

Hördiagnostik für die rehabilitative Audiologie

Birger Kollmeier / Oldenburg

Der folgende Beitrag soll einen kurzen Einblick in den Entwicklungsstand neuer audiologischer Messverfahren als Ausgangsbasis für eine Hörgeräte-Versorgung aus der Sicht des Autors vermitteln. Dabei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Ausgewogenheit des präsentierten Materials erhoben, da dies in Lehrbüchern der Audiologie (z. B. Laszig, 2000, Kießling et al., 2008, Böhme u. Welzl-Müller, 1998) in weitaus besserem Maß bereits existiert.

Einen Überblick über das Spektrum der in der Audiologie eingesetzten Verfahren gibt Abbildung 1. Ebenfalls angemerkt sind Neu- bzw. Weiterentwicklung von Verfahren, die in der Arbeitsgruppe des Autors entwickelt worden sind und zum Teil soweit ausgereift sind, daß sie den Sprung von der Grundlagenforschung in die klinisch-audiologische Diagnostik und HNO-ärztliche Praxis bzw. Anwendung in der Hörgeräte-Anpassung in Kürze vollziehen können. Diese Verfahren sollen kurz vorgestellt werden.

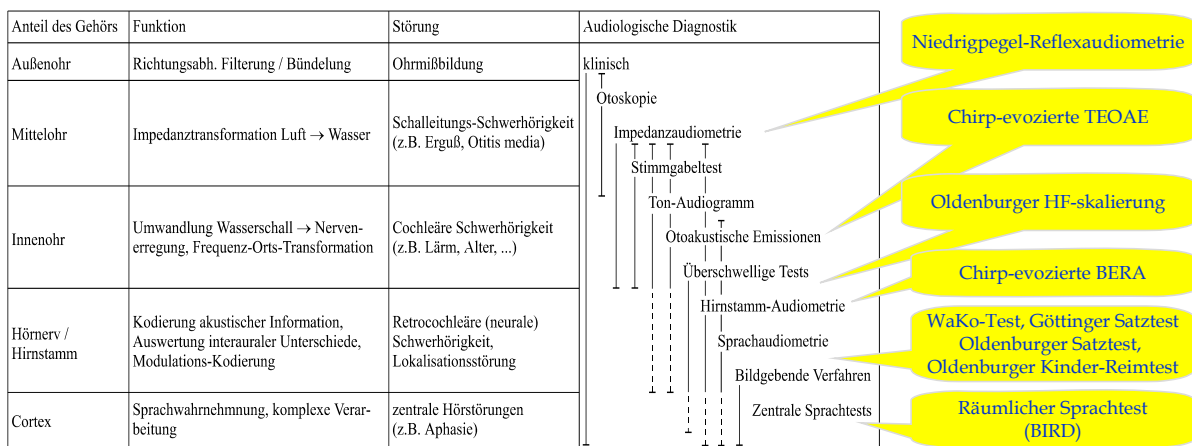


Abbildung 1: Funktionelle Gliederung des Gehörsystems mit Funktionen und möglichen Störungen (aus Kollmeier, 1997). Zusätzlich angegeben sind die neueren audiologischen Testverfahren, die in der Arbeitsgruppe des Autors für die praktische Anwendbarkeit entwickelt wurden.

Oldenburger Hörflächenskalierung

Physiologische Erkenntnisse der letzten 10 Jahre weisen auf einen schnellen, aktiven Verstärkungsmechanismus in der Cochlea hin, der zu einer Dynamik-Kompression der die Basilarmembran anregenden Signale im auditorischen System führt. Ein Ausfall dieser „aktiven Prozesse“ führt zu einem Wegfall der Kompressions-Wirkung auf der Ebene der Cochlea („Kompressionsverlust“) und damit zu dem als „Recruitment“ bezeichneten Phänomen des pathologischen Lautheitsanstiegs. Dieser Kompressionsverlust ist (vorwiegend) durch die Schädigung äußerer Haarzellen bedingt und ist weitgehend unabhängig vom Sensitivitätsverlust (vorwiegend durch Schädigung der inneren Haarzellen und teilweise durch

Schädigung der äußeren Haarzellen bedingt), da Patienten mit gleichem Audiogramm (d. h. gleichem Sensitivitätsverlust) ein sehr stark unterschiedliches überschwelliges Lautheitsempfinden aufweisen können (Launer et al., 1996, Kießling et al., 1995). Daher ist es sinnvoll und notwendig, den Kompressionsverlust zusätzlich zu dem Sensitivitätsverlust auszumessen. Als einfache und robuste klinische Meßmethode bietet sich die kategoriale Lautheitsskalierung an, die in Form der „Oldenburger Hörflächenskalierung“ optimiert wurde (Kollmeier, 1997). Wichtige Merkmale dieses Verfahrens sind:

- 10+1 Kategorien, d. h. 5 verbale Hauptkategorien „sehr leise, leise, mittellaut, laut, sehr laut“ plus vier Zwischenstufen und den zwei Begrenzungskategorien „unhörbar“ und „zu laut“.
- Terzbandrauschen von 2 sec Länge als Stimulus.
- Dynamikbereich der angebotenen Stimuli entweder in einer Vormessung individuell angepaßt oder in einem adaptiven Verfahren zu Beginn der Messung so aufgespannt, daß der gesamte Hör-Dynamikbereich des individuellen Patienten tatsächlich abgetastet wird (Brand et al. 1997).
- Die Form der Lautheitsfunktion ist abhängig von der Bandbreite des Stimulus (Brand, 1999).
- Als Zielfunktion wird eine aus 2 Geradenstücken zusammengesetzte Funktion gewählt, die in der Mitte durch einen Bezier-Fit geglättet ist (Brand, 1999). Diese Zielfunktion weist von allen möglichen Funktionen die geringste Abweichung von den Daten über einen weiten Pegelbereich und die gewünschte Flexibilität der Form bei nicht zu großer Parameterzahl auf.

Dieses als ACALOS (adaptive categorical loudness scaling) bezeichnete Verfahren wurde inzwischen vom EU-Projekt Hearcom als Vorschlag für die Europäische Harmonisierung audiologischer Meßverfahren in das empfohlene Inventar aufgenommen (weitere Informationen unter www.hearcom.eu).

Neue Verfahren der Sprachaudiometrie

Aufgrund der einhelligen Kritik an der in der deutschsprachigen Routine-Audiometrie benutzten sprachaudiometrischen Verfahren (z. B. mögliche Manipulierbarkeit des Freiburger Sprachtests aufgrund starker Listenunterschiede, Vorkommen ungebräuchlicher Wörter, Verwendung des Einsilbers als im Deutschen relativ ungebräuchliche Wortform) und aufgrund der hohen Nachfrage nach entsprechend zuverlässigen und aussagefähigen Sprachtests wurde eine Reihe von Sprachtestverfahren in der Arbeitsgruppe des Autors entwickelt und z. T. für den praktischen Einsatz vorbereitet. Einen Überblick über die im deutschen Sprachraum für die Sprachaudiometrie anwendbaren Verfahren gibt Tabelle 1.

Test -Items	Name des Tests	Test Material pro Liste	Autoren
Logatome (sinnleere Einsilber)	Kieler Logatomtest	CVC	Müller-Deile (pers. Comm.)
	OLLO – Oldenburg logatome corpus	150 VCV und CVC , 40 Sprecher, 6 Variabilitäten	Meier et al., 2005
sinnbehafte Einsilberl	Freiburger Einsilbertest	20 gebräuchliche Wörter	Hahlbrock, 1953
	Dreinsilber -Test	3 wiederholte Einsilber	Döring& Hamacher, 1992
	Einsilber Reimtest	33+33+34 Wörter pro Liste, 6 reimende Alternativen	Sotscheck, 1982
	Einsilber Reimtest (WAKO)	33+25+14 Wörter pro Liste, 5 reimende Minimalpaare als Alternativen	v.Wallenberg & Kollmeier, 1989
	Verkürzter Reimtest	25 Reimtest-Trials pro Liste	Brand &Wagener, 2005
sinnbehafte Zweisilber	Zweisilber -Reimtest	24+24+24 Wörter 4 reimende Minimalpaare als Alternativen	Kliem & Kollmeier, 1994
	Oldenburger Kinder - Reimtest	12 Wörter, je 3 reimende Bild-Paare	Kliem & Kollmeier, 1995
Mehrsilber	AAST -Test	6 Zweisilber, Bild-Antwort-Alternative	Coninx, 2005
	Freiburger Zahlentest	10 Zahlwörter 4-5 silbig	Hahlbrock, 1953
	Zahlentripel -Test	10 3-digit strings	Wagener et al., 2005
Sätze	Marburger Satztest	10 kurze sinnvolle Sätze	Niemeyer, 1967
	Basler Satztest	15 hoch vorhersagbare & 15 niedrig Vorhersagbare Sätze	Tschopp & Ingold 1992
	Göttinger Satztest	10 kurze sinnvolle Sätze	Wesselkamp & Kollmeier, 1994
	HSM -Satztest	20 kurze sinnvolle Sätze	Hochmair et al., Schmidt et al., 1997
	Oldenburger Satztest	10 syntaktisch feste, inhaltleere, Sätze	Wagener et al., 1999

Table 1: Überblick über die verschiedenen Sprachtest-Materialien für die deutsche Sprache, geordnet nach der Länge der Test-Items. Die verschiedenen Hintergrundfarben geben den Einsatzbereich wieder, der durch entsprechende Publikationen belegt wurde: weiß: Verwendung in Ruhe, hellgelb: Verwendung im Störschall, dunkelgelb: Verwendung in Ruhe und im Störschall.

Die Testverfahren unterscheiden sich nicht nur in der Länge der jeweiligen Test-Items, sondern auch in ihrem intendierten und validierten Verwendungszweck: Für die Verwendung mit Kindern wurde beispielsweise neben dem in Ruhe anzuwendenden Mainzer und Göttinger Kinder-Sprachtest der Oldenburger Kinder-Reimtest (OLKI, Einsatzgebiet im Störschall und in Ruhe) konzipiert. Für die Verwendung mit Cochlea-Implantat-Nutzern sieht der HSM-Satztest eine besonders geringe Sprechgeschwindigkeit vor. Während die älteren Sprachverständlichkeitstests (z. B. der Freiburger-Einsilber-Test) primär für den Einsatz in Ruhe konzipiert und validiert wurden, ist die Mehrzahl der in Tab. 1. aufgeführten jüngeren Testverfahren für den Einsatz unter Störschall konzipiert. Einige der moderneren Testverfahren wurden zusätzlich für den Einsatz in Ruhe validiert (Einsilber-Reimtest, verkürzter Reimtest, Oldenburger Kinder-Reimtest, Göttinger Satztest und Oldenburger Satztest). Sie weisen für den Einsatz in Ruhe keine signifikant andere Steigerung der Diskriminationsfunktion und keine signifikant größeren Listen-Unterschiede auf als für den Einsatz in Störschall. Sinnbehafte Testmaterialien (insbesondere Sätze wie vom Göttinger Satztest oder HSM-Satztest) besitzen den Nachteil, dass sie nach einmaligem Gebrauch für einen bestimmten Patienten längere Zeit nicht wieder verwendet werden können, um einen Wiedererkennungs-

Effekt des gesamten Satzes anhand eines einzelnen Wortteils auszuschließen. Dies wird beim Oldenburger Satztest ausgeschlossen: Eine (scheinbar) zufällige Kombination aus Name, Verb, Zahlwort, Adjektiv und Objekt (z. B. "Peter kauft 17 nasse Sessel") mit jeweils 10 Alternativen pro Wort erschwert die Wiedererkennung des spezifischen Satzes, so daß dieses Material beliebig häufig eingesetzt werden kann. Aufgrund der Kompatibilität dieses Verfahrens mit entsprechenden Tests in anderen Sprachen wird zudem eine Länder-übergreifende Normierung von Sprachverständlichkeits-Tests möglich (vgl. Kollmeier, 2007).

- Einsilber-Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO-Test)
Aufbauend auf dem Einsilber-Reimtest nach Sotscheck (1982) wurde eine für die Audiologie verwendbare Version mit phonetischen Minimalpaaren, gebräuchlichen Wörtern und aufgrund umfangreicher Validierungsmessungen als äquivalent anzusehenden Testlisten zusammengestellt (von Wallenberg und Kollmeier, 1989, Müller, 1992, Kollmeier et al., 1992). Dieses Testverfahren besitzt eine Reihe von Vorteilen gegenüber dem Freiburger Einsilbertest (z. B. Ankündigungssatz, geschlossene Wortauswahl, Analysierbarkeit von Phonemverwechslungen, hohe Homogenität des Testmaterials). Es konnte sich bisher aufgrund der notwendigen technischen Voraussetzungen (Computersteuerung zur Darstellung der Reim-Alternativen, Länge der Testlisten) nicht in der audiologischen Praxis durchsetzen. Da dieses Verfahren jedoch ein hohes Potential hat, sollten in Zukunft verkürzte Listen für den praktischen Einsatz in der Audiologie zusammengestellt werden.
- Zweisilber-Reimtest nach Kliem und Kollmeier (1994)
Dieses Verfahren bietet sich aufgrund der größeren Häufigkeit von Zweisilbern als Einsilbern in der deutschen Sprache ebenfalls als Standard-Verfahren an. Sein praktischer Einsatz scheiterte jedoch bisher an der Länge der Testlisten und des relativ hohen technischen Aufwandes/geringen Verfügbarkeit von apparativen Voraussetzungen zur Durchführung des Tests. Im Zuge der voranschreitenden Automatisierung der Audiometrie sollte jedoch auch dieser Test zukünftig Einzug in die Praxis finden.
- Göttinger Satztest
Der von Wesselkamp et al. (1992) und Kollmeier und Wesselkamp (1997) vorgestellte Göttinger Satztest enthält 20 Listen von je 10 kurzen, sinnvollen Sätzen. Das Testmaterial ist hinsichtlich der Homogenität zwischen den Sätzen und zwischen den Testlisten ebenso optimiert wie bezüglich der Anzahl der Wörter und Silben in jeder Testliste und der ungefähren phonetischen Äquivalenz der Testlisten. Das Verfahren hat in Form des BIRD-Sprachtest (Firma Starkey, Norderstedt) weite Verbreitung und Akzeptanz gefunden, insbesondere zur Überprüfung von Hörgeräte-Anpassungen und zur Durchführung der Sprachaudiometrie unter Störgeräuschen. Ein Nachteil sind jedoch die begrenzte Zahl von verfügbaren Listen und die schlechte Wiederholbarkeit des Tests mit derselben Versuchsperson, da die Testsätze leicht gemerkt werden können. Dies motivierte die Entwicklung des Oldenburger Satztests (s. u.).
- Oldenburger Satztest:
Dieser Test wurde in Anlehnung an den schwedischen Satztest nach Hagermann (1984) konstruiert und bietet sich als ein Kandidat für die europäische Harmonisierung von Satztestverfahren an, da eine Übertragbarkeit in andere Sprachen verhältnismäßig leicht gegeben ist. Der von Wagener et al. (1998, 1999) vorgestellte Oldenburger Satztest benutzt als Inventar 5 mal 10 verschiedene Wörter, die jeweils in einem pseudozufällig zusammengestellten

sinnleeren Satz der Form „Name-Verb-Zahlwort-Eigenschaft-Objekt“ angeordnet sind (z. B. Nina bekommt vier rote Blumen (vgl. Abb. 2)).

Peter	bekommt	drei	große	Blumen.
Kerstin	sieht	neun	kleine	Tassen.
Tanja	kauft	sieben	alte	Autos.
Ulrich	gibt	acht	nasse	Bilder.
Britta	schenkt	vier	schwere	Dosen.
Wolfgang	verleiht	fünf	grüne	Sessel.
Stefan	hat	zwei	teure	Messer.
Thomas	gewann	achtzehn	schöne	Schuhe.
Doris	nahm	zwölf	rote	Steine.
Nina	malt	elf	weiße	Ringe.

Abbildung 2: Testwortinventar und Konstruktionsprinzip des Oldenburger Satztests nach Wagener et al. (1998, 1999).

Bei der Aufsprache und der Resynthese wurde auf eine hohe Natürlichkeit der zusammengesetzten Sätze geachtet. Außerdem wurden die resultierenden Testsätze so zusammengestellt, daß eine möglichst hohe Homogenität zwischen den Testsätzen und den Testlisten resultiert (Wagener et al. 1999). Die einzelnen Testlisten weichen in ihrer mittleren Schwelle sehr gering voneinander ab (empirische Standardabweichung von 0,16 dB). Bei den Messungen zur Evaluierung des Satztests, die unabhängig von den Messungen zur Erstkonstruktion des Tests waren, ergab sich eine mittlere Schwelle (Signal-Rauschabstand für 50 % Verständlichkeit der Sätze) von minus 7,1dB und eine mittlere Steigung von 17,1 %/dB. Während diese mittlere Steigung aufgrund der Testkonstruktion erwartet wurde (Erwartungswert 17,2 % pro dB), ist die bei den Evaluationsmessungen ermittelte Schwelle um 1,3 dB höher als aufgrund der Testkonstruktion (Messungen mit trainierten Versuchspersonen) erwartet wurde. Dies ist auf den Trainingseffekt zurückzuführen: Wagener et al. (2000) konnten nachweisen, daß sich im Laufe der ersten 30 Testsätze bei naiven Versuchspersonen die Schwelle um bis zu 2 dB im Signal-Rauschabstand nach unten verschieben kann. Dieser Trainingseffekt fällt allerdings geringer aus, wenn der Sprachpegel festgehalten wird und der Störgeräuschpegel variiert wird (im Gegensatz zu dem für die Evaluationsmessungen angenommenen Prinzip). Ein derartiges Vorgehen wurde auch von Hagermann (1984) vorgeschlagen.

Für die praktische Durchführung des Oldenburger Satztests wurde eine manuelle Version erstellt, die vom Hörzentrum Oldenburg vertrieben wird. Die apparative Voraussetzung ist ein Audiometer mit CD-Spieler und einer Schrittweite von 1 dB. Bei dem manuellen adaptiven Verfahren wird je nach Anzahl der pro Satz richtig erkannten Wörter der Signal-Rauschabstand verändert. Bei der Verwendung von 30 Testsätzen ist damit eine Genauigkeit von 0,5 dB erreichbar, so daß Schwellenunterschiede von 2 dB sicher nachgewiesen werden können. Damit ist z. B. der Nachweis eines binauralen Gewinns bei der beidohrigen Hörgeräteversorgung leicht nachzuweisen.

- Oldenburger Kinder-Reimtest

Kliem und Kollmeier (1995) entwickelten ein Zweisilber-Reimtestverfahren mit Wörtern, die für den Einsatz von Vorschul- und Schulkindern geeignet sind. Für dieses Wortmaterial wurden von Achtzehn et al. (1997) Bildkarten entwickelt, in denen die jeweils 3 sich „reimenden“ Antwortalternativen kindgerecht bildlich dargestellt sind (Abbildung 3).

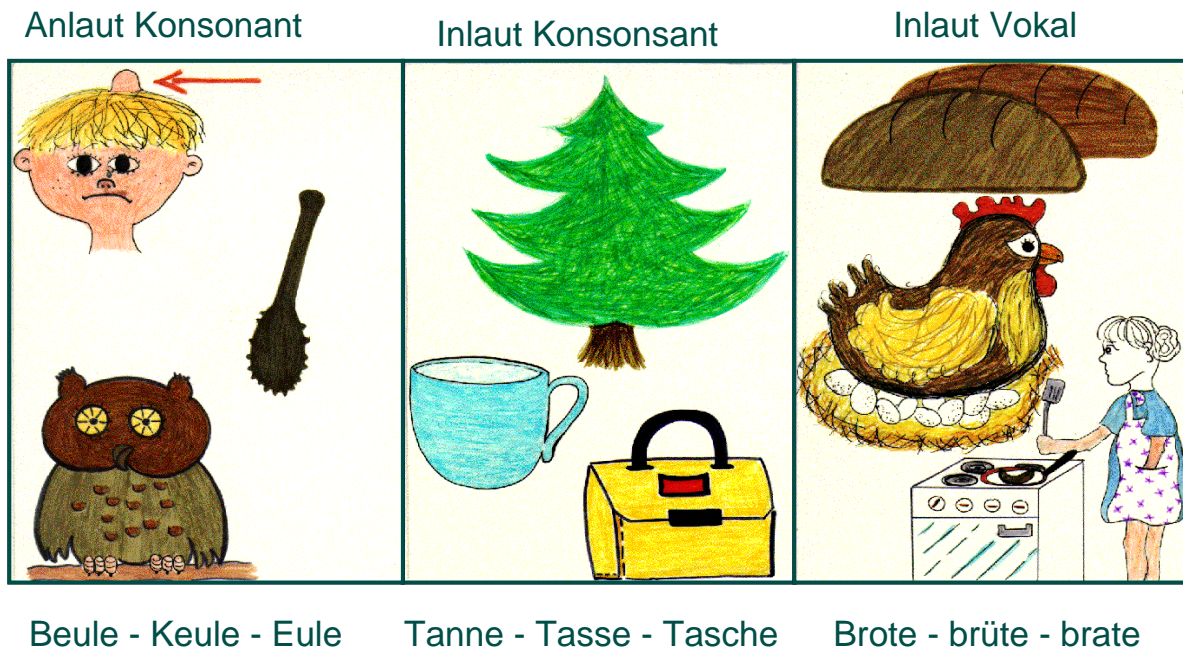


Abbildung 3: Beispiele für die Antwortkarten des Oldenburger Kinder-Reimtest nach Achtzehn et al. (1997).

Ferner wurden Evaluationsmessungen mit Vorschul- und Schulkindern durchgeführt, bei denen die Gebräuchlichkeit der verwendeten Testwörter und die Verwendbarkeit der entwickelten Bildkarten ebenso getestet wurde, wie die Sprachverständlichkeitsschwelle für die einzelnen Wörter im Rahmen des Meßverfahrens. Aufgrund dieser Evaluations-Messungen konnten 10 gleichwertige Testlisten zu jeweils 12 Wörtern zusammengestellt werden, für die die 50%-Verständlichkeitsschwelle in Ruhe bei 23 dB SPL liegt (Brand et al., 1999). Die Steigung der Diskriminationsfunktion ist mit 6 % pro dB vergleichbar mit derjenigen des Freiburger Sprachtests, so daß sich der Oldenburger Kinderreimtest für die Sprachaudiometrie in Ruhe bei Kindern ähnlich einsetzen läßt wie der Freiburger Sprachtest bei Erwachsenen (Brand et al., 1999). Eine für die Praxis anwendbare, manuelle Version mit dem Bildkartenmaterial ist beim Hörzentrum Oldenburg erhältlich.

Räumliche Sprachtests

Zur Abschätzung des Vorteils binauralens (beidohrigen) Hörens gegenüber dem monauralen Hören und speziell zur Überprüfung des Versorgungsgewinns durch eine beidseitige Hörgeräte-Versorgung bietet sich die Durchführung von räumlichen Sprachtests an, bei denen der Nutzsprecher und der Störschall aus verschiedenen räumlichen Richtungen dem Patienten angeboten werden. Für den klinischen Alltag bietet sich dabei die in Abbildung 4 dargestellte räumliche Position an, die in

Verbindung mit jedem Sprachverständlichkeitstest unter Störgeräusch (z. B. Oldenburger Satztest) benutzt werden kann.

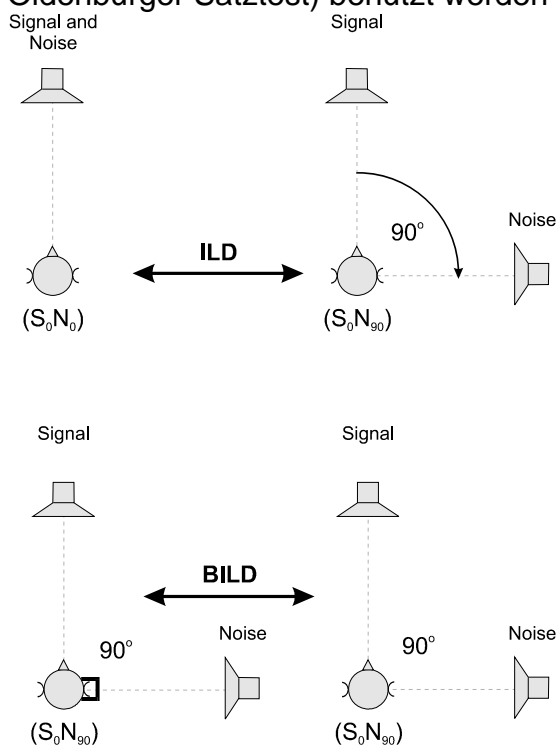


Abbildung 4: Räumliche Anordnung für den räumlichen Sprachtest. Die obere Situation gibt die Bestimmung der ILD (Intelligibility Level Difference) an, die untere Situation die Ermittlung der Binaural Intelligibility Level Difference (BILD).

Zunächst wird in der Referenz-Situation $S_0 N_0$ (d. h. Sprache und Störgeräusch von vorne) die Sprachverständlichkeitsschwelle (Speech Reception Threshold, SRT) gemessen. Sie ist ein Maß für mögliche Einschränkungen des Sprachverstehens in Rauschen ohne räumlichen Detektionsvorteil. Im Vergleich dazu wird die Sprachverständlichkeitsschwelle bei seitlichem Einfall des Störgeräuschs (Situation $S_0 N_{90}$ bzw. $S_0 N_{270}$) gemessen. Die Differenz beider Sprachverständlichkeitsschwellen gibt die ILD (Intelligibility Level Difference) an, d. h. den räumlichen Vorteil bei der Sprachverständlichkeit, der sowohl aus einem monauralen Anteil (Kopfabschattungseffekt, d. h. besseres Signalrauschverhältnis an dem der Störquelle abgewandten Ohr) und einem binauralen Anteil (bessere Diskrimination durch Vergleich der Ohrsignale auf zentralem Niveau) zusammengesetzt ist. Um den binauralen Anteil getrennt vom monauralen Anteil zu bestimmen, wird in der zuletzt genannten Situation zusätzlich die Situation bei Verstöpselung/Vertäubung des „schlechteren“ Ohres (d. h. der Störquelle zugewandten Ohres) ausgemessen. Der Unterschied zwischen der monauralen und der binauralen Situation wird als Binaural Intelligibility Level Difference (BILD) bezeichnet. Abb. 5 gibt für verschiedene Versuchspersonengruppen die gemittelten Werte für ILD und BILD wieder (aus Kollmeier et al., 1999). Obwohl tendenziell mit zunehmendem Hörverlust und mit zunehmender Asymmetrie des Hörverlusts die binaurale Leistungsfähigkeit abnimmt, lässt sich für den individuellen Patienten generell keine Vorhersage des binauralen Gewinns aus dem Audiogramm oder anderen audiologischen Parametern ableiten (vgl. Kinkel et al., 1992). Daher ist die binaurale Leistungsfähigkeit als unabhängige Komponente anzusehen, die separat ausgemessen werden sollte.

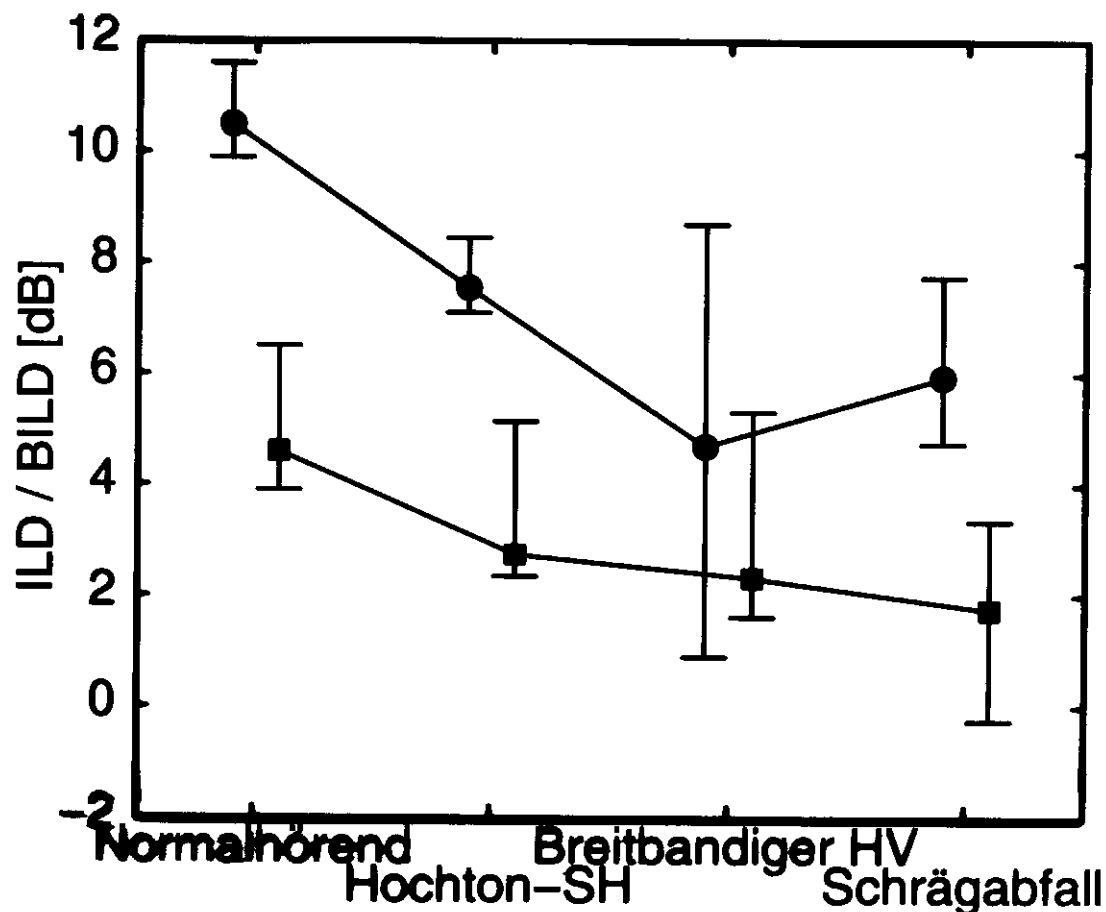


Abbildung 5: ILD (Kreise) und BILD (Quadrate) für unterschiedliche Probandengruppen.

Literatur

- Achtzehn, J., V. Kühnel, B. Kollmeier and R. Schönfeld (1997). Zur Entwicklung eines Zweisilber-Kinder-Reimtests für die Audiologie. Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte. M.Gross (Ed.). Heidelberg, median verlag. 5.
- Böhme, G., Welzl-Müller, K. (1998). Audiometrie. Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter. Bern, Verlag Hans Huber.
- Brand, T., V. Hohmann and B. Kollmeier (1997). Adaptive categorical loudness scaling. Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. A. Schick and M. Klante. Oldenburg, BIS, Universität Oldenburg. 7: 603-610.
- Brand, T. (1999). Analysis and Optimization of Psychophysical Procedures in Audiology. Dissertation FB Physik, Oldenburg, Universität Oldenburg.
- Brand, T., J. Achtzehn and B. Kollmeier (1999). Erstellung von Testlisten für den Oldenburger Kinder-Reimtest. Z.f. Audiologie Supplement II. K. Schorn (Ed.). Heidelberg, median verlag: 50-51.
- Dau, T., O. Wegner, V. Mellert and B. Kollmeier (2000). "Auditory brainstem responses (ABR) with optimized chirp signals compensating basilar-membrane dispersion." J. Acoustical Soc. Am. **107(3)**: 1530-1540.
- Grätz, K., M. Mauermann, R. Schönfeld and B. Kollmeier (1999). Niedrigpegel-Reflexaudiometrie - eine neue Methode zur Messung des Stapediusreflexes.

- Zeitschrift für Audiologie, Suppl. 2. K. Schorn (Ed.). Heidelberg, median-Verlag: 125-126.
- Hagerman, B. (1984). "Clinical measurements of speech reception threshold in noise." Scand-Audiol **13**(1): 57-63.
- Kemp, D. T. (1978). "Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system." J. Acoust. Soc. Am. **64**: 1386-1391.
- Kießling, J. (1995). "Zum überschwelligen Lautheitsanstieg bei Schallempfindungsschwerhörigen -- Konsequenzen für die Hörgeräte-- Entwicklung und --Anpassung." Audiologische Akustik(2): 82--89.
- Kießling, J., B. Kollmeier and G. Diller (2008). Versorgung und Rehabilitation mit Hörgeräten. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 2. Aufl..
- Kinkel, M. and B. Kollmeier (1992). "Binaurales Hören bei Normal- und Schwerhörigen II: Analyse der Ergebnisse." Audiologische Akustik **31**: 22-33.
- Kliem, K. and B. Kollmeier (1994). "Entwicklung und Evaluation eines Zweisilber-Reimtestverfahrens für die deutsche Sprachaudiometrie." Audiologische Akustik **33**: 4-15.
- Kliem, K. and B. Kollmeier (1995). "Überlegungen zur Entwicklung eines Zweisilber-Kinder-Reimtests für die klinische Audiologie." Audiol.Akustik **34**: 6-11.
- Kollmeier, B., M. C., M. Wesselkamp and K. Kliem (1992). Weiterentwicklung des Reimtests nach Sotscheck. Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. B. Kollmeier (Ed.). Heidelberg, Median-Verlag: 216-237.
- Kollmeier, B. (1997). Grundlagen. Versorgung und Rehabilitation mit Hörgeräten. J. Kießling, B. Kollmeier and G. Diller (Ed.). Stuttgart, Georg Thieme Verlag: 1-48.
- Kollmeier, B., Ed. (1997). Hörflächenskalierung - Grundlagen und Anwendung der kategorialen Lautheitsskalierung für Hördiagnostik und Hörgeräteversorgung. Buchreihe Audiologische Akustik. Heidelberg, Median-Verlag.
- Kollmeier, B. and M. Wesselkamp (1997). "Development and Evaluation of a German Sentence Test for objective and subjective Speech Intelligibility Assessment." Journal of the Acoustical Society of America **102**(4): 2412-2421.
- Kollmeier, B., V. Hohmann and V. Kühnel (1999). Erprobung und Validierung von sprachaudiometrischen und anderen computer-gesteuerten Verfahren für die klinische Audiometrie. Zeitschrift für Audiologie, Supplement I. B. Kollmeier (Ed.). Heidelberg, median verlag: 73-78.
- Launer, S., I. Holube, V. Hohmann and B. Kollmeier (1996). "Categorical loudness scaling in hearing-impaired listeners - Can loudness growth be predicted from the audiogram." Audiologische Akustik **35**(4): 156-163.
- Laszig, R. (2000). Praxis der Audiometrie. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Müller, C. (1992). Perzeptive Analyse und die Weiterentwicklung eines Reimtestverfahrens für die Sprachaudiometrie, Universität Göttingen.
- Neumann, J., S. Uppenkamp and B. Kollmeier (1994). "Chirp Evoked Otoacoustic Emissions." Hear. Res. **79**: 17-25.
- Neumann, J., S. Uppenkamp and B. Kollmeier (1996). "Detection of the Acoustic Reflex below 80 dB HL." Audiology and Neuro-Otology **1**(6): 359-369.
- Sotscheck, J. (1982). "Ein Reimtest für Sprachverständlichkeitsmessungen mit deutscher Sprache als ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung der Sprachübertragungsgüte." Der Fernmeldeingenieur **36**: Heft 5/1, 1--83.
- v. Wallenberg, E. L. and B. Kollmeier (1989). "Sprachverständlichkeitsmessungen für die Audiologie mit einem Reimtest in deutscher Sprache: Erstellung und Evaluation von Testlisten." Audiologische Akustik **28**(2): 50-65.

- Wagener, K., V. Kühnel and B. Kollmeier (1999). "Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache I: Design des Oldenburger Satztests." Zeitschrift für Audiologie/Audiological Acoustics **38**(1): 4-15.
- Wagener, K., T. Brand and B. Kollmeier (1999). "Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache II: Optimierung des Oldenburger Satztests." Zeitschrift für Audiologie/Audiological Acoustics **38**(2): 44-56.
- Wagener, K., T. Brand and B. Kollmeier (2000). Internationale Vergleichbarkeit sprachaudiometrischer Verfahren: Einfluß von Störgeräusch und Meßprozedur auf die Satzverständlichkeit. Fortschritte der Akustik - DAGA 2000. Oldenburg, DEGA, Oldenburg: (in press).
- Wegner, O., T. Dau and B. Kollmeier (2000). Frequenzspezifische Messung früher akustisch evozierter Potentiale (FAEP) mit optimierten Chirp-Signalen. Fortschritte der Akustik - DAGA 2000. Oldenburg, DEGA: (im Druck).
- Wesselkamp, M., Kliem, K. and B. Kollmeier (1992). Erstellung eines optimierten Satztests in deutscher Sprache. Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. B. Kollmeier (Ed.). Heidelberg, Median-Verlag: 330-343.