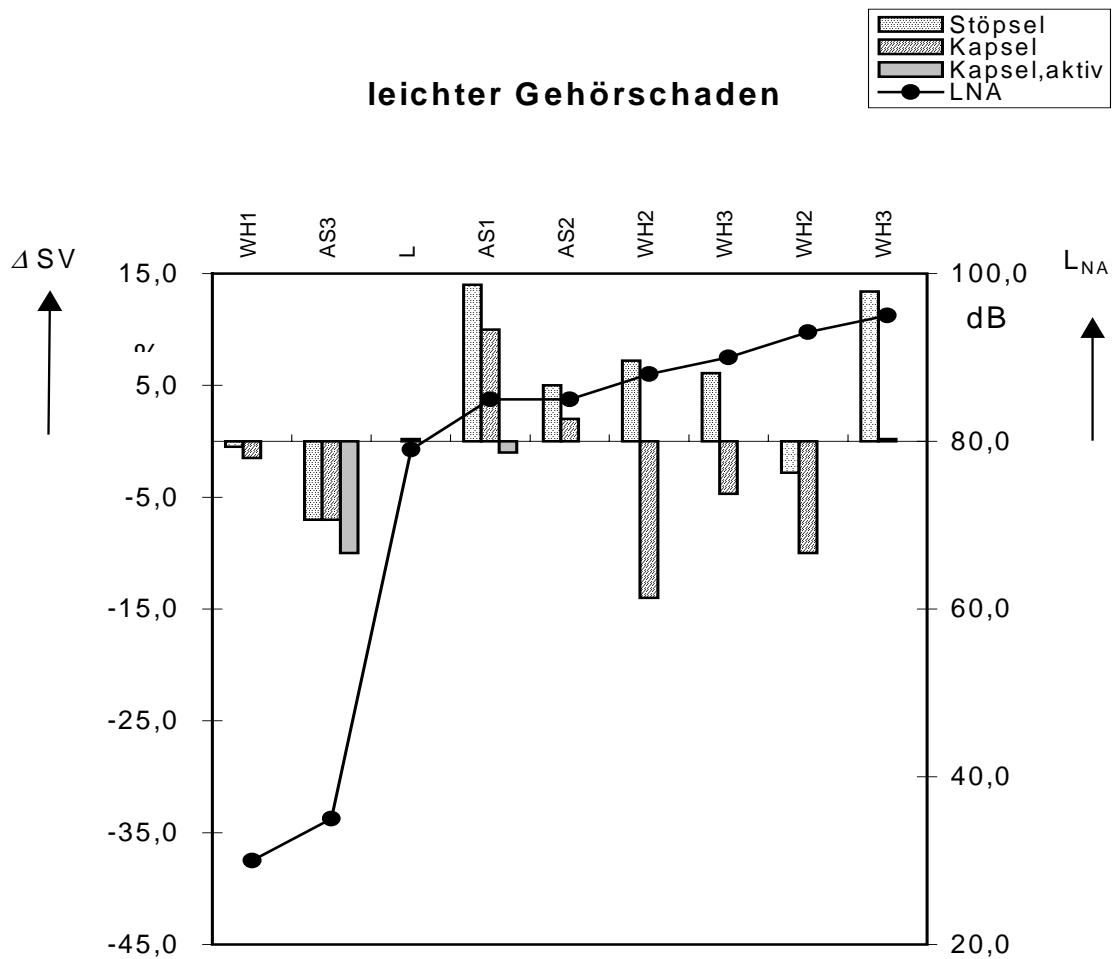


Abbildung 5-9a Sprachverständlichkeit und Gehörschutz für Personen mit leichten Gehörschäden (s. Abbildung 5-7, Tabelle 5-5)

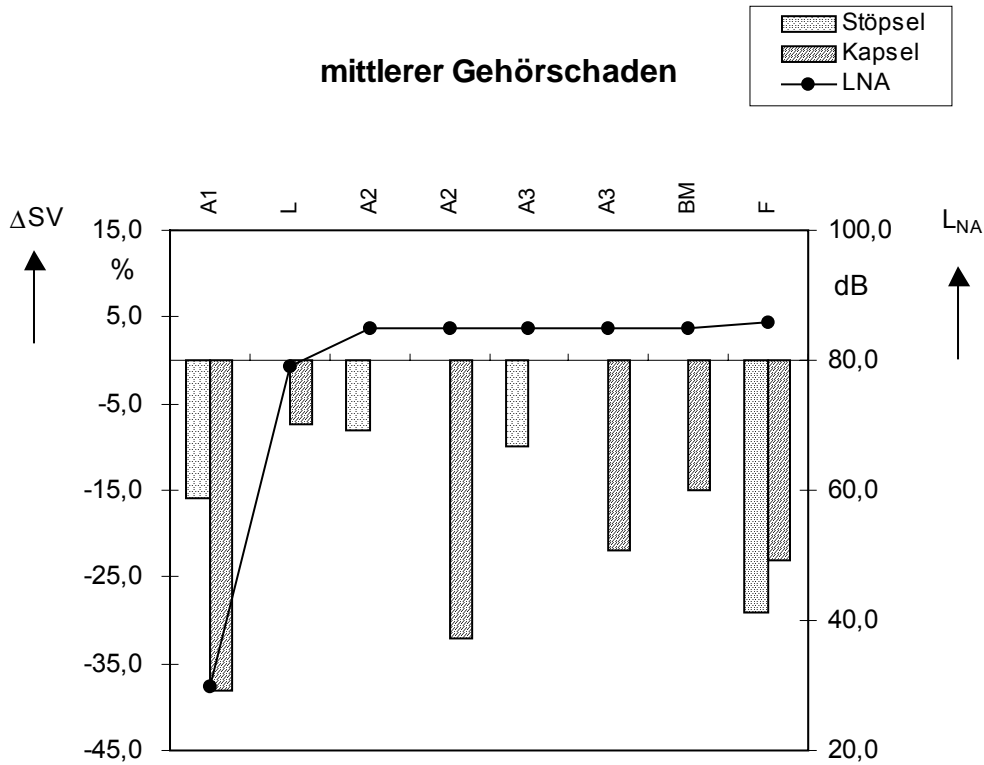


Abbildung 5-9b Sprachverständlichkeit und Gehörschutz für Personen mit mittleren Gehörschäden (s. Abbildung 5-7, Tabelle 5-5)

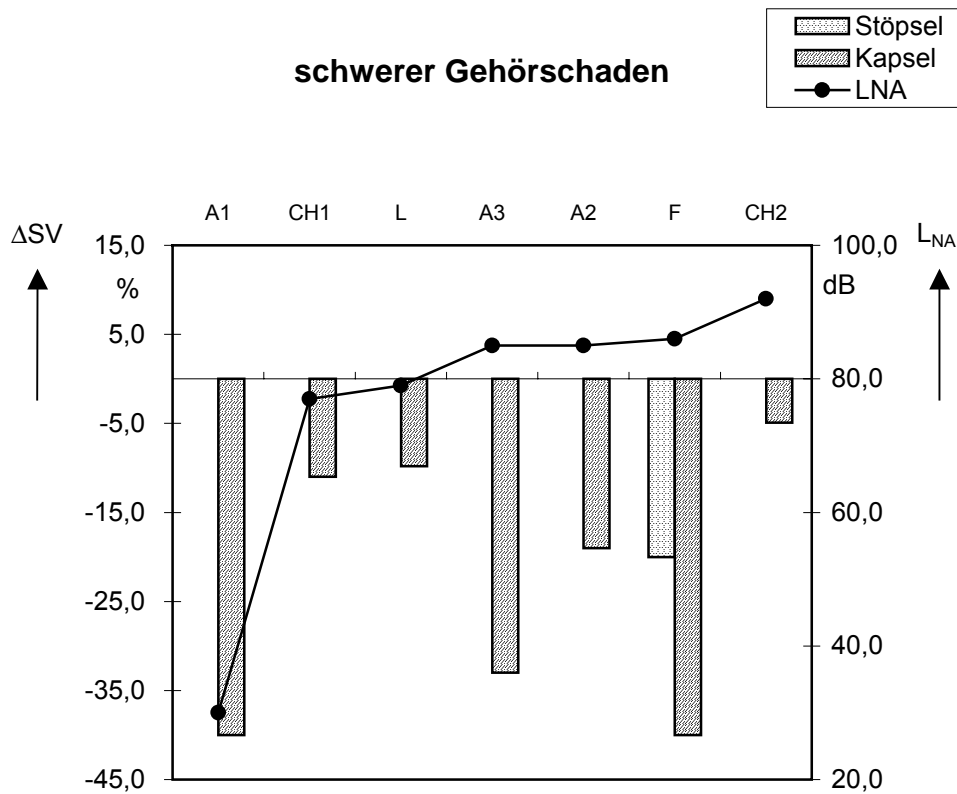


Abbildung 5-9c Sprachverständlichkeit und Gehörschutz für Personen mit schweren Gehörschäden (s. Abbildung 5-7, Tabelle 5-5)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Sprachverständlichkeit von normalhörenden Personen durch den Gehörschutz nur gering beeinflusst wird. Der Effekt des Gehörschutzes hängt vom Spektrum des Geräusches und dem Frequenzgang der Schalldämmung des Geräuschschutzes ab (Abbildung 5-7). Die Sprachverständlichkeit von schwerhörigen Personen nimmt dagegen deutlich ab, wenn sie einen Gehörschutz tragen (s. Abbildung 5-9a, b, c). Dafür sind mehrere Aspekte maßgebend:

- Durch die erhöhte Hörschwelle kann die Dämmung des Gehörschutzes dazu führen, dass Teile der Sprache, eher als beim Normalhörenden, unter die Verstehens- bzw. Wahrnehmungsschwelle sinken. Dies gilt insbesondere für die hochfrequenten Konsonanten, die die Verständlichkeit der Sprache wesentlich bestimmen. Denn sowohl Hörverlust (Alters- und Lärmschwerhörigkeit) als auch Gehörschutz reduzieren vor allem den Anteil der für die Sprachverständlichkeit wichtigen Frequenzen (1 bis 4 kHz).
- Geräusche mit einem hohen Anteil an tieferen und mittleren Frequenzen vermindern die Sprachverständlichkeit bei diesen Schwerhörigen besonders stark, da sie vor allem den Teil des Hörbereiches verdecken, der den Schwerhörigen noch zum Hören der Sprache verblieben ist. Durch den Gehörschutz wird dieser Effekt noch verstärkt.
- Außerdem ist bei Schwerhörigen die Verdeckung / Maskierung deutlicher ausgeprägt als bei normalhörenden (Rittmanic 1962). Das gilt insbesondere für die Verdeckung der Pegel der Sprache durch tieffrequente Geräusche (Weitabverdeckung). Beides, der Gehörschutz und die Schwerhörigkeit, erhöhen die Hörschwelle bei hohen Frequenzen relativ zu der bei tiefen Frequenzen, was insbesondere bei tieffrequenten Geräuschen wirksam wird.
- Letztendlich nimmt die Frequenzauflösung im überschwelligen Bereich bei Schwerhörigen ab (*Plomp* 1986).

Aus diesem Tatbestand ergibt sich folgendes Problem: will man Personen in Lärmbe-
reichen, in denen die Geräuschpegel über $L_{NA} = 85$ dB liegen, mit Gehörschutz vor
einer entstehenden Schwerhörigkeit schützen, so werden die Personen, die bereits
einen geringen Hörverlust haben, Schwierigkeiten beim Verstehen sprachlicher In-
formation bekommen. Um die Verminderung der Sprachverständlichkeit durch den
Gehörschutz möglichst gering zu halten, muss der Gehörschutz so ausgewählt wer-
den, dass bei einer möglichst minimalen Schalldämmung ein maximaler Schutz vor
zu hohen Geräuschintensitäten gewährleistet ist.

5.7 Sprachproduktion, Sprachkommunikation und Gehörschutz

Das Tragen von Gehörschutz beeinflusst nicht nur das Wahrnehmen von Sprache,
sondern auch die Sprachproduktion. In einer Kommunikationssituation, in der Spre-
cher und Hörer Gehörschutz tragen, wirkt sich das Tragen von Gehörschutz somit in
gewisser Weise doppelt aus.

Kryter entdeckte bereits 1946 in einem Experiment, dass ein Sprecher mit Gehörschutz bei einem Geräuschpegel von $L_{NA} = 95$ dB um 2-3 dB leiser redete als ohne Gehörschutz und die Sprachverständlichkeit um 10% sank, schenkte diesem Ergebnis jedoch wenig Beachtung.

Acton (1977) beobachtete ebenso, dass Sprecher mit Gehörschutz leiser redeten; vertrat jedoch die Meinung, dass durch die Gewöhnung an die neue Sprechbedingung allmählich wieder lauter gesprochen wird.

Auch *Asch et al.* (1977) erhielten in einer Fragebogenuntersuchung Hinweise dafür, dass die Sprachverständlichkeit in irgendeiner Weise durch das Tragen von Gehörschutz beeinträchtigt wird. Die Autoren gehen in der Interpretation der Ergebnisse jedoch nicht den Aussagen der Befragten nach, sondern führen ihre Befunde auf subjektive Faktoren (etwa Ablehnung des Gehörschutzes) zurück.

Howell & Martin führten 1975 ein Experiment durch, in dem die verschiedenen Bedingungen für Gehörschutz bei Sprecher und Hörer systematisch variiert wurden.

Ein Sprecher wurde mit drei Hörern in definiertem Abstand zueinander und zum Lautsprecher, aus dem das Geräusch abgestrahlt wurde, platziert. Sprecher und Hörer trugen je nach experimenteller Bedingung Stöpsel, Kapseln oder keinen Gehörschutz. Der Sprecher hatte die Wortlisten vorzulesen, der Hörer hatte aufzuschreiben, was er verstanden hatte. Der Schallpegel des Geräusches betrug $L_{NA} = 54$ oder 93 dB. Das Pegelmaximum lag bei etwa 2 kHz. Die Nachhallzeit betrug $T = 0,7$ s.

Eine weitere Untersuchung (*Hörmann et al.* 1981, 1982) sollte die Frage klären, warum sich Arbeitnehmer so häufig über das schlechte Sprachverstehen beim Tragen von Gehörschutz beschwerten. Dazu wurde ein Experiment zur sprachlichen Interaktion von Sprecher und Hörer, mit und ohne Gehörschutz, durchgeführt.

Sprecher und Hörer wurden mit verschiedenen lauten Geräuschpegeln ($L_{NA} = 76, 84, 92$ dB) beschallt, das Gehörschutztragen beim Hörer und Sprecher wurde systematisch variiert. Der Sprecher las dem Hörer einen Text, Einsilber und Sätze vor und beschrieb ihm Bildgeschichten. Die Aufgabe des Hörers war, die vorgesprochenen Einsilber und Sätze nachzusprechen und zu unterstreichen, was er vom vorgelesenen Text verstanden hatte. Bei den Bildgeschichten hatte der Hörer die Aufgabe, nach jedem der jeweils fünf Bilder sinngemäß wiederzugeben, was er verstanden hatte; in einer anderen Bedingung sollte er den Sprecher auffordern, dass zu wiederholen, was er nicht verstanden hatte.

Allgemein konnten die Ergebnisse aus der Untersuchung von *Howell & Martin* (1975) bestätigt werden. Der Sprecher mit Gehörschutz sprach im Vergleich zum Sprecher ohne Gehörschutz beim Geräuschpegel von über $L_{NA} = 90$ dB um 3-4 dB leiser; die Sprachverständlichkeit war erheblich reduziert. Sie sank im Vergleich zur Situation, in der beide Gesprächspartner keinen Gehörschutz trugen, je nach Sprachmaterial um 20 % (Einsilber) bis 80 % (Text), im Durchschnitt etwa um 40 % ab (*Hörmann et al.* 1981, 1982). Aber auch in den Situationen, in denen nur der Hörer oder auch nur der Sprecher Gehörschutz trugen, zeigte sich eine Verschlechterung der Sprachverständlichkeit an. Neben der schlechten Sprachverständlichkeit ist durch den Gehörschutz bedingt eine Verzögerung des Austausches der sprachlichen Information zu beobachten.

Nakladal & Listner (1997) versuchten die Sprachverständlichkeit unter möglichst realistischen Bedingungen beim Tragen von Gehörschutz zu untersuchen.

Bei 11 Betriebsgeräuschen mit Pegeln von $L_{NA} = 85$ bis 96 dB mussten sich zwei Gesprächspartner (22 Sprecher-Hörer-Paare) in 2m Abstand verständigen. Bei wechselnden Rollen las der jeweilige Sprecher seinem gegenüber Sätze von einem Monitor vor. Lippenlesen wurde durch einen halbdurchsichtigen Vorhang zwischen den Partnern verhindert, der Hörer konnte dem Sprecher allerdings durch Gesten zu verstehen geben, lauter zu sprechen. Als Sprachmaterial wurde einfache Kommandosprache benutzt. Vier Gehörschützer (2 Stöpsel, Kapsel, Kapsel mit pegelabhängiger Schalldämmung) wurden eingesetzt.

Die Ergebnisse zeigen (Abbildung 5-10), dass Sprachverständlichkeit für die drei passiven Gehörschützer (S1, S2, K) gegenüber der Situation ohne Gehörschutz deutlich geringer ist. Der pegelabhängige Gehörschutz verbessert die Sprachverständlichkeit erheblich (s. Tabelle 5 - 7).

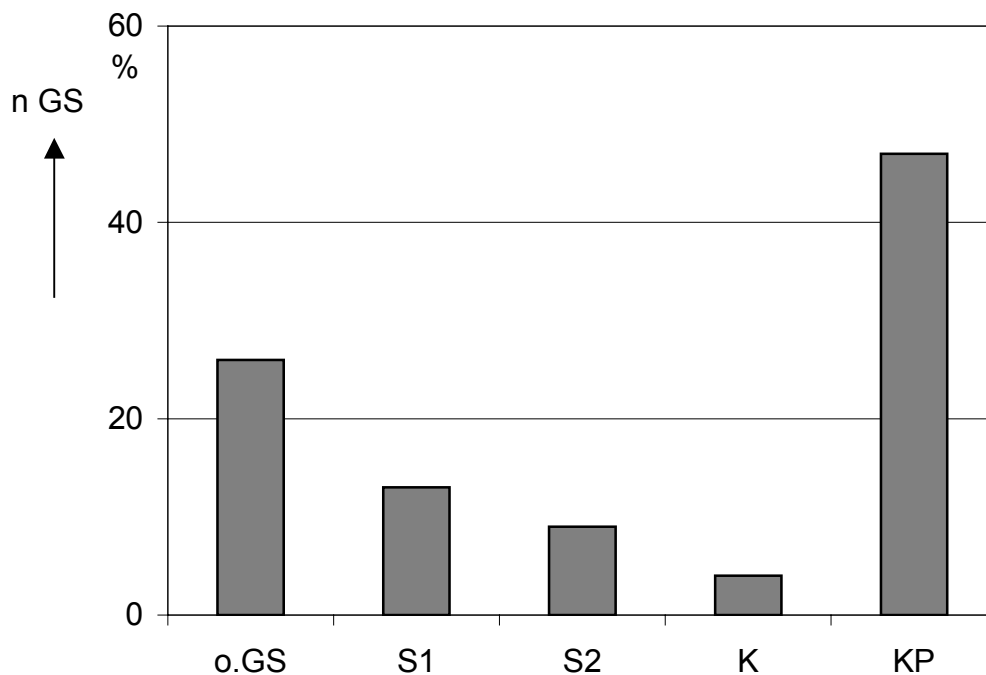


Abbildung 5-10 Häufigkeit (n GS in %) für die Gehörschützer, die vom Hörer subjektiv am besten hinsichtlich der Sprachverständlichkeit beurteilt wurden

Obwohl sehr unterschiedliche Störgeräusche benutzt wurden, ist die Schwankung der Sprachverständlichkeit zwischen den Geräuschen (20%) wesentlich kleiner als zwischen den Hörern (40%). Es gibt Sprecher-Hörer-Paare die eine hohe Sprachverständlichkeit (>80%) und kaum Differenzen zwischen den Gehörschutzsituationen aufweisen, andere dagegen haben eine Sprachverständlichkeit von unter 60% und mit Kapseln sogar unter 40%.

In Tabelle 5-7 sind die Ergebnisse von vier Untersuchungen bei Geräuschpegeln über $L_{NA} = 85$ dB zusammengefasst. Die Ergebnisse stimmen recht gut überein. Die Verstehensleistung nimmt, wenn der Sprecher oder beide Gesprächspartner Gehörschutz tragen, um $SVE = 5$ bis 30 % gegenüber dem ungeschützten Ohr ab.

Tabelle 5-7 Veränderung der Sprachverständlichkeit in einer Gesprächssituation (Sprecher-Hörer) (- Abnahme, + Zunahme) durch Gehörschutz gegenüber der Situation ohne Gehörschutz bei Geräuschpegeln $L_{NA} \geq 85$ dB

Gehörschutz tragen:	Gehörschutzart	Einsilber			Sätze	Kommandosprache
		Howell & Martin 1975	Martin et al. 1976	Hörmann et al. 1981	Nakladal & Listner 1997	
nur der Hörer	Stöpsel	2 bis 4 %	1 %	-20 bis -6 %	-22 bis -5 %	-
	Kapsel	5 bis 15 %	5 %	-	-	-
nur der Sprecher	Stöpsel	-32 bis -22 %	-10 %	-20 bis -6 %	-18 bis -2 %	-
	Kapsel	-22 bis -12 %	-10 %	-	-	-
Sprecher und Hörer	Stöpsel	-20 %	-9 %	-26 bis -21 %	-37 bis -13 %	-23 bis -13 %
	Kapsel	-7 %	-11 %	-	-	-17 %
	Pegelabhängige Kapsel	-	-	-	-	21 %

Bedeutsame Unterschiede zwischen den Untersuchungen zeigen sich nur, wenn allein der Hörer Gehörschutz trägt. Diese Differenzen gehen vermutlich auf Unterschiede im Spektrum der Geräusche, und bei der Schalldämmung auf die verwendeten Gehörschützer zurück.

Von den beiden Untersuchungen, in den Gesprächssituationen unter verschiedenen Geräuschbedingungen simuliert wurden (*Hörmann et al.* 1981, 1982; *Nakladal & Listner* 1997), wurden die Ergebnisse der Sprachverständlichkeit zusammenfassend über dem Geräuschpegel dargestellt (Abbildung 5-11). Die Ergebnisse haben eine ähnliche Tendenz: die Sprachverständlichkeit nimmt mit zunehmendem Geräuschpegel mit Gehörschutz deutlich stärker ab als ohne Gehörschutz. Nur die Kapsel mit pegelabhängiger Schalldämmung wirkt verbessernd auf die Sprachverständlichkeit (Tabelle 5-7).

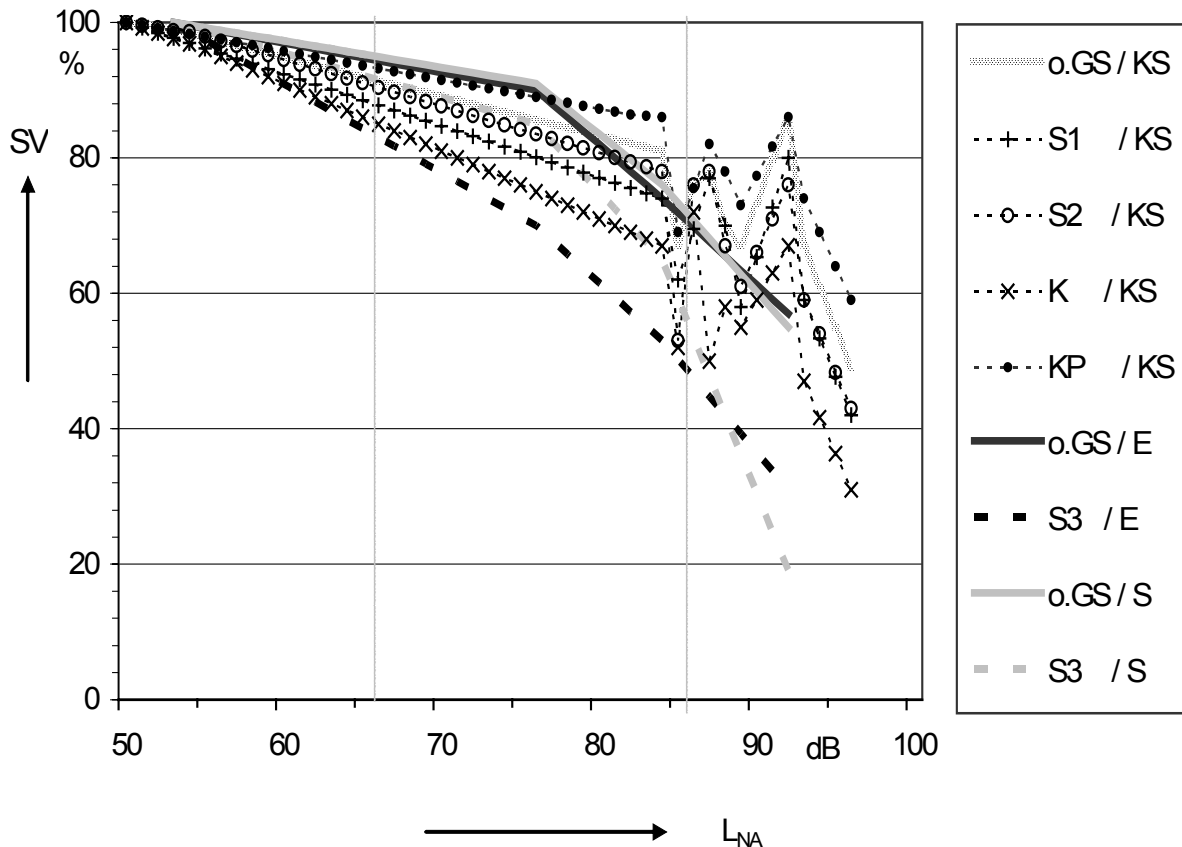


Abbildung 5-11 Sprachverständlichkeit (SV) in Abhängigkeit vom Geräuschpegel (L_{NA}), bei der zwei Gesprächspartner, beide mit Gehörschutz (Kapsel: K, Stöpsel: S1, S2, S3, Kapsel mit pegelabhängiger Schalldämmung KP) oder beide ohne Gehörschutz (o.GS) sich unterhalten sollen mit Kommandosprache (KS), Einsilbern (E) oder Sätzen (S)

Das Tragen von Gehörschutz in Gesprächssituationen wird durch Sprecher- und Hörer-Einfluss bestimmt. Zum einen – abhängig von der akustischen Situation – ergibt sich eine Veränderung (Abnahme oder Zunahme) der Sprachverständlichkeit, wenn der Hörer Gehörschutz trägt und der Sprecher ohne Gehörschutz redet oder die Sprache über Lautsprecher abgestrahlt wird. Zum anderen ergibt sich eine Reduktion der Sprachverständlichkeit, weil der Sprecher leiser spricht, wenn er Gehörschutz trägt.

Zu erklären ist dieses Absenken der Sprechlautstärke durch die Veränderung der Wahrnehmung der eigenen Stimme beim Sprechen mit Gehörschutz. In der ungeschützten Situation nimmt der Sprecher die eigene Stimme als Luftschall und vernachlässigbar als Knochenleitung wahr, Geräusche werden ebenfalls als Luftschall wahrgenommen. Diese Wahrnehmung der eigenen Sprache wird vom Sprecher benutzt, um die eigene Artikulation zu kontrollieren und die Sprechlautstärke der Situation angemessen zu regulieren. Dieser Rückkopplungsprozess ist für einen einwandfreien Sprechprozess erforderlich. Bei störenden Geräuschen wird der Sprechpegel

automatisch erhöht, um die eigene gesprochene Sprache weiterhin zu verstehen und den bekannten Rückkopplungsprozess aufrechtzuerhalten. Das Erhöhen des Sprechpegels bei störenden Geräuschen wird als Lombard-Effekt bezeichnet.

Trägt der Sprecher Gehörschutz, wird in die gewohnte Rückkopplungsschleife eingegriffen: die über das Außenohr als Luftschall rückgekoppelte eigene Sprache sowie das Geräusch sind durch den Gehörschutz in der Lautstärke gemindert, die über den inneren Weg (Knochenleitung, eustachische Röhre) rückgekoppelte Sprache hingegen wird durch den Gehörschutz nicht, oder nur gering beeinflusst.

Für den Sprecher erscheint die eigene Sprache, da sie über den inneren Weg ungestört rückgekoppelt wird, im Vergleich zu Umweltgeräuschen somit lauter, als sie tatsächlich ist. Statt entsprechend des vorhandenen Geräusches (Lombardeffekt) weiterhin laut zu reden, tritt das Gegenteil ein: der Sprecher senkt seine Sprechlautstärke um 1 bis 4 dB (Kryter 1946, Howell & Martin 1975, Martin et al. 1976, Hörmann et al. 1981, Nakladal & Listner 1997; Abbildung 5-12). Dies gilt natürlich nur für lärmige Umgebungen; bei Stille führt das Bedecken des Ohres zu einem Anheben der Sprechlautstärke um 3-4 dB, da der Vergleich zum reduzierten Störgeräusch entfällt und die eigene Stimme leiser wirkt (Casali 1989).

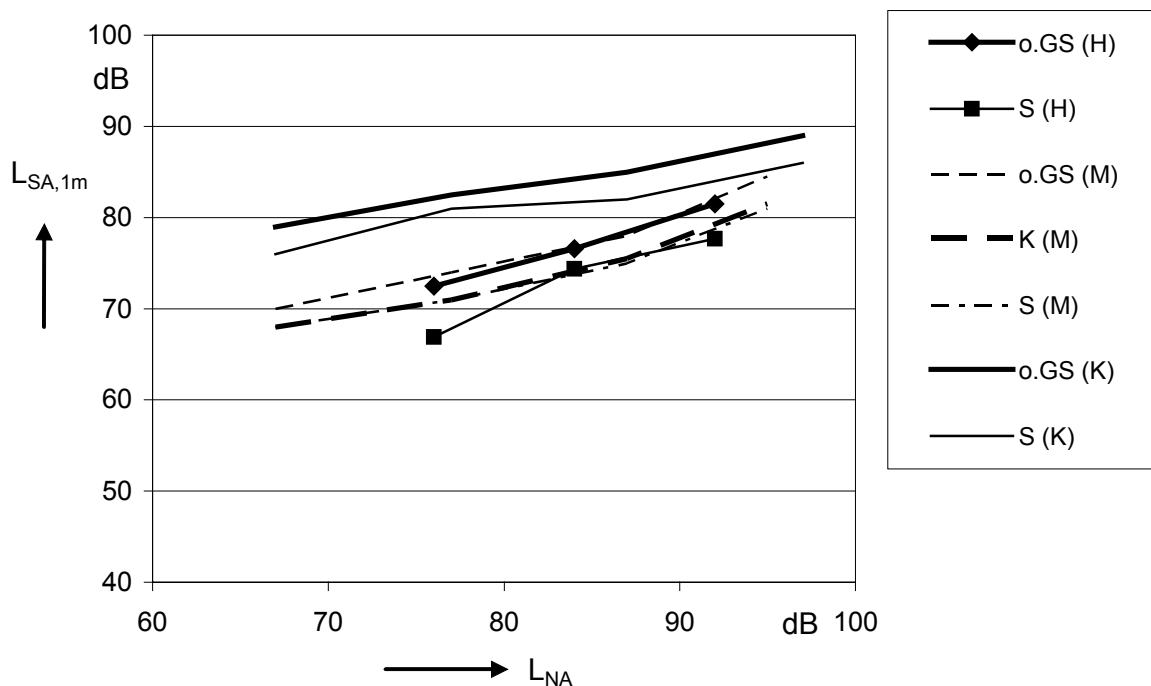


Abbildung 5-12 Sprechpegel ($L_{SA,1m}$) von vorgegebenen Texten (Einsilber, Sätze, Worte, Kommandosprache, Zeitungstexte) mit (Stöpsel, S; Kapsel, K) und ohne Gehörschutz bei einem Hintergrundgeräusch (L_{NA}) nach Kryter (1946 (K)), Martin et al. (1976 (M)), Hörmann et al. (1982 (H))

In der bereits oben angeführten Studie von Nakladal & Listner (1997) wurde jedoch nur eine geringe Absenkung des Sprechpegels (um ca. 1dB) beobachtet. Die Autoren führen diese Ergebnisse allerdings auf die Instruktion zurück, in der ausdrücklich zu lautem Sprechen aufgefordert wurde. Auch Casali (1989) beschränkt das Absen-

ken der Sprachlautstärke auf Situationen, in denen der Sprecher sich nicht bewusst anstrengt, um lauter zu sprechen.

Um die Frage zu diskutieren, wie sich diese dargestellten Effekte bei längerer zeitlicher Benutzung des Gehörschutzes darstellen, kann man Ergebnisse von *Martinet al.* (1976) heranziehen. Wenn Personen, bevor sie Gehörschutz aufsetzen, unmittelbar vorher hohen Geräuschpegeln ausgesetzt waren, sprechen sie mit Gehörschutz lauter, als wenn sie vorher diesen hohen Geräuschpegeln nicht ausgesetzt gewesen sind.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Tragen von Gehörschutz bei der Sprachproduktion in Lärm zum Absenken des Sprechpegels und der Sprachdeutlichkeit führt, solange der Sprecher sich nicht bewusst anstrengt, laut zu reden. Dieser Effekt von Gehörschutz auf den Sprecher kann die Sprachverständlichkeit in der Kommunikationssituation um bis zu 30% verschlechtern.

5.8 Gehörschutz und akustische Verständigung - Perspektiven

Abschließend gibt es, entsprechend der in der Einleitung aufgeworfenen Fragen, noch zwei Aspekte zu diskutieren:

- Wird die akustische Verständigung im Betrieb durch den Gehörschutz verändert, gegebenenfalls beeinträchtigt
- und welche Konsequenzen sind zu ziehen?

Gehörschutz, Signale und Sprache: Würde sichergestellt werden können, dass der Schallpegel, der für Erkennung notwendigen Signale und Sprache 15 dB über dem Schallpegel des Störgeräusches liegt (*DIN ISO 7731, Wilkins & Martin 1982*), würde eine Behinderung der Erkennung von Signalen und Sprache durch das Tragen von Gehörschutz kaum auftreten. Im Lärmbereich muss jedoch damit gerechnet werden, dass selbst Signale, deren Schallpegel um einige Dezibel unter dem des Geräusches liegen, noch relevant sind. Dass heißt für die Sicherheit und die Durchführung des Arbeitsprozesses ist die Erkennung von Signalen und Sprache bei Signal-Geräuschabständen von -5 bis $+15$ dB erforderlich.

Für die Wahrnehmung und Erkennung von Signalen und Sprache lassen sich jedoch keine einfachen Grundregeln angeben, die unter den komplexen Bedingungen der Praxis problemlos anzuwenden sind. Die Veränderungen durch das Tragen von Gehörschutz sind jedoch in der Tendenz schnell zusammengefasst: Es gibt unter bestimmten Bedingungen (sehr hohe Geräuschpegel, normalhörend, frequenzunabhängige Schalldämmung der Gehörschützer) Verbesserungen, aber in allen anderen Fällen mäßige bis deutliche Verschlechterung der Hörleistung. Diese lassen sich wie folgt resümieren:

Das Tragen von Gehörschutz beeinflusst die Hörbarkeit von Signalen und die Verständlichkeit von Sprache (Sprache aus Lautsprechern) dann am geringsten, wenn die Personen ein normales Gehör haben und das Geräusch breitbandig ist, da durch

den Gehörschutz die Signale und Geräusche in ihrem Pegel gleichermaßen gesenkt werden. Die genauere Vorhersage der Mithörschwelle von Signalen oder Sprache für unterschiedliche Gehörschützer und Geräuschspektren setzt die Kenntnis der Schallpegel der Signale, des Geräusches sowie der Schalldämmung der Gehörschützer in den einzelnen Oktaven voraus, evtl. auch die Hörschwelle der Personen. Bei tieffrequenteren Geräuschen ($f < 500$ Hz) kann durch das Tragen einer Kapsel die Hörbarkeit um bis zu 30 % abnehmen, was mit einer Erhöhung der Mithörschwelle bis zu 6 dB verbunden ist. Die Ortung von Schallquellen ist beim Tragen von Gehörschutz deutlich gestört. Bei Schwerhörigen hingegen führt Gehörschutz generell zu einer deutlichen Verschlechterung der Sprachverständlichkeit um 15-50%.

Die sprachliche Kommunikation ist, wenn beide Gesprächspartner Gehörschutz tragen, beträchtlich eingeschränkt: Die Verständlichkeit nimmt um 10 - 40 % ab, der sprachliche Informationsaustausch ist verzögert.

Für die akustische Beurteilung des Gehörschutzes sind inzwischen einige Beurteilungskonzepte entwickelt worden, die im Wesentlichen auf dem psycho-akustischen Wissen (Lautheit, Frequenzauflösung, Maskierung) aufbauen (*Coleman 1998, Lazarus et al. 1983, Wittmann & Meißner 1986, Liedtke 1997, 1998, Laroche et al. 1991, 1992; DIN ISO 7731, DIN EN 457*). Sie berücksichtigen das am Ohr wirksame Spektrum des Geräusches und des Signals, teilweise einschließlich der Hörschwelle.

Gehörschutz, Sprachkommunikation: Um den Einfluss von Gehörschutz auf die Sprachkommunikation qualitativ (und eingeschränkt quantitativ) zu skizzieren müssen eine Reihe von Einflussfaktoren einbezogen werden. Diese sind zwar im Einzelnen häufig nicht sehr bedeutsam, können aber beim Zusammenwirken (wenn sie sich summieren) sehr wirkungsvoll sein. Doch für diesen Prozess und für das Zusammenwirken der Einflussfaktoren gibt es bisher kein funktionierendes Modell. Hier sollen nur die Konsequenzen bei höheren Schallpegeln ($L_{NA} > 80$ dB) erläutert werden. Der Sprecher hat durch die Variation seiner Sprechweise und Sprache einige Möglichkeiten zu reagieren (lauteres Sprechen, zusätzliches Reagieren, auf das was der Hörer zurückmeldet). Der Hörer hat wenig Möglichkeit (gegebenenfalls den Kopf bewegen), er muss mit dem auskommen, was sein Ohr dargeboten bekommt. In Abbildung 4 - 12a, b sind die Konsequenzen für die Sprachverständlichkeit skizziert, einbezogen sind Gehörschutz und auch Schwerhörigkeit (Abbildung 5-8), die den diskutierten Prozess der Sprachkommunikation verändern. Die Untersuchung von *Nakladal & Listner (1997)*, bei der erstmalig eine betriebsnahe Sprachkommunikation bei verschiedenen Geräuschpegeln simuliert wurde und die Untersuchung von *Hörmann et al. 1982* (Tabelle 5-7, Abbildung 5-11, 5-12) bilden die Grundlage für die qualitativ-quantitative Darstellung in dieser Abbildung 5-13.

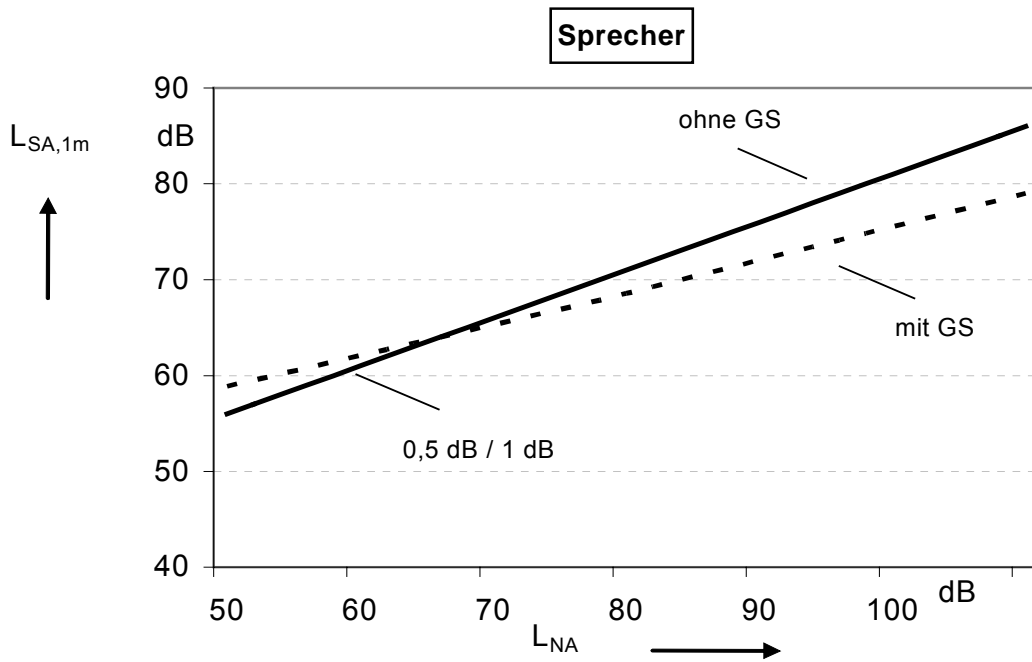


Abbildung 5-13a Wirkung von Gehörschutz (mit und ohne GS) in Gesprächssituationen (Sprecher – Hörer) in Abhängigkeit vom Geräuschpegel (L_{NA}). Sprecher (a): Der Sprechpegel des Sprechers in 1m Abstand vom Sprechermund ($L_{SA,1m}$)

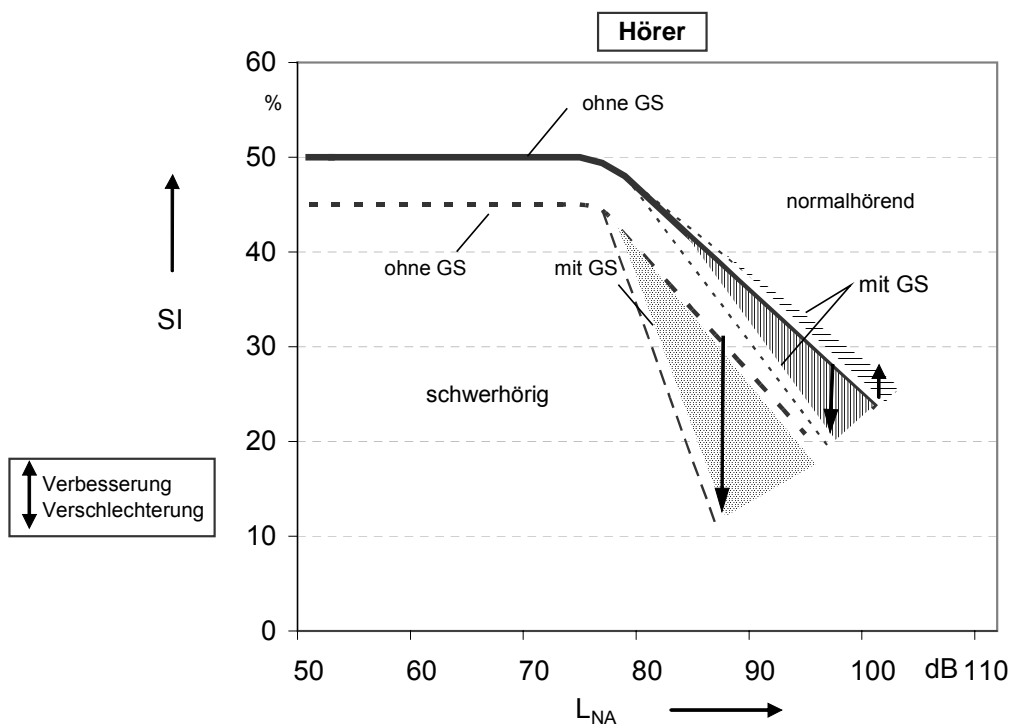


Abbildung 5-13b Wirkung von Gehörschutz (mit und ohne GS) in Gesprächssituationen (Sprecher – Hörer) in Abhängigkeit vom Geräuschpegel (L_{NA}). Hörer (b): Die Sprachverständlichkeit beim Hörer (normalhörend oder schwerhörig)

Die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen (Tabelle 5-7, Abbildung 5-11, 5-12), die trotz der Unterschiede in den Geräuschspektren, der Art der Gehörschützer, des Abstandes von Sprecher und Hörer und des sprachlichen Materials gut übereinstimmen, sprechen dafür, dass die genannten akustischen Parameter unabhängig von ihrer spezifischen, für das Experiment ausgewählten Eigenschaften eine übereinstimmende Auswirkung auf die sprachliche Kommunikation mit Gehörschutz haben. Die Übereinstimmung dieser Ergebnisse der o.g. Experimente weist darauf hin, dass in der betrieblichen Praxis unter entsprechenden akustischen Bedingungen ähnliche Ergebnisse zu erwarten sind.

Außerdem entsprechen die dargestellten Untersuchungen (Tabelle 5-7, Abbildung 5-11, 5-12), in denen beide Interaktionspartner Gehörschutz tragen, dem betrieblichen Alltag eher als Experimente, in denen Sprachinformation durch Lautsprecher abgestrahlt wird.

Die von Industriearbeitern beobachtete Beeinträchtigung der sprachlichen Kommunikation beim Tragen von Gehörschutz konnte mit diesen Untersuchungen empirisch nachgewiesen werden.

Gehörschutz, Unfallrisiko: Die Defizite bei der Ortung - bedingt durch den Gehörschutz - werden bisher kaum in Rechnung gestellt. Das gleiche gilt für die Zunahme der Unsicherheit bei der Lösung von Wahrnehmungsaufgaben durch das Tragen von Gehörschutz, auch dieser wird kaum Rechnung getragen. Diese Unsicherheit wird besonders deutlich bei der Beurteilung der Schalleinfallrichtung, bei der Identifikation und Unterscheidung mehrerer Signale und bei der Erkennung unerwarteter und selten auftretender Signale (*Wilkins & Martin 1982, Wilkins 1984*). Zusätzlich tritt durch den Gehörschutz eine Verlängerung der Reaktionszeiten bei der Identifizierung eines Signals und eine Verzögerung des Informationsaustausches bei der sprachlichen Interaktion auf.

Der kritische Einfluss des Gehörschutzes (*Wilkins & Martin 1982*) wird besonders in solchen Situationen deutlich, in denen die Erkennung akustischer Signale schon stark erschwert ist.

Diese Veränderung beim Wahrnehmen, Identifizieren und Orten von akustischen Signalen und Kommunizieren von Sprache führen zwar zu mehr oder weniger starken Beeinträchtigungen und sicher in einzelnen Fällen auch zu einem erhöhten Risiko. Ob sie jedoch in jedem Fall zu einer Erhöhung der Unfallgefahr beitragen, lässt sich so ohne weiteres nicht sagen. Hierbei spielen dann sowohl die akustisch-physikalischen Gegebenheiten (Intensität und Art des Signals, des Geräusches und der Art der Schalldämmung des Gehörschutzes etc.) als auch die psychophysiologischen Bedingungen der Betroffenen (Hörschwelle, Aufmerksamkeit etc.) während der Tätigkeit eine entscheidende Rolle.

Aus der Beschreibung und Analyse dieser Daten kann die Hörsituation optimiert und Überprotektion vermieden werden (*Suter 1992, Coleman 1998, Liedtke 2002, DIN-EN 458*).

5.9 Konsequenzen

Eine Lärmeinwirkung am Ohr, die das Gehör gefährden kann, muss unter allen Umständen verhindert werden, letztendlich, wenn andere Maßnahmen versagen, durch konsequentes Tragen von Gehörschutz. Dabei sollten die Hinweise, dass Gehörschutz die akustische Verständigung behindern kann, in keiner Weise dazu führen, ihn nicht zu benutzen. Im Gegenteil, sie sollten für eine Erhöhung der Tragequoten genutzt werden.

Gehörschutz wirkt einerseits positiv auf den Benutzer: die wahrgenommene Lautstärke ist reduziert. Andererseits sind gewisse Nachteile, wie Behinderung bei der Arbeit, Belästigung durch das Tragen sowie die dargestellten Defizite bei der akustischen Verständigung, eine Erschwerung der Arbeit und eine verringerte Sicherheit, nicht ganz zu vermeiden. Diese Nachteile führen möglicherweise zu einer geringen Tragequote.

Somit ist es fraglich, ob das Tragen von Gehörschutz zu einer strikten Einhaltung von Lärm-Grenzwerten überhaupt genutzt werden kann. Gehörschutz scheint viel mehr eine zweckmäßige und auch erforderliche, aber nur bedingt wirkungsvolle Maßnahme zu sein.

Da man aber trotz dieser bekannten Nachteile den Schutz des Gehörs durch Gehörschutz gewährleisten will

- müssen die Betroffenen motiviert und am Tragen interessiert werden,
- muss der Gehörschutz an die Situation und Person optimal angepasst werden.

Bei der Optimierung von Gehörschutz sind mehrere Aspekte zu beachten:

a) die Erkennung von Signalen und Sprache ist durch den Gehörschutz gegenüber dem ungeschützten Ohr umso stärker behindert, je höher die Schalldämmung der Gehörschützer und je höher dabei der Hörverlust der Personen ist (*Abel et al.* 1982 b; *Lazarus et al.* 1983). Auch muss die Schalldämmung bei der Sprachkommunikation möglichst gering sein, damit weiterhin unter Lärm möglichst laut geredet wird. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, die Schalldämmung so gering wie gerade notwendig zu halten, das heißt, eine Überprotektion durch Gehörschutz zu vermeiden.

Überprotektion kann am besten dadurch vermieden werden, dass die für den Schutz notwendige Schalldämmung durch einen Gehörschutz realisiert wird, der beim täglichen Benutzen immer die gleiche und geprüfte Schalldämmung ergibt. Die in der Praxis im Betrieb wirksame Schalldämmung hängt nicht allein von seiner Bauart und seinen Materialeigenschaften ab, sondern auch davon, inwieweit der Benutzer diesen in sein Ohr zweckmäßig einpassen kann bzw. einpasst. Das heißt, die Ungenauigkeit beim schnellen Einpassen im Betrieb die angenommene Schalldämmung zu erreichen, muss möglichst gering sein. So deutet die geringe Zunahme der Hörverluste (pro Jahr bei 4 kHz) bei Otoplastik-Trägern gegenüber Trägern anderer Gehörschutzarten – von 0.3 gegenüber 1.5 dB/Jahr – auf die geringere Unsicherheit beim wiederholten Einsetzen von Otoplastiken (kaum manipulierbar) gegenüber anderen Gehörschutzarten (*Weiß* 2003). Allerdings kann man die Schalldämmung der Otoplastiken nur am Träger nachprüfen (*Liedtke* 2000) Bei hoher Unsicherheiten

muss zur Sicherstellung einer Mindestschalldämmung ein Sicherheitszuschlag erhoben werden, der aber die Überprotektion begünstigt (*DIN-EN 458*). Leider liegt die Standardabweichung beim betrieblichen Einsatz bei den üblichen Gehörschützern bei $s = 5$ bis 12 dB (*Berger et al. 1996*).

b) Es ist für den Hörer vorteilhaft, wenn die Schalldämmung weitgehend frequenz-unabhängig ist. Entsprechend einer vergleichenden, internationalen Studie über Felduntersuchungen (*Berger et al. 1996*) ergeben sich für die verschiedenen Gehörschützer im Bereich bis 1 kHz recht unterschiedliche Differenzen zwischen der Schalldämmung von Oktave ($i - 1$) zu Oktave (i) ($DR = R_i - R_{i-1}$). Bei Kapseln sind das etwa 5 bis 10 dB, bei Stöpseln 1 bis 5 dB, das heißt, bei vorgeformten, formbaren und individuell angepassten Stöpseln 1 bis 3 dB, bei Gehörschutzwatte 3 bis 5 dB. Ähnliche Werte veröffentlichten die Berufsgenossenschaften: die Differenz der Schalldämmung zwischen den benachbarten Oktaven (0.25 bis 2 kHz) liegt bei den Otoplastiken bei 2 bis 3 dB, bei speziellen Gehörschutzstöpseln bei 1 bis 4 dB, bei einem speziellen Stöpsel kann die Abweichung der Schalldämmung von einem konstanten Wert in diesem Frequenzbereich (0.25 bis 2 kHz) schon bei ± 2 dB liegen (*Sickert 2004*). Stöpsel, einschließlich Otoplastiken, sind also für die Erkennung von Signalen und die Sprach-Kommunikation besser geeignet als Kapseln.

Um die Verminderung der akustischen Informationsaufnahme und –vermittlung gering zu halten, sind somit folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Gehörschutz soll bei einer minimalen Schalldämmung einen maximalen Schutz vor zu hohen Schallintensitäten gewährleisten
- Gehörschutz mit einer weitgehend frequenz-unabhängigen Schalldämmung ist zu bevorzugen
- Gehörschutz, dessen Schalldämmung bei täglichen Einsatz bekannt und gut reproduzierbar ist (geringe Unsicherheit), soll bevorzugt werden
- Überprotektion ist zu vermeiden (s. *DIN EN 458*)
- Schwerhörige mit Gehörschutz sind nur begrenzt im Betrieb einsetzbar.

5.10 Wichtige Punkte im Überblick

- Gehörschutz kann die Sprachkommunikation und die Signalerkennung beeinträchtigen:
 - weil die Mithörschwelle (Hörschwelle im Lärm) für Sprache und Signale erhöht (verschlechtert) werden kann
 - weil man mit Gehörschutz im Lärm leiser spricht
 - weil das Lokalisieren/Orten von Schallquellen reduziert ist
 - weil diese Beeinträchtigungen vor allem bei Personen mit (auch schon leichten) Hörverlusten auftreten

- Die Beeinträchtigungen konnten gering gehalten werden bei einem Gehörschutz
 - mit möglichst geringer (aber doch ausreichender) Schalldämmung (maximaler Schutz, aber keine Überprotektion)
 - mit einer möglichst frequenzunabhängigen Schalldämmung
 - bei dem sich die Dämmeigenschaften während des Tragens nicht verändern.

6 Zusammenfassung

Aufgrund des demographischen Faktors, aber auch aufgrund bestimmter Verhaltensweisen (Konsum lauter Musik) wird Schwerhörigkeit in den kommenden Jahren zu einem alltäglichen Phänomen. Da auch eine gering- oder mittelgradige Schwerhörigkeit erhebliche Auswirkungen auf soziale Interaktion und Umweltorientierung hat, wird dies für alle Beteiligten eine komplexe Herausforderung. Anders als bei einer auch schwach ausgeprägten Fehlsichtigkeit, die vergleichsweise einfach mit Kontaktlinsen oder einer Brille ausgeglichen werden kann, sind die Folgen für Betroffene und Beteiligte erheblich problematischer. Dies wird offenkundig, wenn man die Analogie zwischen Fehlsichtigkeit und Schwerhörigkeit weiter zieht:

- eine Brille ist heutzutage ein modisches Accessoire, ein Hörgerät macht seinen Träger – in seiner und/oder der Wahrnehmung anderer – zu einer Person mit einer Behinderung
- eine Brille ist ein Produkt, das präzise und relativ einfach hergestellt und angepasst werden kann. Ein Hörgerät ist ein komplexes elektronisches Gerät zur Optimierung defizitärer Hörvorgänge
- das Aufsetzen einer Brille lässt den Träger spontan die Verbesserung erkennen, das Tragen eines Hörgerätes erfordert, Hören neu zu lernen, nachdem man sich an ein „gedämpftes“ akustisches Umfeld gewöhnt hat, in dem die meisten Leute anscheinend immer „nuscheln“, „undeutlich“ oder „zu leise“ reden
- Ein Fehlsichtiger ist als ein solcher erkennbar und seine Reaktion durch andere einschätzbar; ein Schwerhöriger ist nicht als ein solcher erkennbar (auch nicht, wenn die Hörgeräte sichtbar wären), im Gegenteil: Er erscheint den anderen ggf. als asozial und debil, denn er antwortet nicht, falsch oder sinnverändert auf Anreden und Fragen, die man ihm stellt
- „Verschwommenes Sehen“ – durch Absetzen einer Brille – beeinträchtigt in aller Regel die Kommunikation wenig oder gar nicht.

Wie dargestellt wurde, sind die Folgen einer eingeschränkten Hörfähigkeit erheblich, weil vor allem die Kommunikation mit anderen beeinträchtigt wird. Dies hat Konsequenzen für die sozialen Beziehungen in der Familie und am Arbeitsplatz. Die Tatsache, dass es Schwerhörigen unter erheblichen Anstrengungen zeitweise gelingt, mindestens partiell ihr Defizit auszugleichen, kann zu der fälschlichen Annahme verleiten, dass Schwerhörigkeit „volitiv“ sei („wenn man will, kann man hören“). Auch dies macht die sozialen Beziehungen nicht einfacher. Ebenso verleitet die Tabuisierung der Störung dazu, in ungeeigneter Weise mit den Problemen umzugehen.

In Zeiten, in denen gerade auch an lärmigen Arbeitsplätzen in der Produktion die Notwendigkeit zur Kommunikation zunimmt, ist ein offener Umgang mit der Schwerhörigkeit erforderlich, also

- Schwerhörigkeit als Problem anerkennen
- Mit allen Beteiligten Strategien zur Optimierung der Kommunikation entwickeln
- Schwerhörige beteiligen durch klares, deutliches, lautes, nacheinander Reden

- Räume und Umgebung so gestalten, das Schwerhörige integriert werden und an der Kommunikation teilnehmen können
- Toleranz bei Nicht-Verstehen und
- sozialen Rückzug verhindern.

7 Verzeichnisse

7.1 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

A	=	Frequenzbewertungskurve A
AI	=	Artikulationsindex
C	=	Frequenzbewertungskurve C
Df	=	Frequenzband
Dft	=	Frequenzband des Tiefpasses
DL	=	Pegeldifferenz
DV	=	Diskriminationsverlust
E	=	Sprachmaterial Einsilber
f	=	Frequenz in Hz (Hertz)
f_i	=	Mittenfrequenz des Frequenzbandes (i) (in der Regel der Oktave)
f_o	=	(obere) Grenzfrequenz eines Frequenzbandes
f_t	=	Mittenfrequenz einer Terz (im Hörbereich)
f_u	=	untere Grenzfrequenz eines Frequenzbandes
GW	=	Gesamtwortverstehen
gGW	=	Gewichtetes Gesamtwortverstehen ((3x, 2x, 1x)/2)
HVE	=	Hörverlust für Einsilber
HVP	=	Prozentualer Hörverlust
HVS	=	Hörverlust für Sprache
HVT	=	Hörverlust für Töne (Tonaudiogramm)
HVZ	=	Hörverlust für Zahlen
HVZS	=	Hörverlust für Zweisilber
I	=	Schallintensität
i	=	als Index, Frequenzband (i) (in der Regel Oktave) mit der Mittenfrequenz (f_i)
KI	=	Impulszuschlag
KT	=	Tonzuschlag
L	=	Schallpegel in dB
<u>L mit Index:</u>		
A	=	Frequenzbewertung A
Ar	=	Beurteilungspegel

Aeq	=	A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel
C	=	Frequenzbewertung C
F	=	Zeitbewertung Fast
HSS	=	Hörschwelle für Sprache (Verständlichkeitsschwelle, in Gegenwart von Geräuschen Mithörschwelle genannt)
HSSo	=	Hörschwelle für Sprache (Bezugswert)
HST	=	Hörschwelle für Töne
HSTo	=	Hörschwelle für Töne (Bezugswert)
HVE	=	Hörverlust für Einsilber
HVS	=	Hörverlust für Sprache
HVS,N	=	Hörverlust für Sprache in Gegenwart von Geräuschen (Mithörschwelle)
HVT	=	Hörverlust für Töne
HVT, f	=	Hörverlust für Töne einzelner Frequenzen
HVZ	=	Hörverlust für Zahlwörter
HVZS	=	Hörverlust für Zweisilber
I	=	Zeitbewertung Impuls
i	=	Schallpegel im Bandpaß (i) (in der Regel Oktave)
j	=	Schallpegel der Terz (j), ($f_j < 50$ Hz)
1 m	=	Schallpegel in 1 m Abstand
max	=	Maximalpegel
min	=	Minimalpegel
N	=	Schallpegel des Geräusches (N)
S	=	Schallpegel der Sprache
SIL	=	Sprach-Störschallpegel
S	=	Zeitbewertung Slow (nur als 2. oder 3. Index)
SN	=	Signal-Geräusch-Abstand
t	=	Terzschallpegel (im Hörbereich)
T	=	Schallpegel eines Testtones
T	=	Dauer der Messung / Bewertung (8 Std.)
m	=	Modulationsgrad / Modulationsübertragungsfunktion
MCL	=	Most Comfortable Loudness (Pegel angenehmster Lautstärke)
MdE	=	Minderung der Erwerbstätigkeit
N, n	=	Anzahl
PB-Wörter/ PB-Sätze	=	Phonetisch ausbalanciertes Sprachmaterial
p	=	Schalldruck in Pa (Pascal)

R	=	Schalldämmung des Gehörschutzes
r	=	Korrelationskoeffizient
r	=	Entfernung
RR	=	Rosa Rauschen
S	=	Sprachmaterial Sätze
s	=	Standardabweichung
Si	=	Sprachmaterial Silben
SNR _A	=	Signal-Geräusch-Abstand, A-bewertet
STI	=	Sprach-Übertragungsindex
SV	=	Sprachverständlichkeit
SVE	=	Sprachverständlichkeit von Einsilbern
SVS	=	Sprachverständlichkeit von Sätzen
SVZ	=	Sprachverständlichkeit von Zahlwörtern
SVZS	=	Sprachverständlichkeit von Zweisilbern
T	=	Nachhallzeit
t	=	Zeit
VW	=	Vorhersagewahrscheinlichkeit (der Sätze im Rahmen des SPIN)
W	=	Sprachmaterial Wörter
W	=	Häufigkeitssummenverteilung
w	=	Häufigkeitsverteilung
WR	=	Weißes Rauschen

7.2 Literaturverzeichnis

- Abel, S. M. (1996): Combined effects of hearing loss and hearing protection on sound localization: implications for worker safety. In: Alf Axelsson et al. (Hrsg.) : Scientific Basis of Noise-induced Hearing Loss. Thieme Verlag, New York, 286-295
- Abel, S. M. & Armstrong, N. M. (1992): The combined sound attenuation of earplugs and earmuffs. *Applied Acoustics*, 36, 19-30
- Abel, S. M. & Hay, V. H. (1996): Sound localization: the interaction of aging, hearing loss and hearing protection. *Scandinavian Audiology*, 25, 3-12
- Abel, S. M. & Spencer, D. L. (1997): Active noise reduction versus conventional hearing protection: Relative benefits for normal-hearing and impaired listeners. *Scandinavian Audiology*, 26 (3), 155-167
- Abel, S. M., Alberti, P. W., Haythornthwaite, C. & Riko, K. (1982a): Speech intelligibility in noise: Effects of fluency and hearing protector type. *Journal of the Acoustical Society of America*, 71 (3), 708-715.
- Abel, S. M., Alberti, P. W., Haythornthwaite, C. & Riko, K. (1982b): Speech intelligibility in noise with and without ear protectors. In: Alberti, P. W. (Hrsg.) : *Personal Hearing Protectors in Industry*. Raven Press, New York, 371-385
- Abel, S. M., Alberti, P. W. & Riko, K. (1980): Speech intelligibility in noise with ear protectors. *Journal of Otolaryngology*, 9 (3), 256-265
- Abel, S.M., Armstrong, N.M. & Giguère, C. (1993): Auditory perception with level-dependent hearing protectors. The effects of age and hearing loss. *Scandinavian Audiology*, 22 (2), 71-85
- Abel, S. M., Krever, E. M. & Alberti, P. W. (1990): Auditory detection, discrimination and speech processing in aging, noise-sensitive and hearing-impaired listeners. *Scandinavian Audiology*, 19, 43-54.
- Abel, S. M., Krever, E. M., Giguère, C. & Alberti, P. W. (1991): Signal detection and speech perception with level-dependent hearing protectors. *Journal of Otolaryngology*, 20, 46-53
- Abel, S. M., Kunov, H., Pichora-Fuller, M. K. & Alberti, P. W. (1983): The effect of hearing protection on narrowband signal detection in industrial noise. *Journal of Otolaryngology*, 12, 83-88
- Abel, S. M., Kunov, H., Pichora-Fuller, M. K. & Alberti, P. W. (1985): Signal detection in industrial noise: effects of noise exposure history, hearing loss, and the use of ear protection. *Scandinavian Audiology*, 14, 161-173
- Acton, W. I. (1970): Speech intelligibility in a background noise and noise-induced hearing loss. *Ergonomics*, 13 (5), 546-554
- Acton, W. I. (1977): Problems associated with the use of hearing protection. *Annals of Occupational Hygiene*, 20, 387-395
- Aniansson, G. (1974): Methods for assessing high frequency hearing loss in everyday listening situations. *Acta Oto-Laryngologica*, 105 (320), 1-50
- Aniansson, G. (1980): Traffic noise speech interference levels for normal and hearing-impaired listeners. In: Tobias, J. V., Jansen, G. & Ward, W. D. (Hrsg.) : *Noise*

- as a Public Health Problem (Report 10). American Speech Language Hearing Association, Rockville, Maryland, 192-202
- Aniansson, G. & Björkman, M. (1983): Traffic noise annoyance and speech intelligibility in persons with normal and persons with impaired hearing. *Journal of Sound and Vibration*, 88 (1), 99-106
- Aniansson, G. & Peterson, Y. (1983): Speech intelligibility of normal listeners and persons with impaired hearing in traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 90 (3), 341-360.
- Arlinger, S. (1992): Speech recognition in noise when wearing Amplitude-Sensitive Ear-muffs. *Scandinavian Audiology*, 21 (2), 123-126
- Asch, H.-J., Heine, K., Huske, H.-J., Schulte, J. & Zoels, P. (1977): Gehörschutzmittel unter besonderer Berücksichtigung der Tragefähigkeit im Untertage-Bergbau. Forschungsbericht des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, BMFT-FB (01 VA 125 Z 13 TAP 006), 1-57
- Atherley, G. R. C. & Noble, W. G. (1973): Die Wirkung von Ohrschützern auf die Schallortung (Effect of ear-defenders (ear-muffs) on the localization of sound). *Zeitschrift für Hörgeräte-Akustik*, 12, 90-107
- Axelsson, A., Borchgrevink, H. M., Hamrnik, H. P., Hellstrom, P.-A., Henderson, D., Salvi, R. J. (1994): Scientific Basis of noise induced hearing loss. Proceedings of the 5th International Symposium on the effects of noise on hearing. Gothenberg, Sweden
- Bacon, S. P. & Viermeister, N. F. (1985): Temporal modulation transfer functions in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Audiology*, 24, 117-134
- Baer, T. & Moore, B. C. J. (1993): Effects of spectral smearing on the intelligibility of sentences in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 94 (3), 1229-1241
- Barrenäs, M. L. (1998): Are pure-tone audiometry and speech recognition scores in noise a better choice to assess hearing disability and handicap than self-reports? In: Prasher, D., Luxon, L. & Pykkö, I. (Hrsg.): *Advances in Noise Research II. Protection against Noise*. Whurr Publishers Ltd., London, 243-246
- Bauer, P., Körpert, K., Neuberger, M., Raber, A. & Schwetz, F. (1991): Risk factors for hearing loss at different frequencies in a population of 47388 noise-exposed workers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90 (6), 3086-3098
- Baughn, W. L. (1973): Relation between daily noise exposure and hearing loss based on the evaluation of 6835 industrial noise exposure cases. In: Laboratory, U. S. Environmental Medical Research, AMRL-TR-73-35
- Bauman, K. S. & Marston, L. E. (1986): Effects of hearing protection on speech intelligibility in noise. *Journal of Sound and Vibration*, 20, 12-14
- Beck, B. (1986): Realitätsgrad von Selbsteinschätzungen schwerhöriger und gehörloser Schuljugendlicher. *Zeitschrift für die gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete*, 32 (7), 422-423
- Berger, E. H. (1990): Hearing Protection – The State of the Art and Research Priorities for the Coming Decade. In: Program and Abstracts of the NIH Consensus De-

- velopment Conference in Noise and Hearing Loss. National Institute of Health. Bethesda, MD, 91-96
- Berger, E. H. (1991): Flat-response, moderate-attenuation, and level-dependent HPDs: How they work, and what they can do for you. *Spectrum*, 8 (1), 17
- Berger, E. H., Franks, J. R. & Lindgren, F. (1996): International review of field studies of hearing protector attenuation. In: Axelsson, A., Borchgrevink, H., Hamernik, R. P., Hellstrom, P., Henderson, D. & Salvi, R. J. (Hrsg.): *Scientific basis of noise-induced hearing loss*. Thieme Medical Publications, New York, 361-377
- Bertoli, S., Probst, R. & Jordan, P. (1996): Das Hörhandicap - Eine Ergänzung zum audiometrischen Hörverlust. *HNO*, 44, 376-384
- Blauert, J. (1974) : Räumliches Hören. In: *Monographien der Nachrichtentechnik*. Institut für Elektrische Nachrichtentechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule, S. Hirzel Verlag, Stuttgart
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2001): *Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Unfallverhütungsbericht Arbeit*
- Böhme, G. & Welzl-Müller, K. (1988): *Audiometrie: Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter*. Verlag Hans Huber, Bern, Stuttgart, Toronto
- Boenninghaus, H.-G. & Röser, D. (1973): Neue Tabellen zur Bestimmung des prozentualen Hörverlustes für das Sprachgehör. *Zeitschrift für Laryngologie, Rhinologie, Otologie und ihre Grenzgebiete*, 52, 153-161
- Borchgrevink (1994). Persönliche Mitteilung. Zit. in: Hoffmann, E. (1997): *Hörfähigkeit und Hörschäden junger Erwachsener unter Berücksichtigung der Lärmbelastung*. Median Verlag, Heidelberg
- Bosman, A. (1992): Review of Speech Audiometric Tests. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*, Buchreihe Audiologische Akustik. Median Verlag, 11-29
- Bronkhorst, A. W. & Plomp, R. (1988): The effect of head-induced interaural time and level differences on speech intelligibility in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83 (4), 1508-1516
- Bronkhorst, A. W. & Plomp, R. (1989): Binaural speech intelligibility in noise for hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86 (4), 1374-1383
- Bronkhorst, A. W. & Plomp, R. (1992): Effect of multiple speechlike maskers on binaural speech recognition in normal and impaired hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92 (6), 3132-3139.
- Brusis, T. (1978): *Die Lärmschwerhörigkeit und ihre Begutachtung*. Demeter-Verlag, Gräfelfing
- Brusis, T. & Merthens, G. (1981): Vor- und Nachschaden bei Lärmschwerhörigkeit. *Laryng. Rhinol.*, 60, 168
- Carhart, R. & Tillman, T. W. (1970): Interaction of competing speech signals with hearing losses. *Archives of Otolaryngology*, 91, 273-289
- Casali, J. G. (1989): Multiple factors affect speech communication in the work place. *Occupational Safety and Health*, 58, 32-42

- Christ, E. (1976): Persönlicher Schallschutz und Unfallgefährdung. Die Berufsgenossenschaft, 4, 474-480
- Chung, D. Y. & Gannon, R. P. (1979): The effect of ear protectors on word discrimination in subjects with normal hearing and subjects with noise-induced hearing loss. Journal of the American Auditory Society, 5 (1), 11-16
- Chung, D. Y. & Mack, B. (1979): The effects of masking by noise and word discrimination scores in listeners with normal hearing and with noise-induced hearing loss. Scandinavian Journal of Audiology, 8, 139-143
- Cobb, F. E., Jacobson, G. P., Newman, C. W., Kretschmer, L. W. & Donnelly, K. A. (1993): Age-associated degeneration of backward masking task performance: Evidence of declining temporal resolution abilities in normal listeners. Audiology, 32, 260-27
- Cohen, R. L. & Keith, R. W. (1976): Use of low-pass noise in word-recognition testing. Journal of Speech and Hearing Research, 19, 48-54
- Coleman, G. (1998): The signal design window revisited. International Journal of Industrial Ergonomics, 22, 313-318
- Coleman, G. J., Graves, R. J., Collier, S. G., Golding, D., Nicholl, A. G. McK., Simpson, G. C., Sweetland, K. F. & Talbot, C. F. (1984): Communications in noisy environments. Final Report on CEC Contract 7206/00/8/09
- Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics (CHABA) (1988): Speech understanding and aging. Journal of the Acoustical Society of America 83, 859-895
- Cooper, J. C. & Cutts, B. P. (1971): Speech discrimination in noise. Journal of Speech and Hearing Research, 14, 332-337
- De Boer, B. & Poissenot, R. (1992): Improvement of speech intelligibility during high noise in the low frequencies when using a hearing protector. Othorinolaryngol Nova 2, 220-222
- Delfs, P. & Liedtke, M. (2003): Pegelabhängig dämmende Gehörschützer. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Demorest, M. E. & Erdman, S. A. (1986): Scale composition and item analysis of the communication profile for the hearing impaired. Journal of Speech and Hearing Research, 29, 515-535
- Dieroff, H.-G. (1994): Lärmschwerhörigkeit. G. Fischer-Verlag, Jena
- DIN 45621: Sprache für Gehörprüfung (1995)
- DIN 45626: Tonträger für die Gehörprüfung (1995)
- DIN 45645 – 2: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Geräuschmissionen am Arbeitsplatz (1997)
- DIN-EN 457: Sicherheit von Maschinen - Akustische Gefahrensignale - Allgemeine Anforderungen, Gestaltung und Prüfung (EN 457 : 1992 D)
- DIN-EN 458: Gehörschützer - Empfehlungen für Auswahl, Einsatz, Pflege und Instandhaltung (EN 458 : 1993 D)
- DIN-ISO 7731: Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale (ISO 7731 : 2001)

- DIN-EN-ISO 11690 – 1: Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten - Allgemeine Grundlagen (1997)
- DIN-EN-ISO 11690 – 2: Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten - Lärminderungsmaßnahmen (1997)
- Divenyi, P. L. & Haupt, K. M. (1997a): Audiological correlates of speech understanding deficits in elderly listeners with mild-to-moderate hearing loss: I. Age and lateral asymmetry effects. *Ear and Hearing*, 18, 42-61
- Divenyi, P. L. & Haupt, K. M. (1997b): Audiological correlates of speech understanding deficits in elderly listeners with mild-to-moderate hearing loss: II. Correlation analysis. *Ear and Hearing*, 18, 100-113
- Divenyi, P. L. & Haupt, K. M. (1997c): Audiological correlates of speech understanding deficits in elderly listeners with mild-to-moderate hearing loss: III. Factor representation. *Ear and Hearing*, 18, 189-201
- Döring, W. H. (1986): Der Einfluss von Störschall auf das Sprachverstehen in verschiedenen Hörsituationen. In: *Sprachkommunikation, NTG-Tagung*. VDE Verlag, Berlin, 126-131
- Döring, W. H. & Hamacher, V. (1992): Neue Sprachverständlichkeitstests in der Klinik: Aachener Logatomtest und Dreisilbertest mit Störschall. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. Median Verlag, Heidelberg. 137-166
- Dubno, J. R. & Ahlstrom, J. B. (1995): Growth of low-pass masking of pure tones and speech for hearing-impaired and normal-hearing listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98 (6), 3113-3124
- Dubno, J. R. & Dirks, D. D. (1989): Auditory filter characteristics and consonant recognition for hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (4), 1666-1675
- Dubno, J. R., Dirks, D. D. & Schaefer, A. B. (1989): Stop-consonant recognition for normal-hearing listeners and listeners with high-frequency hearing loss II: Articulation index predictions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (1), 355-364
- Dubno, J. R. & Schaefer, A. B. (1992): Comparison of frequency selectivity and consonant recognition among hearing-impaired and masked normal-hearing listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91 (4), 2110-2121
- Duquesnoy, A. J. (1983): Effect of a single interfering noise or speech source upon the binaural sentence intelligibility of aged persons. *Journal of the Acoustical Society of America* 74 (3), 739-743
- EG-Arbeitsplatz-Lärmschutz-Richtlinie 86/188/EWG (1986): Richtlinie des Rates über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz (ABl. EG Nr. L 137, 28)
- EG-Arbeitsplatz-Lärmschutz-Richtlinie 2003/10/EG (2003): Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 6. Februar, Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm) (ABl. EG Nr. L 42, 38)

- Eisenberg, L. S., Dirks, D. D. & Bell, T. S. (1995): Speech recognition in amplitude-modulated noise of listeners with normal and listeners with impaired hearing. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38, 222-233
- Embleton, T.F.W. (1997): Final Report: Technical Assessment of upper limits on noise in the workplace. *Noise/News International*, 12, 203-216
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1974): Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety. EPA/ONAC Report 550/9-74-004, Washington
- Erber, N. P. (1971): Auditory detection of spondaic words in wide-band noise by adults with normal hearing and by children with profound hearing losses. *Journal of Speech and Hearing Research*, 14, 372-382
- Feldmann, H. (2001): *Das Gutachten des Hals-Nasen-Ohren-Arztes*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 94-104
- Fengler, J. (1990): *Hörgeschädigte Menschen*. Kohlhammer, Stuttgart
- Festen, J. M. (1987a): Explorations on the difference in SRT between a stationary noise masker and an interfering speaker. *Journal of the Acoustical Society of America Supplement*, 82
- Festen, J. M. (1987b): Speech-reception threshold in fluctuating background sound and its possible relation to temporal auditory resolution. In: Schouten, M. E. H. (Hrsg.): *The Psychophysics of Speech Perception*
- Festen, J. M. (1993): Contributions of comodulation masking release and temporal resolution to the speech-reception threshold masked by an interfering voice. *Journal of the Acoustical Society of America*, 94, 1295-1300
- Festen, J. M. & Plomp, R. (1990): Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88 (4), 1725-1736
- Findlay, R. C. & Denenberg, L. J. (1977): Effects of subtle mid-frequency auditory dysfunction upon speech discrimination in noise. *Audiology*, 16, 252-259
- Fitzgibbons, P. J. & Wightman, F. L. (1982): Gap detection in normal and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72 (3), 761-765
- Florentine, M., Fastl, H. & Buus, S. (1988): Temporal integration in normal hearing, cochlear impairment, and impairment simulated by masking. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84, 195-203
- Florin, I., Luck, P. & Komischke, K. (1990): *Psychische Symptome und Krankheitsanfälligkeit bei schwerhörigen Erwachsenen*. Projekt im Fachbereich Psychologie der Philipps-Universität, Marburg, 1-24
- Formby, C. (1982): *Differential sensitivity to tonal frequency and to the rate of modulation of broad-band noise by hearing-impaired listeners*. University of Washington, Unpublished doctoral dissertation, St. Louis
- Foster, J.R. & Haggard, M.P. (1979): An efficient analytical test of speech perception. *Proceedings of IoA, IA3*, 9-12
- Frank, M. (1993): Nicht hören, nicht fühlen. *Süddeutsche Zeitung* Nr. 192 vom 21./22.08.1993

- Fröhlich, G. (1978): Der Einfluss von Gehörschutzgeräten und Hörverlusten auf die Sprachverständlichkeit im Flugzeuglärm. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin*, 78-81
- Gelfand, S. A., Ross, L. & Miller, S. (1988): Sentence reception in noise from one versus two sources: Effects of aging and hearing loss. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83 (1), 248-256
- Glasberg, B. R. & Moore, B. C. J. (1986): Auditory filter shapes in subjects and bilateral cochlear impairments
- Glasberg, B. R. & Moore, B. C. J. (1989): Psychoacoustic abilities of subjects with unilateral and bilateral cochlear hearing impairments and their relationship to the ability to understand speech. *Scandinavian Audiology Supplement*, 32, 1-25
- Glasberg, B. R. & Moore, B. C. J. (1992): Effects of envelope fluctuations on gap detection. *Hearing Research*, 64, 81-92
- Glasberg, B. R., Moore, B. C. J. & Bacon, S. P. (1987): Gap detection and masking in hearing-impaired and normal-hearing subjects. *Journal of the Acoustical Society of America*, 81 (5), 1546-1556
- Glorig, A., Summerfield, A. & Nixon, J. (1950): Distribution of hearing loss in non-noise-exposed populations. *Proceedings of International Congress on Acoustics*
- Gordon-Salant, S. (1987): Age-related differences in speech recognition performance as a function of test format and paradigm. *Ear and Hearing*, 8 (5), 277-283
- Gordon-Salant, S. & Fitzgibbons, P. J. (1993): Temporal factors and speech recognition performance in young and elderly listeners. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 1276-1285
- Gordon-Salant, S. & Fitzgibbons, P. J. (1995): Comparing recognition of distorted speech using an equivalent signal-to-noise ratio index. *Journal of Speech and Hearing Research*, 38 (6), 706-713
- Gordon-Salant, S. & Fitzgibbons, P. J. (1997): Selected cognitive factors and speech recognition performance among young and elderly listeners. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 423-431
- Grice (1975): Logic and conversation. In: Cole, P. & Morgan, J.L. (eds.): *Syntax and semantics*. Vol. 3: Indirect speech acts. New York: Academic Press. 41-58
- Groen, J. J. (1969): Social hearing handicap; its measurement by speechaudiometry in noise. *International Audiology*, 8, 182-183
- Grose, J. H., Eddins, D. A. & Hall, J. W. (1989): Gap detection as a function of stimulus bandwidth with fixed high-frequency cutoff in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86, 1747-1755
- Guski, R., Genuit, K., Hottenbacher, A. & Wühler, K. (1996): Mangel an präventiven Gestaltungsmaßnahmen zum Lärmschutz. *Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*, Fb 745. *Wirtschaftsverlag NW*, Bremerhaven
- Hahlbrock, H.-H. (1970): *Sprachaudiometrie*. Thieme Verlag, Stuttgart
- Hallberg, L. R.-M. & Carlsson, S. G. (1991a): A qualitative study of strategies for managing a hearing impairment. *British Journal of Audiology*, 25, 201-211

- Hallberg, L. R.-M. & Carlsson, S. G. (1991b): Hearing impairment, coping and perceived hearing handicap in middle-aged subjects with acquired hearing loss. *British Journal of Audiology*, 25, 323-330
- Hallberg, L. R.-M., Erlandsson, S.I. & Carlsson, S.G. (1992a): Coping strategies used by middle-aged males with noise-induced hearing loss, with and without tinnitus. *Psychology and Health*, 7, 273-288.
- Hallberg, L. R.-M., Eriksson-Mangold, M. & Carlsson, S. G. (1992b): Psychometric evaluation of a Swedish version of the communication strategies scale of the communication profile for the hearing impaired. *Journal of Speech and Hearing Research*, 35, 666-674
- Halling, D. C. & Humes, L. E. (2000): Factors affecting the recognition of reverberant speech by elderly listeners. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43, 414-431
- Hannley, M. & Dorman, M. F. (1983): Susceptibility to intraspeech spread of masking in listeners with sensorineural hearing loss. *Journal of the Acoustical Society of America*, 74 (1), 40-51
- Harris, R. W. & Swenson, D. W. (1990): Effects of reverberation and noise on speech recognition by adults with various amounts of sensorineural hearing impairment. *Audiology*, 29, 314-321
- Hashimoto, M. (1996): Speech perception in noise when wearing hearing protectors with little low-frequency attenuation. *Int. J. Ind. Ergon.*, 18, 121-126
- Helfer, K. S. & Huntley, R. A. (1991): Aging and consonant errors in reverberation and noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90 (4), 1786-1796
- Helfer, K. S. & Wilber, L. A. (1990): Hearing loss, aging, and speech perception in reverberation and noise. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33, 149-155
- Hellbrück, J. & Ellermeier, W. (2004): Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie. Hogrefe, Göttingen
- Herbst, K.G. & Humphrey, C. (1980): Hearing impairment and mental state in the elderly living at home. *Br. Med. Journal* 281, 903-905
- Hétu, R. (1981): Wearing conditions of personal hearing protectors in a steel plant. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70 (1), 107
- Hétu, R., Lalonde, M. & Getty, L. (1987): Psychosocial disadvantages associated with occupational hearing loss as experienced in the family. *Audiology*, 26, 141-152
- Hinchcliffe, R. (1998): Quality of life, noise and hearing. In: Prasher, D., Luxon, L. & Pyykkö, I. (Hrsg.): *Advances in Noise Research, Volume II, Protection against noise*. Whurr Publishers Ltd., 24-44
- Hirsh, I. J., Davis, H., Silverman, S. R., Reynolds, E. G. & Eldert, E. (1952): Development of materials for speech audiometry. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 17, 321-337
- Hiselius, P. (2000): A new generation : Uniform attenuation hearing protectors offer superior communication and user acceptance for normal and hearing impaired listeners. *Occup. Health Saf.*, 69 (3), 50-54

- Hörmann, H., Lazarus-Mainka, G., Lazarus, H. & Schubeius, M. (1981): Sprachliche Kommunikation unter Lärm und das Tragen von Gehörschutz. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 287. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- Hörmann, H., Lazarus-Mainka, G. & Schubeius, M. (1982): Sprachliche Kommunikation unter Lärm und das Tragen von Gehörschutz. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 29, 97-104
- Hoffmann, E. (1997): Hörfähigkeit und Hörschäden junger Erwachsener unter Berücksichtigung der Lärmbelastung. Median Verlag, Heidelberg
- Holube, I. & Kollmeier, B. (1996): Speech intelligibility prediction in hearing-impaired listeners based on a psychoacoustically motivated perception model. Journal of the Acoustical Society of America, 100, 1703-1716
- Horii, Y., House, A. S. & Hughes, G. W. (1971): A masking noise with speech-envelope characteristics for studying intelligibility. Journal of the Acoustical Society of America, 49, 1849-1856
- House, A. S., Williams, C. E., Hecker, M. H. L. & Kryter, K. D. (1965): Articulation-testing methods: Consonantal differentiation with a closed-response set. Journal of the Acoustical Society of America, 37 (1), 158-167
- Houtgast, T. & Steeneken, H.J.M. (1972): Envelope spectrum and intelligibility of speech in enclosures. Proceedings of the IEEE. Conference on Speech Communication and Processing, 392 – 395
- Howell, K. & Martin, A. M. (1975): An investigation of the effects of hearing protectors on vocal communication in noise. Journal of Sound and Vibration, 41 (2), 181-196
- Howes, D. (1957): On the relation between the intelligibility and frequency of occurrence of English words. Journal of the Acoustical Society of America, 29 (2), 296-305
- Hülse, M. & Boll, B. (1979): Literaturdokumentation zur Presbycusis: Untersuchungen der Ursachen der Altersschwerhörigkeit. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Fb 222. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- Hull, R. (1978): Hearing evaluation of the elderly. In: Katz, J. (Hrsg.): Handbook of clinical audiology. Williams & Williams, Baltimore
- Humes, L. E. (1996): Speech understanding in the elderly. Journal of the American Academy of Audiology, 7, 161-167
- Humes, L. E. & Christopherson, L. (1991): Speech identification difficulties of hearing-impaired elderly persons: The contributions of auditory processing deficits. Journal of Speech and Hearing Research, 34 (6), 686-693
- Humes, L. E., Espinoza-Varas, B. & Watson, C. S. (1988): Modeling sensorineural hearing loss. I. Model and retrospective evaluation. Journal of the Acoustical Society of America, 83 (1), 188-202
- Humes, L. E. & Roberts, L. (1990): Speech-recognition difficulties of the hearing-impaired elderly: The contributions of audibility. Journal of Speech and Hearing Research, 33, 726-735

- Humes, L. E., Watson, B. U. & Christensen, L. A. (1994): Factors associated with individual differences in clinical measures of speech recognition among the elderly. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 465-474
- Hygge, S., Rönnerberg, J., Larsby, B. & Arlinger, S. (1992): Normal-hearing and hearing-impaired subjects' ability to just follow conversation in competing speech, reversed speech, and noise backgrounds. *Journal of Speech and Hearing Research*, 35, 208-215
- Ising, H., Babisch, W., Günther, T. & Kruppa, B. (1997): Risikoerhöhung für Herzinfarkt durch chronischen Lärmstreß. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 44, 1-7
- ISO 1999: Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment (1990)
- Jerger, J., Jerger, S. & Pirozzolo, F. (1991): Correlational analysis of speech audiometric scores, hearing loss, age, and cognitive abilities in the elderly. *Ear and Hearing*, 12, 103-109
- Jokinen, K. (1973): Presbycusis. VI. Masking of speech. *Acta Oto-Laryngologica*, 76, 426-430
- Kalikow, D. N., Stevens, K. N. & Elliott, L. L. (1977): Development of a test of speech intelligibility in noise using sentence materials with controlled word predictability. *Journal of the Acoustical Society of America*, 61 (5), 1337-1351
- Killion, K. D., Vibiss de, E. & Steward, J. (1988): An earplug with uniform 15-dB attenuation. *Hearing Journal*, 41, 14-17
- Kirk, K. I., Pisoni, D. B. & Miyamoto, R. C. (1997): Effects of stimulus variability on speech perception in listeners with hearing impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40, 1395-1405
- Klein, A. J., Mills, J. H. & Adkins, W. Y. (1990): Upward spread of masking, hearing loss, and speech recognition in young and elderly listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 1266-1271
- Körpert, K. (1980): Retrospektive Untersuchung über die Wirkung von Gehörschützern. *ÖAL-Fachtagung: Schutz vor Lärm*, 79-82
- Kollmeier, B. (2004): *Audiologie. Lecture Scripts. Universität Oldenburg.* http://medi.uni-oldenburg.de/html/teaching_download.html
- Kollmeier, B. & Holube, I. (1992): Auditory filter bandwidths in binaural and monaural listening conditions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92, 1889-1901
- Kryter, K. D. (1946): Effects of ear protective devices on the intelligibility of speech in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 10 (2), 413-417
- Kryter, K. D., Williams, C. & Green, D. M. (1962): Auditory acuity and the perception of speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 34 (9), 1217-1223
- Kuzniarz, J. J. (1973): Hearing loss and speech intelligibility in noise. *Proceedings of EPA, The US Environmental Protection Agency*, 57-72
- Lalande, N. M., Lambert, J. & Riverin, L. (1988): Quantification of the psychosocial disadvantages experienced by workers in a noisy industry and their nearest relatives: Perspectives for rehabilitation. *Audiology*, 27, 196-206

- Lalonde, M. & Héту, R. (1986): Bases for the analysis of psycho-social disadvantages due to noise-induced hearing loss. 12. ICA, B11-7
- Laroche, C., Tran Quoc, H., Héту, R. & Mc Duff, S. (1991): "Detectsound": A computerized model for predicting the detectability of warning signals in noisy workplaces. *Applied Acoustics*, 32, 193-214
- Laroche, C., Héту, R., Quoc, H. T. & Rouffet, J.-M. (1992): "Detectsound" and "dBOHS": A software package for the analysis of health and safety in noisy workplaces. *Canadian Acoustics*, 20 (3), 39-40
- Launer, S., Holube, I., Hohmann, V. & Kollmeier, B. (1996): Categorical loudness scaling in hearing-impaired listeners - Can loudness growth be predicted from the audiogram? *Audiologische Akustik*, 4, 156-163
- Lazarus, H. (1979): Identifizierung von akustischen Mustern beim Tragen von Gehörschutz. *Kampf dem Lärm*, 26 (6) , 183-188
- Lazarus, H. (1980): Beeinflusst das Tragen von Gehörschutz die Erkennung von akustischen Signalen? *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Prophylaxe und Ergonomie*, 30 (6), 204-212
- Lazarus, H. (1990): New methods for describing and assessing direct speech communication under disturbing conditions. *Environmental Int.* 16, 373-392
- Lazarus, H. (1992): Speech intelligibility with respect to hearing protection and hearing impairment. In: *Proceedings of Inter-Noise '92*, 289-294
- Lazarus, H., Wittmann, H., Weißenberger, H. & Meißner, H. (1983): Die Wahrnehmbarkeit von Rottenwarntypen beim Tragen von Gehörschutz. *Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- Lazarus, H., Lazarus-Mainka, G. & Schubeius, M. (1985): Sprachliche Kommunikation unter Lärm. *Humanisierung des Arbeitslebens*. Kiehl-Verlag, Ludwigshafen
- Lazarus, H., Irion, H., Pfeiffer, I. & Albert, O. (1986): Geräuschbelastung in einem Großkraftwerk. *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- Lazarus, H., Parthey, W. & Schust, M. (2001): Gefährdungsanalyse – Lärm. In: *Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, *Sonderschrift S 42*, 3. Auflage, 235-255. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- Leek, M. R., Dorman, M. F. & Summerfield, Q. (1987): Minimum spectral contrast for vowel identification by normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 81 (1), 148-154
- Lehnhardt, E. (1978): *Praktische Audiometrie*. Lehrbuch und synoptischer Atlas. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Lehnhardt, E. (1996): *Praxis der Audiometrie*. Thieme Verlag, Stuttgart
- Lehnhardt, E. & Plath, P. (1981): *Begutachtung der Schwerhörigkeit bei Lärmarbeitern*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York
- Leitmann, T. (2003): Lautstärke in Diskotheken. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 50 (5), 140-146

- Leshowitz, B. (1977): Speech intelligibility in noise for listeners with sensorineural hearing damage. *IPO Ann. Prog. Rep.*, 12, 11-13
- Lessing, G. & Sauer, U. (1979): Individueller Gehörschutz und Hörbarkeit akustischer Signale. *Zeitschrift für die gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete*, 25 (2), 113-117
- Levin, G. (1976): Wahrnehmbarkeit beim Tragen von Gehörschutz. *Die Berufsgenossenschaft*, 28, 471-474
- Liedtke, M. (1997): Gehörschützer für Fahrzeugführer. *Die Berufsgenossenschaft*, 7, 353-358
- Liedtke, M. (1998): Selection of hearing protectors to be used in road traffic or railway systems in Germany. In: Prasher, D., Luxon, L. & Pyykkö, I. (Hrsg.): *Advances in noise research. Protection against noise, Vol. II*. Whurr Publishers, London, 177-182
- Liedtke, M. (2000): Otoplastik – ein spezieller Gehörschutz. *BIA-Info* 7/2000
- Liedtke, M. (2002): Specifying a general criterion for hearing protectors with the aim of ensuring good acoustic perception. *Noise and Vibration Worldwide*, 33 (7), 19-23
- Liedtke, M. (2003): Neue Entwicklungen beim Gehörschutz. *Technische Überwachung*, 44 (3), 50-53
- Lightfoot, C., Carhart, R. & Gaeth, J. H. (1956): Masking of impaired ears by noise. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 21 (1), 56-70
- Lindeman, H. E. (1971): Relation between audiological findings and complaints by persons suffering from noise-induced hearing loss. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 32, 447-452
- Lindeman, H. E. (1976): Speech intelligibility and the use of hearing protectors. *Audiology*, 15, 348-356
- Lutman, M. E., Gatehouse, S. & Worthington, A. G. (1991): Frequency resolution as a function of hearing threshold level and age. *Journal of the Acoustical Society of America*, 89(1), 320-328
- Lyregaard, P. E. (1982): Frequency selectivity and speech intelligibility in noise. *Scandinavian Audiology Supplement*, 15, 113-122
- Martin, A. M., Howell, K. & Lower, M. C. (1976): Hearing protection and communication in noise. In: Stephens, S. D. G. (Hrsg.): *Disorders of auditory function. II*. Academic Press, London, 47-67
- Mayer, K. U. & Baltes, P. B. (1996). *Die Berliner Altersstudie*. Berlin: Akademie Verlag
- Meier, H. (1964): *Deutsche Sprachstatistik*. Georg Olms Verlagsbuchhandlung, Hildesheim
- Mershon, D. H. & Lin, L.-J. (1987): Directional localization in high ambient noise with and without the use of hearing protectors. *Ergonomics*, 30 (8), 1161-1173
- Meyerson, L. (1948): Experimental injury: An approach to the dynamics of disability. *Journal of Social Issues* 34 (4), 72-77

- Middlebrooks, J. C. & Green, D. M. (1991): Sound localization by human listeners. *Annu. Rev. Psychol.*, 42, 135-159
- Moore, B. C. J. (1995): *Perceptual consequences of cochlear damage*. Oxford
- Moore, B. C. J. & Glasberg, B. R. (1988): Gap detection with sinusoids and noise in normal, impaired and electrically stimulated ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83 (3), 1093-1101
- Moore, B. C. J., Glasberg, B. R. & Vickers, D. A. (1995): Simulation of the effects of loudness recruitment on the intelligibility of speech in noise. *British Journal of Audiology*, 29, 131-143
- Moore, B. C. J., Peters, R. W. & Glasberg, B. R. (1992): Detection of temporal gaps in sinusoids by elderly subjects with and without hearing loss. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92, 1923-1932
- Nábelek, A. K., Czyzewski, Z. & Krishnan, L. A. (1992): The influence of talker differences on vowel identification by normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 92 (3), 1228-1246
- Nakladal, C. & Hennig, P. (1995): *Bewertung der Hörbarkeit und des Ortungsvermögens von Warnsignalen beim Tragen von Gehörschutz unter den Gesichtspunkten der Vermeidung von Unfällen und der Motivation zur Erhöhung der Tragebereitschaft*. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG). Hamann/Consult, Dresden
- Nakladal, C. & Listner, T. (1997): *Objektivierung der Sprachverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz zur Verbesserung der Tragebereitschaft*. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin
- Nejime, Y. & Moore, B. C. J. (1998): Evaluation of the effect of speech-rate slowing on speech intelligibility in noise using a simulation of cochlear hearing loss. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103 (1), 572-576
- Nelson, D. A. & Pavlov, R. (1989): Auditory time constants for off-frequency forward masking in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 298-306
- Niemeyer (1967a): *Sprachaudiometrie mit Sätzen: Grundlagen und Testmaterial einer Diagnostik des Gesamtsprachverständnisses*. *HNO*, 15 (11), 335-343
- Niemeyer, W. (1967b): *Speech discrimination in noise-induced deafness*. *International Audiology*, 6, 42-47
- Niemeyer, W. (1983): *Wie hört ein Lärmschwerhöriger?* In: Pfeiffer, B. H. : *Lärm-Arbeitsmedizinische Gehörsorge*. Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Bonn, 129-139
- Nilsson, M., Soli, S. D. & Sullivan, J. A. (1994): Development of the hearing in noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95 (2), 1085-1099
- Noble, W. (1981): Earmuffs, exploratory head movements, and horizontal and vertical sound localization. *The Journal of Auditory Research*, 21, 1-12

- Noble, W. & Gates, A. (1985): Accuracy, latency, and listener-search behaviour in localization in the horizontal and vertical planes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 78 (6), 2005-2012
- Noble, W., Murray, N. & Waugh, R. (1990): The effect of various hearing protectors on sound localization in the horizontal and vertical planes. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 51 (7), 370-377
- Novak, R. E. & Anderson, C. V. (1982): Differentiation of Types of Presbycusis Using the Masking-Level Difference. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25, 504-508
- Owens, E. & Schubert, E.D. (1977): Development of the California Consonant Test. *Journal of Speech and Hearing Research*, 20 (3), 463-474
- Palva, T. (1955): Studies of hearing for pure tones and speech in noise. *Acta Oto-Laryngologica*, 45, 231-243
- Passchier-Vermeer, W. (1968): Hearing loss due to exposure to steady-state broad band noise (Report 35). Delft, Nederlande
- Passchier-Vermeer, W. (1999): Pop music through headphones and hearing loss. In: *Engineering, Institute of Noise Control, Noise Control Engineering Journal*, 182-186
- Pavlovic, Ch. V., Studebaker, G. A. & Sherbecoe, R. L. (1986): An articulation index based procedure for predicting the speech recognition performance of hearing-impaired individuals. *Journal of the Acoustical Society of America* 80 (1), 50-57
- Payton, K. L., Uchanski, R. M. & Braida, L. D. (1994): Intelligibility of conversational and clear speech in noise and reverberation for listeners with normal and impaired hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95 (3), 1581-1592
- Pekkarinen, E., Viljanen, V., Salmivalli, A. & Suonpää, J. (1990): Speech recognition in a noisy and reverberant environment with and without earmuffs. *Audiology*, 29, 286-293
- Pestalozza, G. & Lazzaroni, A. (1954): Noise effect on speech perception in clinical and experimental types of deafness. *Acta Oto-Laryngologica*, 44, 350-358
- Peters, R. W., Moore, B. C. J. & Baer, T. (1998): Speech reception thresholds in noise with and without spectral and temporal dips for hearing impaired and normally hearing people. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103 (1), 577-587
- Peterson, L.N. & French, L. (1988): Summarization strategies of hearing-impaired and normally hearing college students. *Journal of Speech and Hearing Research*, 31, 327-337
- Pichora-Fuller, M. K., Schneider, B. A. & Daneman, M. (1995): How young and old adults listen to and remember speech in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97 (1), 593-608
- Pickett, J. M. (1956): Effects of vocal force on the intelligibility of speech sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 28 (5), 902-905
- Pickett, J. M. & Pollack, I. (1958): Prediction of speech intelligibility at high noise levels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 30 (10), 955-963

- Pittman, A. L. & Stelmachowicz, P. G. (2000): Perception of voiceless fricatives by normal-hearing and hearing-impaired children and adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43, 1389-1401
- Plath, P. (1981): Bemessung der Minderung der Erwerbsfähigkeit bei Lärmschwerhörigkeit. In: Lehnhardt, E. & Plath, P. (Hrsg.): *Begutachtung der Schwerhörigkeit bei Lärmarbeiten*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York
- Plomp, R. (1978): Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. *Journal of the Acoustical Society of America*, 63, 533-549
- Plomp, R. (1986): A signal-to-noise ratio model for the speech-reception threshold of the hearing impaired. *Journal of Speech and Hearing Research*, 29, 146-154
- Plomp, R. (1994): Noise, amplification, and compression: Considerations of three mean issues in hearing aid design. *Ear and hearing*, 15, 2-12
- Plomp, R. & Mimpen, A.M. (1979): Speech-reception threshold for sentences as a function of age and noise level. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66 (5), 1333-1341
- Plomp, R., Duquesnoy, A. J. & Smoorenburg, G. F. (1983): Effects of noise and reverberation on the speech-reception threshold of hearing-impaired listeners. In: Rossi, G. et al. (Hrsg.): *Noise as a Public Health Problem*, Milano, 489-500
- Pollack, I. (1957): Speech communications at high noise levels: The roles of a noise-operated automatic gain control system and hearing protection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 29 (12), 1324-1327
- Pröschel, U. L. J. & Döring, W. H. (1992): Richtungsabhängiges Sprachverstehen unter Störschalleinfluss bei Störungen der auditiven Selektionsfähigkeit und bei seitengleicher Innenohrschwerhörigkeit. *Audiologische Akustik*, 6, 192-203
- Prosser, S., Turrini, M. & Arslan, E. (1991): Effects of different noises on speech discrimination by the elderly. *Acta Oto-Laryngologica*, , 136-142
- Puzyna, C. (1981): Investigation of directional hearing. *Archives of Acoustics*, 6 (3), 253-272
- Richtberg, W. (1980): Hörbehinderung als psycho-soziales Leiden. *Forschungsbericht des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung*. 32, Bonn
- Richtberg, W. (1988): Schwerhörigkeit: Die am häufigsten verkannte Behinderung. *REHAB-Report*
- Richtberg, W. (1989): Schwerhörigkeit als psycho-soziale Behinderung. *Audiologische Akustik*, 1, 12-21
- Rittmanic, P. A. (1962): Pure-tone masking by narrow-noise bands in normal and impaired ears. *The Journal of Auditory Research*, 2, 287-304
- Robinson, D. W. (1968): The relationships between hearing loss and noise exposure (Aero Report AC 32). Teddington, England
- Russell, G. (1976): Effects of earmuffs and earplugs on azimuthal changes in spectral patterns: Implications for theories of sound localization. *The Journal of Auditory Research*, 16, 193-207

- Russell, G. (1977): Limits to behavioural compensation for auditory localization in earmuff listening conditions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 61 (1), 219-220
- Salomon, G., Vesterager, V. & Jagd, M. (1988): Age-related hearing difficulties. I. Hearing impairment, disability, and handicap - a controlled study. *Audiology*, 27, 164-178
- Sauer, U. (1992): Beidohriger Zahlentest im Störgeräusch: Prinzip – Anwendung - Ergebnisse. In: Kollmeier, B. (Hrsg.): *Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie*. Median Verlag, 122-133
- Schmidt, P.H. (1967): Presbycusis. *International Audiology*, Supplement 1
- Schmitt, J. F. & Moore, J. R. (1989): Natural alteration of speaking rate: The effect on passage comprehension by listeners over 75 years of age. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 445-450
- Schulz von Thun, F. (1983): *Miteinander reden: Störungen und Klärungen. Psychologie der zwischenmenschlichen Kommunikation*. Reinbek: Rowohlt
- Schultz-Coulon, H.-J. (1973): Über die Bedeutung des Umweltgeräusches für den Hochtonschwerhörigen. *HNO*, 21, 26-32
- Schum, D.J., Matthews, L.J. & Lee, F.-S. (1991): Actual and predicted word-recognition performance of elderly hearing-impaired listeners. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 636-642
- Shannon, R. V., Zeng, F., Kamath, V., Wygonski, J. & Ekelid, M. (1995): Speech recognition with primarily temporal cues. *Science*, 270, 303-304
- Sickert, P. (2004): Otoplastik - Allheilmittel oder Fehlentwicklung. www.smbg.de
- Simonton, K. M. & Hedgecock, L. D. (1953): A laboratory assessment of hearing acuity for voice signals against a background of noise. *The Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 62, 735-747
- Sohn, W. & Jörgenshaus, W. (2001): Schwerhörigkeit in Deutschland. *Zeitschrift für Allgemeine Medizin*, 77, 143-147
- Sotschek, J. (1982): Ein Reimtest für Verständlichkeitsmessungen mit deutscher Sprache als ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsgüte. In: Dingeldey, R., Eisenhut, G. & Mahr, H. (Hrsg.): *Der Fernmeldeingenieur*, 1-84
- Souza, P. E. & Turner, C. W. (1994): Masking of speech in young and elderly listeners with hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37 (6), 655-661
- Spoor, A. (1967): Presbycusis values in reaction to noise induced hearing loss. *International Audiology*, Leiden, 6, 48-57
- Sprengher, M. (1983): Physiologische Hintergründe der Sprachrezeption. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Sprach- und Stimmheilkunde. Travemünde
- Stelmachowicz, P. G., Jesteadt, W., Gorga, M. P. & Mott, J. (1985): Speech perception ability and psychophysical tuning curves in hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 77 (2), 620-627

- Studebaker, G., Sherbecoe, R. L., McDaniel, D. M. & Gwaltney, C. A. (1999): Monosyllabic word recognition at higher-than-normal speech and noise levels. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 2431-2444
- Suter, A. H. (1980): Hearing level and speech discrimination in noise. In: Tobias, J. V., Jansen, G. & Ward, W. D. (Hrsg.): *Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the Third International Congr. ASHA, Rep.10.* , 203-209
- Suter, A. H. (1992): *Communication and job performance in noise : A review.* American Speech-Language-Hearing Association, ASHA Monographs. Rockville, Maryland, 1-84
- Takahashi, G. A. & Bacon, S. P. (1992): Modulation detection, modulation masking, and speech understanding in noise in the elderly. *Journal of Speech and Hearing Research*, 35, 1410-1421
- Talamo, J. D. C. (1979): Effects of cab noise environment on the hearing perception of agricultural tractor drivers. *Applied Acoustics*, 12, 125-137
- Ter-Horst, K., Byrne, D. & Noble, W. (1993): Ability of hearing-impaired listeners to benefit from separation of speech and noise. *The Australian Journal of Audiology*, 15, 71-84
- Tesch-Römer, C. (2001): *Schwerhörigkeit im Alter - Belastung, Bewältigung, Rehabilitation.* Median-Verlag, Heidelberg
- Tillman, T.W. & Carhart, R. (1966): An expanded test for speech discrimination utilizing CNC monosyllabic words. *Northwestern University Auditory Test No. 6. SAM-TR-66-55*, 1-12
- Tominaga, Y. (1969): The choice reaction time in response to the direction of tonal signals under noise - The effect of the use of earplugs. *J. Science of Labour*, 45 (10), 594-604
- Townsend, T. H. & Bess, F. H. (1980): Effects of age and sensorineural hearing loss on word recognition. *Scandinavian Audiology*, 9, 245-248
- Trychin, S. (1995): Counseling older adults with hearing impairments. In: Kricos, P. B. & Lesner, S. A. (eds.): *Hearing care for the older adults.* Butterworth-Heinemann Medical, Newton, 113-125
- Turner, C. W., Souza, P. E. & Forget, L. N. (1995): Use of temporal envelope cues in speech recognition by normal and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 2568-2576
- Tyler, R. S. (1986): Frequency resolution in hearing-impaired listeners. In: Moore, B. C. J. (eds.): *Frequency Selectivity in Hearing.* London.
- Tyler, R. S., Fernandes, M. & Wood, E. J. (1980): Masking, temporal integration and speech intelligibility in individuals with noise-induced hearing loss. In: Talyor, I. G. & Markides, A. (eds.): *Disorders Auditory Function III.* Academic Press, London, 211-236
- Tyler, R. S., Summerfield, Q., Wood, E. J. & Fernandes, M. A. (1982a): Psychoacoustic and phonetic temporal processing in normal and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72 (3), 740-752

- Tyler, R. S., Wood, E. J. & Fernandes, M. (1982b): Frequency resolution and hearing loss. *British Journal of Audiology*, 16, 45-63
- Unfallverhütungsvorschrift Lärm, BGV B3 (1997): Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit
- Uchanski, R. M., Choi, S. S., Braida, L. D., Reed, C. M. & Durlach, N. I. (1996): Speaking clearly for the hard of hearing IV: Further studies of the role of speaking rate. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 494-509
- Van Rooij, J. C. G. M. & Plomp, R. (1990): Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. II. Multivariate analyses. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88 (6), 2611-2624
- Van Rooij, J. C. G. M. & Plomp, R. (1992): Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. III. Additional data and final discussion. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91 (2), 1028-1033
- Van Rooij, J. C. G. M., Plomp, R. & Orlebeke, J. F. (1989): Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. I. Development of test battery. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86, 1294-1309
- Van Tasell, D. J. & Trine, T. D. (1996): Effects of single-band syllabic amplitude compression on temporal speech information in nonsense syllables and in sentences. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, 912-922
- Van Tasell, D.J., Fabry, D.A. & Thibodeau, L.M. (1987): Vowel identification and vowel masking patterns of hearing-impaired subjects. *Journal of the Acoustical Society of America*, 81 (5), 1586-1597
- Vause, N. L. & Grantham, D. W. (1999): Effects of earplugs and protective headgear on auditory localization ability in the horizontal plane. *Human Factors*, 41, 282-294
- VDI 2058 – 2: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung (1988)
- VDI 2058 – 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten (1999)
- Vesterager, V., Salomon, G. & Jagd, M. (1988): Age-related hearing difficulties. II. Psychological and sociological consequences of hearing problems - A controlled study. *Audiology*, 27, 179-192
- Von Gierke, H. E. & Johnson, P. L. (1976): Summary of present damage risk criteria. In: Henderson, D., Hamernik, R. P., Dosanjh, D. S. & Mills, J. H. (eds.): *Effect of noise on hearing*. Raven Press, New York
- Von Lüpke, A. (1964): Gehörschützer II - Ergebnisse von Messungen und Trageversuchen. *Arbeitsschutz*, 12, 395-402.
- Wagener, K., Brand, T. & Kollmeier, B. (1999b): Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache. Teil II: Optimierung des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift für Audiologie*, 38 (2), 44-56
- Wagener, K., Brand, T. & Kollmeier, B. (1999c): Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache. Teil III: Evaluation des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift für Audiologie*, 38 (3), 86-95

- Wagener, K., Kühnel, V. & Kollmeier, B. (1999a): Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache. Teil I: Design des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift für Audiologie*, 1, 4-15
- Wagstaff, A. S.; Tvette, O. & Ludvigsen, B. (1996): The effect of headset leakage on speech intelligibility in helicopter noise. *Aviat. Space Environ. Med.*, 67, 1034-1038
- Wagstaff, A. S. & Woxen, O. J. (2001): Double hearing protection and speech intelligibility - room for improvement. *Aviat. Space Environ. Med.*, 72, 405-406
- Watson, T. J. (1965): Speech audiometry - In varied acoustic conditions. *International Audiology*, 4, 102-104
- Weinstein, B. E. & Ventry, I. M. (1982): Hearing impairment and social isolation in the elderly. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25, 593-599
- Weiß, R. (2003): Beurteilung der Wirksamkeit von Gehörschutz. SMBG, Präventionsbericht 25/2003, Mainz
- Welzl-Müller, K., Graber, A. & Stephan, K. (1990): Einsilbiger Verständlichkeit und Artikulationsindex bei sensorineuraler Schwerhörigkeit. *Audiologische Akustik*, 5, 208-216
- Werkmeister-Stephan, M. & Liedtke, M. (1998): *Gehörschützer - Positivliste*. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
- WHO (1980): *Noise. Environmental Health Criteria 12*. World Health Organization, Geneva
- Wightman, F. L., McGee, T. & Kramer, M. (1977): Factors influencing frequency selectivity in normal and hearing-impaired listeners. In: Evans, E. F. & Wilson, J. P. (eds.): *Psychophysics and physiology of hearing*. Academic Press, London, 295-306
- Wilde, G. & Humes, L. E. (1990): Application of the articulation index to the speech recognition of normal and impaired listeners wearing hearing protection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 1192-1199
- Wilkins, P. A. (1984): A field study to assess the effects of wearing hearing protectors on the perception of warning sounds in an industrial environment. *Applied Acoustics*, 17, 413-437
- Wilkins, P. A. & Martin, A. M. (1977): The effect of hearing protectors on the masked thresholds of acoustic warning signals. 9. ICA, 40
- Wilkins, P. A. & Martin, A. M. (1978): The effect of hearing protectors on the perception of warning and indicator sounds - A general review. Research Institute of Sound and Vibration, Technical Report. University of Southampton
- Wilkins, P. A. & Martin, A. M. (1981): The effect of hearing protectors on the attention demand of warning sounds. *Scandinavian Audiology*, 10, 37-43.
- Wilkins, P. A. & Martin, A. M. (1982): The effects of hearing protection on the perception of warning sounds. In: Alberti, P. W. (eds.): *Personal Hearing Protection in Industry*. Raven Press, New York, 339-369
- Wilkins, P. A. & Martin, A. M. (1984): Attention demand and recognition in the perception of warning sounds and the effects of wearing hearing protection. *Journal of Sound and Vibration*, 94 (4), 483-494

- Wilkins, P. A. & Martin, A. M. (1985): The role of acoustical characteristics in the perception of warning sounds and the effects of wearing hearing protection. *Journal of Sound and Vibration*, 100 (2), 181-190
- Wilkins, P. A. & Martin, A. M. (1987): Hearing protection and warning sounds in industry - A review. *Applied Acoustics*, 21, 267-293
- Williams, C. E., Forstall, J. R. & Parsons, W. C. (1971): Effect of earplugs on passenger speech reception in rotary-wing aircraft. *Aerospace Medicine*, 7, 750-752
- Wittmann, H. & Meißner, H. (1986): Einfaches Verfahren zur Beurteilung der Wahrnehmbarkeit von Rottenwarntypen beim Tragen von Gehörschutz. Forschungsbericht Müller-BBM Planegg, München
- Working Group on Speech Understanding and Aging (1988): Speech understanding and aging. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 859-893
- Zeiger, R. (1979): Die Ermittlung der MDE aufgrund Ton- und Sprachaudiometrischer Untersuchungen. *Med. Sachverst.*, 75, 16-19
- Zeng, F.-G. & Turner, C. W. (1990): Recognition of voiceless fricatives by normal and hearing-impaired subjects. *Journal of Speech and Hearing Research*, 33, 440-449
- Zwicker, E. & Feldtkeller, R. (1967): *Das Ohr als Nachrichtenempfänger*. S. Hirzel Verlag, Stuttgart

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1	Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit durch Hörverlust. 143
Abbildung 2-2	Lärmschwerhörigkeit im Pegelbereich von 75 – 95 dB, Zusammenhang zwischen dem Lärmpegel einer Schicht (LM = LAr), Dauer der Lärmeinwirkung (D) und Tonhörverlust (LHLT) bei 4 kHz (nach Lazarus et al. 1986) 144
Abbildung 2-3	Individuelle Entwicklung der Lärmschwerhörigkeit über einen Zeitraum von 30 Jahren bei etwa gleicher andauernder Lärmbelastung (Ising et al. 1997)..... 144
Abbildung 2-4	Hörverlust (LHVT, 4 kHz, männliche Person, 60 Jahre, 40 Jahre Lärmexposition) für unterschiedliche Lärmbelastung (LAeq,8h: Perzentile 0.05, 0.5, 0.95) für männliche Lärmexponierte („stark gesiebte“ Population ohne Vor- und Nebenschäden) nach ISO 1999 (1990); z.B. bei einer Lärmbelastung (85 dB, 40 Jahre) haben 95 % der belasteten Personen einen Hörverlust von mindestens 11 dB 145
Abbildung 2-5a	Presbyakusis – periphere Hypothese (nach Humes 1996)..... 148
Abbildung 2-5b	Presbyakusis – zentral-auditive Hypothese (nach Humes 1996) 149
Abbildung 2-5c	Presbyakusis – kognitive Hypothese (nach Humes 1996) 149
Abbildung 2-6a/b	Sprachverständlichkeit (SV) für Zahlwörter und Einsilber (Bezugskurve für Zahlwörter (Z) und Einsilber (E) nach DIN 45626) in Abhängigkeit vom Pegel der Sprache (LS) 153
Abbildung 2-7	Hörverlust (DLHVT), bedingt durch eine berufliche Geräuschexposition, in Abhängigkeit vom Geräuschpegel (Lr) für gleichförmige Geräusche über 8 Stunden täglich (40 Stunden pro Woche), dargestellt mit drei Hörverlustkriterien, die erhalten wurden (nach Gierke & Johnson 1976) für:..... 161
Abbildung 3-1	Vergleich der Krankheitshäufigkeit von Schwerhörigen und einer Kontrollgruppe (nach Florin et al. 1990)..... 178
Abbildung 4-1	Einflussfaktoren der sprachlichen Kommunikation (physikalische, physiologische) 185
Abbildung 4-2	Hörschwelle für Sprache (LHSS) dargestellt über dem Geräuschpegel (LN) für Personen ohne (—) und mit Hörverlusten (— ;---); angegeben ist für schwerhörige Personen die Hörschwelle (LHSS) und der Hörverlust für Sprache in Ruhe (LHVS) und bei Geräuschen (LHVS,N); weiterhin ist angegeben die Hörschwelle für Sprache ohne Verluste bei Geräuschen (LHVS,N = 0; ---) und für LHVS = LHVS,N 187
Abbildung 4-3	Das gesendete Intensitätssignal (Ie sprachähnliches Spektrum, Modulationsgrad m = 1) und das empfangene Intensitätssignal (Ia,

	m < 1) mit der Modulationsfrequenz ($f_j < 50$ Hz) für einen Raum	188
Abbildung 4-4:	Spektrogramm von /æ/ in Ruhe (a), mit Geräuschen (b) mit Nachhall (c) (nach Nábelek et al. 1992).....	189
Abbildung 4-5	Satzverständlichkeit (SV in %) mit hoher und niedriger Vorhersagewahrscheinlichkeit (SPIN) gestört durch ein Sprechgeräusch (12 Sprecher) für Normalhörige (N, Alter ca. 35 Jahre, mittlere Tonhörschwelle (0,5 – 4 kHz) = 2 – 14 dB und Schwerhörige (S1/S2, Alter 55/61 Jahre, mittlere Tonhörschwelle (0,5 – 4 kHz) = 14 – 53 dB / 38 – 65 dB; Pegelhöhe: LSA = 68 dB (für N; für S oder LHST + 40 dB) (nach Abel et al., 1990, Zeile 24, aber anderes Sprachmaterial und Geräusch).....	214
Abbildung 4-6	Sprachverständlichkeit (SV in %) mit niedriger Vorhersagewahrscheinlichkeit (nVW) für normalhörende und schwerhörige, jüngere und ältere Personen (JN, AN, JS, AS); bei einem Sprechergeräusch (12 Sprecher) und einem Pegel von LSA ≈ 87 dB (nach Gordon-Salant & Fitzgibbons 1995, Zeile 38)....	221
Abbildung 4-7	Sprachverständlichkeit (SV in %) von Sätzen für Normalhörende (N) und Schwerhörige (S), für Geräusche mit einem sprachähnlichem Spektrum mit drei verschiedenen Pegelzeitverläufen (Hüllkurve: konstant, amplitudenmoduliert (mod.), natürliche Sprache (1 Sprecher; Sprechgeräusch)).....	231
Abbildung 4-8	Weitabverdeckung, die mittlere Mithörschwelle von Sinustönen ($f = 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8$ kHz, Pegel L) erzeugt durch schmalbandiges Rauschen (1 kHz, L = 100 dB) für Normalhörende (N: 20 Jahre, HVT (0,25 – 6 kHz) = 10 dB) und Schallempfindungs-Schwerhörige (S: 20 Jahre, HVT (0,25 – 6 kHz) = 15 - 50 dB) (nach Rittmanic, 1962).....	239
Abbildung 4-9	Weitabverdeckung: mittlere Mithörschwellen (N, S) für Sinustöne (L in dB, f in kHz) erzeugt durch Sinustöne (0,5 und 4 kHz bei 85 dB) für Normalhörende (N, 25 Jahre) und Lärmschwerhörige (S, 52 Jahre) (mittlere Hörschwelle in Ruhe: HST: N, S; nach Tyler et al. 1980).....	241
Abbildung 4-10	mittlere psychoakustische Abstimmkurve (PCT) für Normalhörende (N) und Lärmschwerhörige (S): Das Signal ist ein Sinuston 5 – 20 dB über der Hörschwelle (0,5 und 4 kHz), der Masker ist ein Sinuston (L in dB, f in kHz) (Hörschwelle HST für N und S; nach Tyler et al. 1980).....	242
Abbildung 5 -1	Anteil der nicht erkannten Signale (n_{Si}) in den Situationen ohne Gehörschutz (o. GS), mit Stöpsel (S), Kapsel (K) und pegelabhängiger Schalldämmung (KP), bei 5 verschiedenen Geräuschen (LNA = 90 bis 93 dB), 5 Betriebssignalen (LSA = 80 bis 110 dB) über 8 Richtungen (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°).....	249

Abbildung 5-2a	Mittlerer Fehler (r in Grad) bei der Bestimmung einer horizontalen Richtung eines Signals (60 dB; frontal 270° ... 0° ... 90° und lateral + 180° ... 270° ... 0°)..... 253
Abbildung 5-2b	Prozentsatz (v) der vorne / hinten und hinten / vorne - Verwechslung für 5 Hörsituationen: 3 ohne Gehörschutz (1, 2 (Wiederholung), 3 (30 dB niedriger Pegel)) und mit Gehörschutz (Stöpsel : S1 (EAR), S2 (ER25))..... 253
Abbildung 5-3	Anteil der richtig georteten Signale (n_{Si}) in den Situationen ohne Gehörschutz (o. GS), mit Stöpsel (S), Kapsel (K) und pegelabhängiger Schalldämmung (KP), bei 5 verschiedenen Geräuschen (LNA = 96 bis 93 dB), 5 Betriebssignalen (LSA = 80 bis 110 dB) über 8 Richtungen (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)..... 254
Abbildung 5-4	Anteil korrekt georteter Signalrichtungen (S_i) (10 Lautsprecher horizontal und 10 vertikal) mit Signalen (0,2 bis 8 kHz Impulsen aus Terzrauschen, 150 ms), jeweils gemittelt über Reihenfolgen mit verschiedener Lautsprecheranordnung bei der Hörbedingungen ohne Gehörschutz (o. GS), Stöpsel (S), Kapsel (K), aktiver Kapsel mit 2 Mikrofonen (K2) und mit einem Mikrofon (K1) 255
Abbildung 5-5	Korrekt angegebene Richtung (r in %), gemittelt über sechs Richtungen in horizontaler Ebene (60°, 90°, 150°, 210°, 270°, 330°) für normalhörende (hell unterlegt) und schwerhörige (dunkel unterlegt) Personen (für 0,5 / 4 kHz Hörverlust LHVT = 14 / 20 und 23 / 54 dB) für Signale 0,5 kHz (links) und 4 kHz (rechts) und unterschiedlichem Gehörschutz (o. GS: ohne Gehörschutz, S: Stöpsel, K: Kapsel, KP: Kapsel mit pegelabhängiger Dämmung) (LSA = 80 dB, LNA = 65 dB)..... 256
Abbildung 5-6	Differenz der Sprachverständlichkeit ($\Delta SV = SV(GS) - SV(o.GS)$) für Stöpsel (S1,R (0.25 - 2 kHz) = 9 - 22 dB; S2,R (0.25 - 2 kHz) = 17 - 29 dB) und Kapsel (K, R (0.25 - 2 kHz) = 13 - 35 dB) mit niedrigen/hohen Sprechpegel am Ohr des Hörers (LSA) bei Ruhe und einem Signal-Geräuschabstand von LSNA = LSA - LNA = 0 dB 258
Abbildung 5-7	Zunahme / Abnahme der Sprachverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz (GS: Stöpsel, Kapsel, Kapsel aktiv) gegenüber der Situation ohne Gehörschutz (o.GS) ($\Delta SV = SV(GS) - SV(o.GS)$) bei unterschiedlichen Geräuschpegeln (LNA) gemessen beim Hörer; Abkürzungen und Daten s. Tab. 5 - 5) 259
Abbildung 5-8	Verständlichkeit (SV) von Einsilbern dargeboten über einen Lautsprecher (LSA = 90 dB) bei weißem Rauschen (WR) und sprachähnlichem Rauschen (SR) mit einem Geräuschpegel von LNA = 85 dB für 4 Personengruppen: Normalhörende (N, Alter: 35 - 50 Jahre), Personen mit einem Hochtonverlust (SH1, SH2, Alter: 35 - 50 Jahre, 51 - 65 Jahre) und Personen mit einem flach

	verlaufendem Hörverlust (SF, Alter: 35 - 65 Jahre). Die Personen trugen keinen Gehörschutz (- - -) oder eine Kapsel (—) (nach Abel et al. 1980, 1982a, b).	262
Abbildung 5-9a	für Personen mit leichten Gehörschäden	264
Abbildung 5-9b	für Personen mit mittleren Gehörschäden.....	265
Abbildung 5-9c	für Personen mit schweren Gehörschäden	265
Abbildung 5-10	Häufigkeit (n GS in %) für die Gehörschützer, die vom Hörer subjektiv am besten hinsichtlich der Sprachverständlichkeit beurteilt wurden	268
Abbildung 5-11	Sprachverständlichkeit (SV) in Abhängigkeit vom Geräuschpegel (LNA) , bei der zwei Gesprächspartner, beide mit Gehörschutz (Kapsel: K, Stöpsel: S1, S2, S3, Kapsel mit pegelabhängiger Schalldämmung KP) oder beide ohne Gehörschutz (o.GS) sich unterhalten sollen mit Kommandosprache (KS), Einsilbern (E) oder Sätzen (S).....	270
Abbildung 5-12	Sprechpegel (LSA,1m) von vorgegebenen Texten (Einsilber, Sätze, Worte, Kommandosprache, Zeitungstexte) mit (Stöpsel, S; Kapsel, K) und ohne Gehörschutz bei einem Hintergrundgeräusch (LNA) nach Kryter (1946 (K)), Martin et al. (1976 (M)), Hörmann et al. (1982 (H)).....	271
Abbildung 5-13a	Wirkung von Gehörschutz (mit und ohne GS) in Gesprächssituationen (Sprecher – Hörer) in Abhängigkeit vom Geräuschpegel (LNA). Sprecher (12): Der Sprechpegel des Sprechers in 1m Abstand vom Sprechermund (LSA,1m).....	274
Abbildung 5-13b	Wirkung von Gehörschutz (mit und ohne GS) in Gesprächssituationen (Sprecher – Hörer) in Abhängigkeit vom Geräuschpegel (LNA). Sprecher (12): Der Sprechpegel des Sprechers in 1m Abstand vom Sprechermund (LSA,1m); Hörer (11): Die Sprachverständlichkeit beim Hörer (normalhörend oder schwerhörig)	274

7.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1	Ergebnisse einer Umfrage bezüglich der Empfindung von Schwerhörigkeit als Handicap.....	139
Tabelle 2-1a	Schwerhörigkeitsgrade und der entsprechende prozentuale Hörverlust (HVP) für jeweils ein Ohr sowie die Minderung der Erwerbstätigkeit (MdE), wenn beidseitig der gleiche Schwerhörigkeitsgrad bzw. der gleiche prozentuale Hörverlust vorliegt (Feldmann 2001).....	156
Tabelle 2-1b	Bestimmung des HVP direkt aus dem Tonhörverlust und der Sprachverständlichkeit (Lehnhardt 1978, 1996). Für die drei HVP-Bereiche muss der Tonhörverlust (LHVT) bei den Frequenzen 3/2/1 kHz 40 dB übersteigen und die Sprachverständlichkeit für Einsilber (SVE) bei einem Sprachpegel am Ohr von LS / LSA = 65/62 dB bei SVE = 100-70 / 70-30 / 30-10 % liegen.....	156
Tabelle 2-1c	Schwerhörigkeitsgrad bei symmetrischer Schwerhörigkeit und dazugehörigem HVP und MdE.....	157
Tabelle 2-2	Anzahl und Anteile der einzelnen Berufskrankheiten (gesamte in Deutschland): Die Zahlen beinhalten die Jahresdaten der Gewerblichen und Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften sowie des Unfallversicherungsträgers der öffentlichen Hand (Bericht für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2001 des BMWA)....	158
Tabelle 2-3	Überblick über Verteilung von Hörverlusten (Tonhörverlust) in Deutschland und Skandinavien (Gesamtbevölkerung).....	159
Tabelle 2-4	Grenzwerte und Auslöseschwellen (x) für Maßnahmen der EG-Arbeitsplatz-Lärmschutz-Richtlinien 2003/10/EG und 86/188/EWG und deren nationale Umsetzung	162
Tabelle 3-1	Querschnitt aus den möglichen Begleiterscheinungen einer Schwerhörigkeit und Literatur, in der diese diskutiert werden	167
Tabelle 3-3	Pearson Produkt-Moment Korrelationen zwischen subjektiven (SI) und objektiven (OI) sozialen Isolationswerten und Hörverlust (HVT), W-22 (standardisierte Einsilber)-, Rush-Hughes-, und Hearing Measurement Scale (HMS)-Werten (N=80). (Weinstein & Ventry, 1982, 595).....	175
Tabelle 3-4	Copingstrategien, die von 60 befragten Arbeitern verwendet wurden, die bei Familiengesprächen Probleme hatten, der Konversation zu folgen (Hétu et al. 1987, 148).....	179
Tabelle 4-1	Übersicht über die in Tab. 4-2 aufgeführten Untersuchungen (x, (x) untersuchte Parameter; x Unterabschnitt in dem die Untersuchung beschrieben wird).....	190
Tabelle 4-1	Fortsetzung.....	191

Tabelle 4-2	(folgende Seiten) Verständlichkeit von Sprache bei verschiedenen Signal-Geräusch-Abständen für Personen mit Hörverlusten unter gegebenen Hörbedingungen.....	191
Tabelle 4-3	Mithörschwelle für Sprache (75%) bei Normalhörenden und Schwerhörigen (Sprachpegel LSA = 80 – 90 dB).....	217
Tabelle 4-4	Maskierung von Tönen (oben), Differenz der Hörschwellen für Töne (mittig), Hörschwelle für Sprache (unten): Hörschwellen für Sinustöne (0,5, 1, 2, 4kHz) in Ruhe und bei Geräuschen (WR unmoduliert, WR/4 moduliert (m = 100%, 4Hz); mittlere Differenz der Hörschwellen für unmoduliertes und moduliertes Rauschen (fmod = 0,4 – 32Hz) und Hörschwelle für Sprache in drei Raumsituationen (T = 0, 1, 3s) für die Gruppen junge (22 – 24 Jahre) und ältere (67 – 81 Jahre) Normalhörende (JN, AN) und ältere Schwerhörige (68 – 81 Jahre, AS)	224
Tabelle 4-5	Mithörschwelle (SNRA) für Sätze gestört durch ein Sprecher-Geräusch (12 Sprecher) für Normal- und Schwerhörige (HVT (0,25 – 4 kHz) = 14 – 60 dB)	229
Tabelle 4-6	Überblick über Audiometrieverfahren	246
Tabelle 5 -1	Anzahl und Sicherheit bei der Identifizierung von 5 akustischen Mustern mit verschiedenen Spektren in zwei Hörsituationen (ohne Gehörschutz (GS), mit Kapsel)	250
Tabelle 5-2	Eingestellte Fehlwinkel bei der Beurteilung der Richtung von Oktavbandrauschen bei den Mittenfrequenzen (0.25, 0.5 ... 8 kHz), die aus 8 verschiedenen Richtungen (0°, 45°, 90° ... 315°) eintreffen, gemittelt über die 8 verschiedenen Einfallrichtungen	252
Tabelle 5- 3	Eingestellte Fehlwinkel für 5 verschiedene Einfallrichtungen für Signale von Oktavbandrauschen mit den Mittenfrequenzen 0.5,1...8 kHz bei drei Gehörschutzsituationen.....	252
Tabelle 5-4	Fehler bei der Ortung von Signalen (Terzrauschen mit der Mittenfrequenz 2,8 kHz) in der horizontalen und vertikalen Ebene und Entscheidungszeiten (T in s) bei zwei Hörbedingungen (ohne Gehörschutz (GS), mit Kapsel)	255
Tabelle 5–5	Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz (GS: ohne (o), Stöpsel (S), Kapsel (K), bei Schalldruckpegel beim Hörer (Geräusch LNA, Sprache LSA), Geräuschart (sprachähnliches Rauschen (SR), tieffrequent (tf), hochfrequent (hf), breitbandiges Geräusch (bb)) und gegebenem Sprachmaterial (Einsilber (Es), Sätze (Sz), sinnlose Silben (sS)) und vier Gruppen von Hörverlusten (normal (n), leicht (l), mittel (l), schwer (s)).....	263
Tabelle 5-6	Veränderung der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit von der Schwere des Gehörschadens und benutztem Gehörschutz, bei Geräuschpegeln über LNA = 80 dB (Sprache erfolgt über Lautsprecher).....	264

Tabelle 5-7	Veränderung der Sprachverständlichkeit in einer Gesprächssituation (Sprecher-Hörer) (- Abnahme, + Zunahme) durch Gehörschutz gegenüber der Situation ohne Gehörschutz bei Geräuschpegeln LNA ≥ 85 dB.....	269
-------------	--	-----