

Hals-Nasen-Ohrenklinik und Poliklinik
Technische Universität München
Klinikum Rechts der Isar
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. H. A. Bier)

**Frequenzspezifische und quantitative Erfassung der Hörfunktion
bei Neugeborenen und Kindern mit Hilfe von extrapolierten
Wachstumsfunktionen otoakustischer Emissionen.**

Brigitte Haszprunar

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Th. Janssen

Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. Th. Janssen
2. Univ.-Prof. Dr. H. A. Bier

Die Dissertation wurde am 02.12.2008 bei der Technischen Universität
München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 18.03.2009 angenommen.

1. Einleitung	6
<i>1.1. Kindliche Hörstörungen</i>	6
1.1.1. Definition und Einteilung.....	6
1.1.2. Ursachen.....	7
1.1.2.1. Schallleitungsschwerhörigkeit.....	8
1.1.2.2. Schallempfindungsschwerhörigkeit.....	9
1.1.3. Auswirkungen einer Hörstörung.....	10
<i>1.2. Diagnostik kindlicher Hörstörungen</i>	12
1.2.1. Neugeborenen-Hörscreening.....	12
1.2.1.1. Neugeborenen-Hörscreening in Bayern.....	13
1.2.2. Otoakustische Emissionen – Grundlagen.....	15
1.2.2.1. Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE).....	16
1.2.2.2. Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE).....	16
1.2.3. Otoakustische Emissionen – Messtechniken.....	19
1.2.3.1. Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE).....	19
1.2.3.2. Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE).....	20
1.2.3.3. DPOAE-Wachstumsfunktionen.....	22
1.2.3.4. Schätzung der Hörschwelle mittels extrapolierter DPOAE- Wachstumsfunktionen.....	24
<i>1.3. Ziele der Studie</i>	27
1.3.1. Klinische Evaluation von DPOAE-Audiogrammen bei Neugeborenen.....	27
1.3.2. Klinische Evaluation von DPOAE-Audiogrammen bei Kleinkindern.....	27

2. Material und Methoden	28
<i>2.1. Neugeborene</i>	28
2.1.1. Reifgeborene Kinder.....	28
2.1.2. Frühgeborene Kinder.....	29
<i>2.2. Kleinkinder</i>	30
2.2.1. Kinder mit Freifeldaudiometrie.....	30
2.2.2. Kinder mit Tonschwellenaudiometrie.....	31
<i>2.3. Methoden</i>	32
2.3.1. ATEOAE-Messung (Echo-Screen).....	32
2.3.2. DPOAE-Messung (Cochlea-Scan).....	33
2.3.3. Tonschwellenaudiometrie/ Freifeldaudiometrie.....	36
2.3.4. Statistische Testverfahren.....	37
<i>2.4. Messablauf</i>	38
2.4.1. Neugeborene.....	38
2.4.2. Kleinkinder.....	40
3. Ergebnisse	41
<i>3.1. Neugeborene</i>	41
3.1.1. Reifgeborene Kinder.....	41
3.1.1.1. Neugeborenen-Hörscreening mit ATEOAE.....	41
3.1.1.2. Schätzung der Hörschwelle mittels DPOAE-Audiogrammen.....	41
3.1.1.3. Korrelation zwischen ATEOAE- und DPOAE-Audiogrammen.....	46
3.1.1.4. Kontrollen.....	47
3.1.1.5. Fallbeispiele.....	48

Abkürzungen

äHz	äußere Haarzelle
DPOAE	Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen
f	Frequenz
f ₁ , f ₂	Frequenz der Primärtöne
HL	Hearing Level
HT	Hearing Threshold (Hörschwelle)
iHz	innere Haarzelle
L	Schalldruckpegel
L ₁ , L ₂	Schalldruckpegel der Primärtöne
L _{dp}	Schalldruckpegel der DPOAE
OAE	otoakustische Emissionen
SEOAE	simultan evozierte otoakustische Emissionen
SOAE	spontane otoakustische Emissionen
SPL	Sound Pressure Level
TEOAE	Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen
ATEOAE	Automatisierte transitorisch evozierte otoakustische Emissionen
BERA	brainstem electric response audiometry
AABR	Automatic Auditory Brainstem Response
SISI-Test	Short Increment Sensivity Index - Test

1. Einleitung

1.1 Kindliche Hörstörungen

1.1.1. Definition und Einteilung

Eine Hörstörung ist eine Verminderung des Hörvermögens. Ab einem Hörverlust von 15 dB im Hauptsprachbereich (zwischen 0.5 - 8 kHz) gilt ein Kind als hörgestört. Dabei werden anhand des Schweregrades leichte (Hörverlust < 40 dB), mittlere (Hörverlust 40 - 70 dB) und hochgradige (Hörverlust > 70 dB) Hörstörungen unterschieden. Ab einem Hörverlust von 94 dB und mehr spricht man von Hörrestigkeit bzw. Taubheit.

Eine weitere Unterteilung erfolgt nach Lokalisation oder Ätiologie der Hörstörung. Unter einer Schallleitungsschwerhörigkeit (konduktive Hörstörung) versteht man Störungen der Schallleitung im Bereich des äußeren Ohres (Ohrmuschel, Gehörgang) oder des Mittelohres (Trommelfell und Gehörknöchelchen). Die größte Gruppe der kindlichen konduktiven Hörstörungen stellen die passageren Formen dar, die meist eine Tubenbelüftungsstörung bzw. eine Mittelohrentzündung als Ursachen haben. Permanente Schallleitungsschwerhörigkeiten bei Kindern sind selten und beruhen zumeist auf angeborenen (zu einem hohen Prozentsatz mit Pathologien des äußeren Ohres assoziiert) oder erworbenen Defekten der schallübertragenden Strukturen des Gehörgangs oder des Mittelohres (Otosklerose, kongenitales Cholesteatom).

Eine Hörstörung, die im Bereich des Innenohres, der zuleitenden Nervenbahnen oder dem zerebralen Verarbeitungssystem des Gehirns lokalisiert ist, wird als Schallempfindungsschwerhörigkeit (sensorineurale Hörstörung) bezeichnet. Es handelt sich hierbei meist um persistierende Hörstörungen (Ausnahme Hörsturz). Schallempfindungsschwerhörigkeiten können progredient verlaufen. Mittels otoakustischer Emissionen (OAE) ist es heute möglich, Störungen der Innenohrfunktion direkt zu erfassen. Dies war bisher nur mit subjektiven Hörprüfmethoden (Fowler-Test, SISI-Test, Carhart-Test, Langenbecktest) möglich.

Persistierenden Hörstörungen werden anhand ihrer Pathophysiologie in sensorineurale (Schallempfindung) und konduktive (Schallleitung) Störungen unterteilt. Bei Auftreten beider Störungen wird von einer kombinierten Hörstörung gesprochen.

Die Prävalenz einer bilateralen kongenitalen persistierenden Hörstörung mit einem Hörverlust von 40 dB und mehr beträgt bei Kindern in Deutschland 100 bis 300 pro 100 000 (Henke, Huber, 1999). Bei etwa 800 000 Geburten jährlich in der Bundesrepublik sind das 800-2400 Fälle (0,1 - 0,25%) pro Jahr. Berücksichtigt man auch geringere Hörverluste (20 - 40 dB), so liegt die Prävalenz persistierender Hörstörungen deutlich höher. Der Anteil der Schalleitungsstörungen (mit einem Hörverlust über 25 dB) an den persistierenden Hörstörungen beträgt 4,8%. Die kombinierten Schwerhörigkeiten machen 7% der persistierenden Hörstörungen aus. Den Hauptteil der persistierenden Hörstörungen stellen die Schallempfindungsstörungen mit 88,2% dar (Kunze et al., 2006).

Etwa die Hälfte aller persistierenden Schallempfindungsstörungen sind mittelgradige Hörstörungen (40 - 69 dB HL). Der Rest verteilt sich annähernd gleichmäßig zu 25% auf hochgradige (70 - 94 dB HL) und resthörige/ gehörlose (> 95 dB HL) Populationen (Kunze et al., 2006) (Einteilung ohne geringgradige Hörstörungen).

Geringgradige Hörstörungen werden nur in wenigen Publikationen untersucht, da diese Kinder insbesondere für retrospektive Studien nur schwer vollständig zu erfassen sind. Dies liegt daran, dass diese Kinder häufig weder mit Hörgeräten versorgt, durch spezielle Dienste betreut, noch in Sonderschulen unterrichtet und wahrscheinlich auch nicht pädaudiologischen Spezialeinrichtungen vorgestellt werden. Daher können Aussagen über den Anteil geringgradiger Hörstörungen derzeit kaum gemacht werden (Kunze et al., 2004).

1.1.2. Ursachen

Da die Ursachen kindlicher Hörstörungen sehr vielfältig sind, hat sich eine Differenzierung nach dem Zeitpunkt des Auftretens in hereditäre und erworbene Ursachen bewährt; wenn auch die ursächlichen Faktoren einer Hörstörung bisher noch immer nicht ausreichend geklärt sind (Abb. 1.1.).

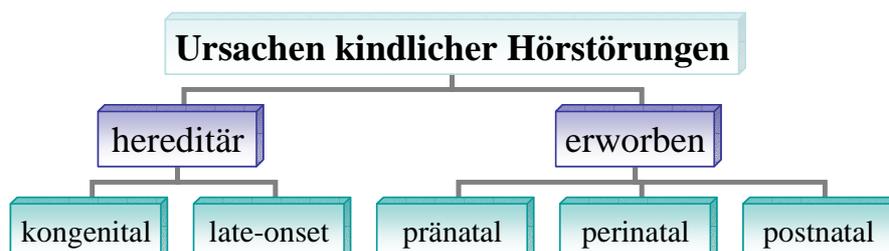


Abb. 1.1: Ursachen kindlicher Hörstörungen.

Bei den angeborenen (hereditären) Hörstörungen unterscheidet man zwischen kongenitalen Formen, die bereits zum Zeitpunkt der Geburt vorhanden sind, und den später auftretenden (late-onset) Schwerhörigkeiten. Diese manifestieren sich erst nach der Geburt und sind meist genetisch bedingt. Die erworbenen Hörstörungen unterteilt man in prä-, peri- und postnatale Formen.

1.1.2.1. Schallleitungsschwerhörigkeit

Schallleitungsstörungen treten meist passager auf. Die häufigsten Ursachen sind Tubenfunktionsstörungen, die teilweise von Adenoiden und Gaumenspalten verursacht werden, oder rezidivierende akute Mittelohrentzündungen. Die wesentlich selteneren persistierenden Schallleitungsstörungen beruhen zumeist auf einer Tympanosklerose (als Komplikation häufig rezidivierender Otitiden), sowie auf angeborenen Fehlbildungen im Bereich des äußeren Ohres oder des Mittelohres. Für Kinder mit syndromalen Erkrankungen und craniofacialen Auffälligkeiten besteht ein erhöhtes Risiko für eine derartige Schwerhörigkeit. Seltene Ursachen für eine permanente Schallleitungsschwerhörigkeit bei Kindern sind die Otosklerose und das angeborene Cholesteatom.

Im frühen Kindesalter hat die vorübergehende (passagere) Schallleitungsschwerhörigkeit eine hohe Prävalenz. Die Inzidenz bei Kindern in den ersten drei Lebensjahren beträgt 10-30%. Bei Adenoiden, Gaumenspalten, aber auch beim Down- und Turner-Syndrom ist das Risiko deutlich erhöht.

Persistierende kindliche Hörstörungen treten im Vergleich selten und mit einer Häufigkeit unter 5% auf. Einige Syndrome, v.a. wenn diese mit craniofacialen Dysmorphien einhergehen, zeigen eine deutlich höhere Rate.

1.1.2.2. Schallempfindungsschwerhörigkeit

Frühkindliche Schallempfindungsschwerhörigkeiten können genetisch bedingt (21,5 - 54% je nach Studie) sein oder pränatal (2,0 - 9,3%), perinatal (6,7 - 18,8 %) und postnatal (1,8 - 14,0%) erworben sein. Zu einem großen Prozentsatz ist die Ursache jedoch nicht bekannt (30,0 - 49,1%) (Seifert et al., 2005).

Bei den genetisch bedingten Hörstörungen treten etwa 30% im Rahmen von komplexen Syndromen auf (über 400 verschiedene Syndrome sind mit Hörstörungen assoziiert), 70% sind non-syndromal. Von den non-syndromalen genetischen Hörstörungen folgen 10 - 25%

einem autosomal-dominanten, 70 - 80% einem autosomal-rezessiven, 2 - 3% einem X-chromosomalen und 1 - 2% einem mitochondrialen Erbgang (Kubisch, 2002).

Die erworbenen Hörstörungen werden nach dem Zeitpunkt des ursächlichen Ereignisses unterteilt. Vor der Geburt spielen v.a. Infektionen der Mutter, dabei zumeist das Rubellavirus, und teratogene Medikamente (wie etwa Aminoglykoside und Schleifendiuretika) eine wichtige Rolle. Hörstörungen, die in der Perinatalzeit erworben wurden, haben zumeist eine multifaktorielle Genese. Als Ursache in dieser risikoreichen Zeit kommen v.a. Asphyxie, Hyperbilirubinämie, intrakranielle Blutungen und Meningitis in Frage. Erst später auftretende Hörstörungen werden häufig durch Infektionen verursacht. Meist treten sie als Folge einer bakteriellen oder viralen Meningitis auf. Aber auch Infektionen mit Masern oder Mumps, sowie ototoxische Medikamente wie Antibiotika oder Chemotherapeutika können permanente Hörstörungen hervorrufen (Joint Committee on Infant Hearing, 1994, 2000).

Die Risikofaktoren für kindliche Hörstörungen wurden vom Joint Committee on Infant Hearing in einem Katalog zusammengefasst (2000). Dieser enthält 12 Faktoren, die für Neugeborene bis zum 28. Lebensstag prädisponierend für die Entstehung einer Hörstörung sind (siehe Tab. 1.1.).

Risikofaktoren für kindliche Hörstörungen
1) Aufgetretene Hörstörung bei Eltern oder Geschwistern
2) Intrauterine Virusinfektionen (z.B. CMV, HSV, Rubellavirus)
3) Intrauterine Infektionen mit <i>Toxoplasma gondii</i> , <i>Treponema pallidum</i>
4) Geburtsgewicht <1500 g
5) Angeborene Erkrankungen, die erwiesenermaßen mit einer Schalleitungs- oder Schallempfindungsschwerhörigkeit einhergehen
6) Anomalien des Viscerocraniums, insbesondere wenn morphologische Anomalien des Gehörgangs oder des Kiefers vorliegen
7) Hypoxie in der Schwangerschaft oder unter der Geburt
8) APGAR-Werte von 0-1 in der 1. Minute und von 0-6 nach 5 Minuten
9) Bakterielle Meningitis
10) Ototoxische Pharmaka (z.B. Chemotherapeutika, Diuretika u.v.m.)
11) Hyperbilirubinämie mit Bilirubinwerten im Serum >20 mg/dl
12) Maschinelle Beatmung des Neugeborenen über mehr als fünf Tage

Tab. 1.1: Prädisponierende Risikofaktoren für den Erwerb einer frühkindlichen Hörstörung (Joint Committee on Infant Hearing, 1994, 2000).

Die Prävalenz für angeborene, bzw. früh erworbene Schwerhörigkeiten liegt bei 1 bis 6 pro 1000 Lebendgeburten (Barsky-Firsker et al., 1997). Liegt jedoch ein Risikofaktor vor, so steigt die Häufigkeit auf 1 pro 50 Lebendgeburten (Plinkert et al., 1990).

Allerdings liegt bei etwa der Hälfte aller Kinder mit Hörstörungen kein Risikofaktor vor, sodass bei einem Hörscreening, welches nur an Hoch-Risiko-Kindern durchgeführt wird, nur 50% der signifikanten Hörstörungen erkannt würden (Pappas, 1983; Stein et al., 1983; Elssman et al., 1987; Mauk et al., 1991). Ab Januar 2009 ist ein Hörscreening bei Neugeborenen in Deutschland gesetzlich vorgeschrieben.

1.1.3. Auswirkungen einer Hörstörung

Die Auswirkungen einer Hörstörung hängen zum einen vom Zeitpunkt des Auftretens und zum anderen vom Schweregrad der Hörstörung ab. Je früher die Diagnose gestellt wird und eine Therapie in die Wege geleitet werden kann, desto besser kann die Entwicklung des Kindes gefördert werden.

Wie in anderen Ländern werden auch in Deutschland Hörstörungen viel zu spät entdeckt, was schwerwiegende Auswirkungen nach sich zieht (Gross et al., 1999, Finckh-Krämer et al., 1998, 2000). Der Zeitpunkt der Diagnosestellung ist abhängig vom Schweregrad der Schwerhörigkeit. In Deutschland werden hochgradige Schwerhörigkeiten im Alter von 1½ - 2 Jahren, eine mittelmäßige im Alter von 3½ - 4 Jahren und eine geringgradige Schwerhörigkeit erst im Alter von mehr als 4 Jahren diagnostiziert (Hildmann, 2002).

Mögliche Folgen einer Hörstörung sind eine nicht adäquate Phonation (zu hoch, zu tief, verstärkt oder mit eingeschränkter Modulation) durch eine mangelnde oder gar fehlende auditive Kontrolle. Auch ein Verstummen der Kinder ist möglich, v.a. bei hochgradigen Hörverlusten. Dies liegt daran, dass durch die eingeschränkte akustische Wahrnehmung der eigenen Lautproduktion der Anreiz für eine neue und verbesserte Lautproduktion fehlt. Eine Hörstörung hat aber auch Einflüsse auf die geistige und seelische Entwicklung eines Kindes, da zwischenmenschliche Kontakte zu einem großen Teil über Gehör und Sprache aufgebaut werden. Verhaltensauffälligkeiten wie etwa Anpassungsschwäche, Hyperaktivität oder Aggressivität können die Folge sein (Ptok, 1997). Tabelle 1.2. zeigt die verlangsamte Sprachentwicklung bei schwerhörigen im Vergleich zu normalhörenden Kindern (Biesalski, Frank, 1994). Die Beeinträchtigung der Sprachentwicklung in Abhängigkeit des Schweregrades der Hörstörung ist in Tabelle 1.3. dargestellt (Löhle et al., 1998).

Sprachentwicklungsstufen bei normalhörenden und schwerhörigen Kindern	Erstes Wort	Mehrwortsätze
Normales Hörvermögen	9,8 Monate	17,8 Monate
Leichte Hörstörung	12,8 Monate	22,5 Monate
Mittelgradige Hörstörung	20,7 Monate	36,2 Monate
Hochgradige Hörstörung	29,6 Monate	69,6 Monate

Tab. 1.2: Sprachentwicklungsstufen bei normalhörenden und schwerhörigen Kindern (Biesalski, Frank, 1994).

Grad der Hörstörung	Mittlerer Hörverlust	Beeinträchtigung der Sprachentwicklung
Leicht	15 bis 39 dB HL	Stimmlose Zischlaute bei normaler Konversationslautstärke von 45 bis 60 dB sind unhörbar; d.h. einiges wird verstanden, einiges falsch und einiges gar nicht, was zu Fehlern in der Sprachproduktion führt.
Mittel	40 bis 59 dB HL	Die meisten Sprachlaute bei normaler Konversationslautstärke sind unhörbar; das führt zu einer deutlichen Störung im Sprachverständnis und der Sprachproduktion trotz möglicher Distanzverminderung und Lippenablesens
Hochgradig	60 bis 94 dB HL	Der natürliche Spracherwerb bleibt aus
Resthörig/ gehörlos	> 95 dB HL	Verstummung innerhalb weniger Monate, da die eigene Stimme nicht hörbar ist

Tab. 1.3: Beeinträchtigung der Sprachentwicklung und Hörverlust (Löhle et al., 1998)

Ein Fetus kann bereits intrauterin akustische Reize wahrnehmen. Man konnte nachweisen, dass der Fetus fähig ist, sowohl schon die Stimme der Mutter, als auch Musik akustisch wahrzunehmen und zu verarbeiten (Matschke, 1993). Zum Zeitpunkt der Geburt ist die Entwicklung des peripheren Gehörs bis zur Cochlea vollständig abgeschlossen. Bereits im achten Schwangerschaftsmonat ist die Zellteilung der nervalen Struktur der Hörbahn beendet. Nach der Geburt erfolgt die Reifung der Hörbahn durch akustische Reize der Umwelt, wobei die entscheidende Phase dafür im ersten Lebensjahr stattfindet (Moore, 2002). In diesem Zeitraum, der als sensible Phase bezeichnet wird, müssen akustische Reize in ausreichender Qualität und auch Quantität (v.a. Regelmäßigkeit) angeboten werden. Eine Myelinisierung der Nervenbahnen zur Erhöhung der Leitungsgeschwindigkeit ist ohne akustische Reizung des Hörorgans nicht möglich (Klinke et al., 2001). Die Reifung der Hörbahn bis zum auditorischen Cortex ist mit 2½ Jahren weitgehend abgeschlossen.

Das intakte Gehör ist eine notwendige Voraussetzung für die Sprachentwicklung der Kinder. Wird eine Schwerhörigkeit während der sensiblen Phase nicht erkannt und nicht behandelt, so bleibt die Entwicklung des Gehörs und der Sprache unvollständig (Walger, 2000; Klinke et al., 2001).

1.2. Diagnostik kindlicher Hörstörungen

1.2.1. Neugeborenen-Hörscreening

Normales Hörvermögen ab den ersten Lebensmonaten ist die grundlegende Voraussetzung für die normale Sprachentwicklung und damit unerlässlich für die ungestörte emotionale und psychosoziale Entwicklung des Kindes (Plath, 1998). Eine frühe Diagnose und Therapie der Hörstörung sind daher essentiell für die Sprachentwicklung. Später begonnene Behandlungsmaßnahmen erschweren die Therapie.

In Bayern werden 120 - 240 Kinder jährlich mit einem Hörverlust größer als 40 dB geboren. Wie bereits erwähnt, wird die Diagnose in Deutschland erst sehr spät gestellt, sodass die Zeit für eine optimale Therapie bereits vorüber ist (Liebl, Nennstiel-Ratzel, 2000). In Ländern wie z.B. Großbritannien, Österreich und Israel, in denen bereits ein flächendeckendes Neugeborenen-Screening durchgeführt wird, liegt das Erfassungsalter mit 6 - 8 Monaten deutlich niedriger (Richter, Löhle, 2001).

Bereits 1998 wurde in Mailand auf der „European Consensus Development Conference in Neonatal Hearing Screening“ ein generelles Hörscreening gefordert. Die generellen Kriterien zur Durchführung eines Screenings sind in Tabelle 1.4. zusammengefasst. Unter einem Hörscreening werden Untersuchungsmethoden verstanden, die der Erfassung hörgeschädigter Kinder dienen. Wirkungsvoll ist ein Screening-Programm aber nur dann, wenn ein geeignetes Testverfahren zur Verfügung steht, die Untersuchung bei allen Neugeborenen durchgeführt wird und eine Nachverfolgung auffälliger Kinder im Screening (Tracking) dabei gewährleistet ist (Liebl, Nennstiel-Ratzel, 2000). Als Testverfahren werden die automatisierten transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen (ATEOAE) und/ oder die Hirnstammpotentiale (AABR) eingesetzt. Diese Methoden sind nicht-invasiv, völlig schmerzlos und vigilanzunabhängig. Die Messungen können an schlafenden Kindern erfolgen. Auf den Einsatz von Sedativa wird verzichtet (Reuter et al., 1998).

Wichtige Kriterien zur Durchführung einer Screening-Untersuchung	
1)	Die gesuchte Erkrankung ist ernst.
2)	Die gesuchte Erkrankung ist häufig.
3)	Es muss ein erkennbares latentes oder symptomales Stadium der Krankheit geben.
4)	Die Erkrankung muss therapierbar sein.
5)	Ein früher Therapiebeginn soll die Prognose verbessern.
6)	Weitere Diagnostik und Therapie muss verfügbar sein.
7)	Die Screening-Methode ist zumutbar.
8)	Das Screening-Verfahren muss genügend Güteeigenschaften aufweisen.
9)	Koordination von Screening, Diagnostik und
10)	Früherkennung und Frühbehandlung haben positive Kosten/ Nutzen-Relation.

Tab. 1.4: Kriterien zur Durchführung einer Screening-Untersuchung (nach Hildmann, 1998).

1.2.1.1. Neugeborenen-Hörscreening in Bayern

Im Folgenden wird über das Modellprojekt in der Oberpfalz und in Oberfranken des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit berichtet (Nennstiel-Ratzel et al., 2007).

Das Neugeborenen-Hörscreening wird in erster Linie mittels der Registrierung von ATEOAE mit Geräten mit automatischer Messwertaufzeichnung und Analyse der Messdaten durchgeführt. Sind TEOAE vorhanden, so kann mit hoher Wahrscheinlichkeit eine relevante Schwerhörigkeit, welche die Sprachentwicklung beeinträchtigen würde, ausgeschlossen werden. Mehr als 99% aller kindlichen Schwerhörigkeiten liegen ursächlich im Mittel- und Innenohr und können somit mit dieser Methode erfasst werden. Die Sensitivität des ATEOAE-Screenings für Mittel- und Innenohrschwerhörigkeit wird mit 98 bis 100%, die Spezifität je nach Gerät mit 93,3 bis 96,1% angegeben (Reuter et al., 1998). Die relativ niedrige Spezifität führt zu einer hohen Zahl an kontrollbedürftigen und falsch-positiven Befunden. Um die Eltern nicht unnötig zu beunruhigen, soll die Rate der auffälligen Testergebnisse entsprechend der Konsensus-Empfehlung unter 4% liegen (Ptok, 2004). Dies kann durch die Kombination des ATEOAE-Screenings mit dem AABR-Screening in Form eines Stufenschemas erzielt werden. Das AABR-Screening ist deutlich zeit- und kostenintensiver als das ATEOAE-Hörscreening.

Das Modellprojekt in Bayern (Oberfranken und Oberpfalz) umfasst einen dreistufigen Prozess:

Die erste Stufe beinhaltet das Screening mittels ATEOAE bzw. AABR inklusive einer Kontrolluntersuchung in der Geburts- bzw. Kinderklinik vor Entlassung. Bei auffälligen Befunden bei Entlassung folgt die zweite Stufe mit einem Kontrollscreening beim Kinder- oder HNO-Arzt. Als dritte und letzte Stufe des Modellprojektes steht die exakte Hörschwellenbestimmung mit Ausschluss bzw. Konfirmationsdiagnostik beim HNO-Arzt mit phoniatischer-pädaudiologischer Fachkompetenz (Nennstiel-Ratzel et al., 2007).

Beim Modellprojekt in der Oberpfalz und in Oberfranken wurde zur Sicherung einer hohen Prozessqualität großen Wert auf ein effektives Tracking gelegt, wobei die Logistik aus dem Stoffwechselscreening übernommen wurde. Ein wichtiger Schritt hierbei ist die Datenübermittlung nach schriftlicher Einwilligung der Eltern an den öffentlichen Gesundheitsdienst (Screeningzentrum und Gesundheitsamt). Dadurch soll einerseits die Vollständigkeit des Screenings sichergestellt werden (Abgleich der Screeninglisten mit den Geburtsmeldungen in den Gesundheitsämtern). Andererseits kann das frühzeitige Tracking der in eine Kinderklinik verlegten Kinder (Risikokinder) und der auffälligen Befunde bis zur Diagnosesicherung und Therapieeinleitung überwacht werden.

Das Screeningzentrum schrieb die Eltern aller Kinder mit auffälligem Befund direkt nach der Screeningmeldung durch die Geburtsklinik an und informierte und erinnerte an die notwendige Kontrolluntersuchung. Bei 41% der Kinder mit beidseitig auffälligem Hörscreeningbefund war jedoch ein individuelles Vorgehen erforderlich. Diese Interventionsmaßnahmen umfassten telefonische und schriftliche Kontaktaufnahmen des Screeningzentrums mit der Geburts- bzw. Kinderklinik, den Eltern und/ oder betreuenden Ärzten bis hin zu Hausbesuchen durch das zuständige Gesundheits- und Jugendamt. Dies führt zur Abklärung der Befunde von 95% der beidseitig auffälligen Kinder.

Im Zeitraum seit Beginn des Modellprojektes wurden insgesamt 95,4% der neugeborenen Kinder gescreent. Nur von 0,1% der Zielpopulation ist bekannt, dass das Screening von den Eltern definitiv abgelehnt wurde. Bei 4,5% der Neugeborenen ist der Screeningstatus nicht bekannt, da die Eltern nicht auf die Kontaktaufnahme des Gesundheitsamtes reagierten.

Kontrolluntersuchungen wurden im Median im Alter von 1,6 Monaten durchgeführt. Die Diagnose einer Hörstörung wurde im Mittel mit 4,7 Monaten gestellt und eine entsprechende Therapie durchschnittlich im Alter von 4,9 Monaten begonnen (Nennstiel-Ratzel et al., 2007).

1.2.2. Otoakustische Emissionen - Grundlagen

Otoakustische Emissionen (OAE) sind Schallwellen, die vom Innenohr ausgehen und die mit einem empfindlichen Mikrophon im äußeren Gehörgang gemessen werden können. Dabei werden die äußeren Haarzellen des Cortischen Organs als aktive Schallquelle angesehen. Die mechanischen Bewegungen der Haarzellen, welche die Schwingungen der Basilarmembran verstärken, bewirken eine mechanische Verstärkung des Schallsignals und erhöhen somit die Sensitivität und die Trennschärfe des Hörorgans. Die äußeren Haarzellen (äHz) dienen hierbei als so genannter „cochleärer Verstärker“. Die inneren Haarzellen (iHz) sind die eigentlichen Sinneszellen. 95 Prozent der afferenten Hörnervenfasern gehen von den inneren Haarzellen aus. Der Verstärkungsprozess in der Cochlea und die daraus resultierenden OAE sind Epiphänomene des normalen Hörvorgangs. Die OAE, die von Kemp 1978 bei experimentellen Untersuchungen am Menschen entdeckt wurden, sind vereinfacht ausgedrückt die Arbeitsgeräusche der äußeren Haarzelle. OAE erweitern die Hörprüfung, da mit ihnen eine direkte Prüfung der Innenohrfunktion möglich ist. Die OAE sind eine objektive Testmethode, d. h. ihre Messung bedarf nicht der Mitarbeit des Patienten bzw. Probanden. Sie sind daher prädestiniert für die kindliche Hörprüfung.

Es werden verschiedene Arten von OAE unterschieden, die alle im Innenohr durch Kontraktionen äußerer Haarzellen entstehen.

Die OAE-Arten werden unterteilt:

- 1) Spontane otoakustische Emissionen (SOAE) Dies sind tonale Schallwellen, die fortlaufend emittiert werden, ohne dass das Ohr durch akustische Reize stimuliert wird.
- 2) Evozierte otoakustische Emissionen. Sie entstehen durch Stimulation des Ohres mit Schallereignissen. Hier unterteilt man:
 - Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE)
 - Simultan evozierte otoakustische Emissionen (SEOAE)
 - Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE oder DP)

Weder SOAE noch SEOAE werden bislang in der audiologischen Diagnostik angewendet, daher wird im Folgenden nicht näher darauf eingegangen.

1.2.2.1. *Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE)*

Regt man das Ohr mit transienten Schallreizen - einem Klick - an, breitet sich eine Wanderwelle auf der Basilarmembran aus, die von basal nach apikal läuft. Die TEOAE sind die Summe der Emissionen aus einem weiten Bereich der Cochlea, da mit dem transienten Reiz nahezu alle äußeren Haarzellen in der Cochlea angeregt werden. Dadurch kann ihre Funktion in einem einzigen Messvorgang aufgezeichnet werden. Die Haarzellen erzeugen - je nach ihrem Standort auf der Cochlea - Stoßantworten mit unterschiedlicher Dauer und Frequenz. Hohe Reizfrequenzen regen dabei die basal, mittlere Frequenzen die medial und tiefe Frequenzen die apikal stehenden Haarzellen an. Im Zeitverlauf der TEOAE haben die hochfrequenten Anteile, aufgrund der Laufzeiteffekte in der Cochlea, kurze, die tieffrequente Komponenten, lange Latenzen.

Sind die äußeren Haarzellen in einem bestimmten Teil der Cochlea in ihrer Funktion gestört, so wird aus diesem Bereich kein Schall emittiert. In der Summe der TEOAE-Antworten fehlen diese Schallanteile mit der entsprechenden Frequenz und Latenz (Janssen, 2001).

1.2.2.2. *Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE)*

Die nichtlineare Verstärkung der äußeren Haarzellen führt zu Verzerrungsphänomenen. Dieses Phänomen ist bereits seit über 200 Jahren in der Musik bekannt. Der Komponist Giuseppe Tartini (Abb.1.2.) fand heraus, dass beim simultanen Spielen zweier Töne (sog. Primärtöne der Frequenzen f_1 und f_2) auf der Geige ein virtueller dritter Ton (terzo suono) entsteht, dessen Frequenz sich aus der Differenz der beiden Primärtöne nach der Formel $2f_1 - f_2$ ergibt (kubischer Differenzton), dies aber nur dann, wenn die Frequenzen der Primärtöne in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen ($f_2/f_1 \approx 1,2$) (Abb. 1.3.).



Abb. 1.2: Giuseppe Tartini (1692-1770).

Diese Differenzttöne werden als Verzerrungs- bzw. Distorsionsprodukte bezeichnet und sind als DPOAE durch retrograde Schallaussendung akustisch im äußeren Gehörgang mit einem empfindlichen Mikrophon messbar. Die DPOAE-Frequenz $2f_1-f_2$ ist kleiner als die der Primärtonfrequenzen f_1 und f_2 , sodass die DPOAE nicht von den erzeugenden Primärtönen überlagert werden.

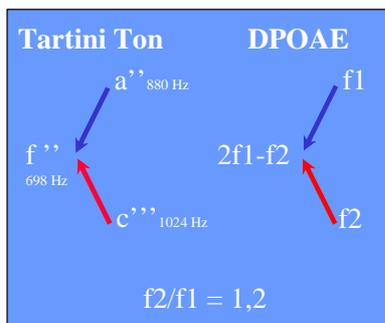


Abb. 1.3: Der kubische Differenzton, in der Musik auch als Tartini-Ton bekannt (Janssen, 2005).

Die DPOAE auslösenden Primärtöne mit den Frequenzen f_1 und f_2 erzeugen - unter der Beibehaltung des Frequenzverhältnisses $f_2/f_1 \approx 1,2$ - auf der Basilarmembran eng beieinander liegende wanderwellenförmige Ausbauchungen. Nur die äußeren Haarzellen im Überlappungsbereich der beiden Umhüllenden der Wanderwellen werden mit beiden Primärtönen angesteuert und rufen infolge ihres nichtlinearen Übertragungsverhaltens, eine zusätzliche Schwingung mit der Frequenz $2f_1-f_2$ hervor. Von diesem Ort pflanzen sich die Schwingungen der Frequenz $2f_1-f_2$ über die Innenohrflüssigkeit und/ oder Basilarmembran retrograd nach außen fort. Das im äußeren Gehörgang gemessene Schallsignal der Frequenz $2f_1-f_2$, die DPOAE, spiegelt somit die Schwingungen der äußeren Haarzellen im Überlappungsbereich wider. In Abbildung 1.4. ist ein Gedankenmodell zur Entstehung der DPOAE dargestellt (Janssen, 2001).

Ändert man die Primärtonfrequenzen f_1 und f_2 (unter Beibehaltung des Frequenzverhältnisses $f_2/f_1 = 1,2$), so wird der Ort der Überlappung auf der Basilarmembran verschoben. Dadurch ist es möglich, die cochleäre Hörfunktion frequenzspezifisch zu erfassen. Untersuchungen zur Suppression der DPOAE weisen den Ort an dem die Frequenz f_2 abgebildet wird, als Hauptquelle der DPOAE aus (Kummer et al., 1995).

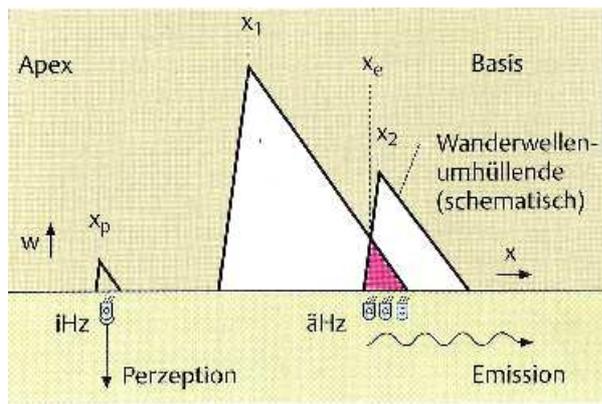


Abb. 1.4: Gedankenmodell zur Entstehung der DPOAE. Äußere Haarzellen (\ddot{a} Hz), innere Haarzellen (iHz) (Janssen, 2001).

Die beiden Primärtöne mit den Pegeln L_1 und L_2 und den Frequenzen f_1 und f_2 erzeugen auf der Basalmembran Wanderwellen mit Maxima an den Orten x_1 und x_2 . Schwingungen mit der Frequenz $2f_1-f_2$ entstehen in den nichtlinearen mechanischen Strukturen im Überlappungsbereich der Unhüllenden der beiden Wanderwellen (rot) und pflanzen sich retrograd nach außen fort, wo sie als DPOAE mit der Frequenz $2f_1-f_2$ messbar sind.

Der Emissionsschallpegel L_{dp} wird daher als Funktion der Frequenz f_2 aufgetragen. Die im Überlappungsbereich der Wanderwelle entstehende Schwingung erzeugt auch eine in Richtung Schneckenspitze laufende Wanderwelle, die am Ort der Frequenz $2f_1-f_2$ ein Wanderwellenmaximum ausbildet und dort die Basalmembran in Schwingung mit der Frequenz $2f_1-f_2$ versetzt. Über die innere Haarzelle dieser Cochleaorte erfolgt die subjektive Perception des Tones mit der Frequenz $2f_1-f_2$.

Frequenzverhältnis, Schallpegel und Pegelunterschied der Primärtöne bestimmen die Größe des Überlappungsbereiches der beiden Wanderwellen. Damit wird festgelegt, wie viele äußere Haarzellen mit welcher Energie angeregt werden. Untersuchungen zum wechselseitigen Einfluss des Frequenzverhältnisses und des Primärtonpegels haben gezeigt, dass zur Erzielung maximaler Emissionspegel in den verschiedenen Cochlearegionen unterschiedliche Frequenzverhältnisse und Pegeldifferenzen eingestellt werden müssen. Als Richtwert gilt ein Frequenzverhältnis von $f_2/f_1 = 1,2$. Um eine optimale Überlappung der durch die beiden Primärtöne f_1 und f_2 ausgelösten Wanderwellen am Cochleaort f_2 – und damit maximale DPOAE-Pegel – zu erreichen, müssen die Primärtöne mit unterschiedlichen Pegeln gemäß der Pegelschere ($L_1 = 0,4 L_2 + 39$) eingestellt werden (Abb. 1.5.) (Janssen et al., 1995a, 1995b; Kummer et al., 2000).

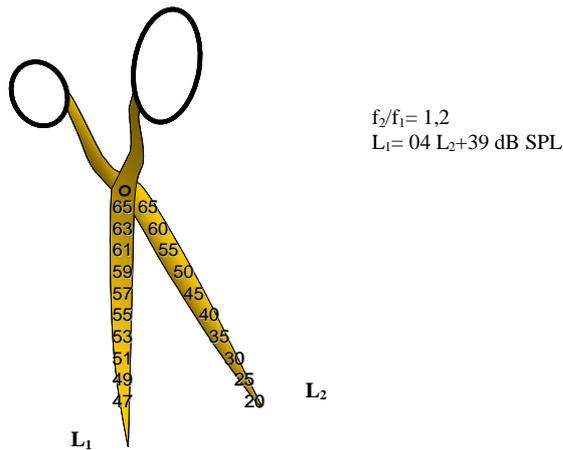


Abb. 1.5: Reizparadigma zur Registrierung der optimalen DPOAE. Mit abnehmenden Reizpegel nimmt die Differenz L_1-L_2 der Primärtonpegel zu, sog. „Pegelschere“ (Janssen et al., 2003).

1.2.3. Otoakustische Emissionen - Messtechniken

1.2.3.1. Transitorisch evozierte otoakustische Emissionen (TEOAE)

Die Emissionen haben sehr kleine Schallpegel, wodurch der Einsatz hochempfindlicher und rauscharmer Mikrophone notwendig ist. Die aufgezeichneten Schallsignale enthalten neben den Emissionen (Nutzsignal) auch unerwünschte Störsignale, wie etwa die die Emissionen auslösenden Schallsignale, deren Reflexionen vom Trommelfell und der Gehörgangswand, sowie physiologische Geräusche (Atemgeräusch, Geräusche, die durch die Blutzirkulation entstehen, Kopfbewegungen der Probanden).

Der Messaufbau der Registrierung der TEOAE ist in Abbildung 1.6. schematisch dargestellt (Janssen, 2003). Ein in der Ohrsonde platzierter Lautsprecher erzeugt einen Klickreiz. Durch diesen Klickreiz werden die äußeren Haarzellen entlang der Cochlea (die Cochlea ist in dieser Abbildung abgewickelt dargestellt) angestoßen. Die Schallwellen werden durch die Lymphe der Cochlea retrograd über das Mittelohr nach außen weitergeleitet und können dort durch ein in der Ohrsonde platziertes Mikrophon gemessen werden.

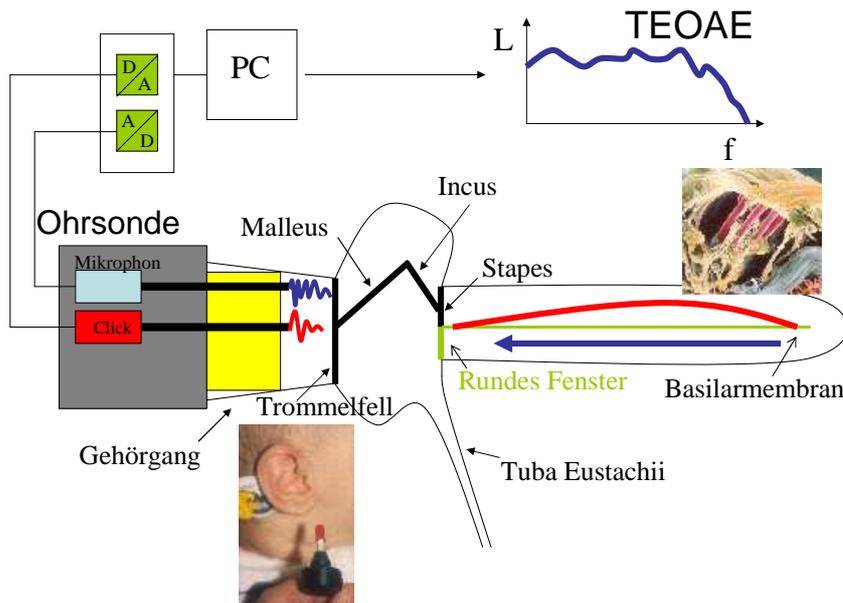


Abb. 1.6: TEOAE-Messaufbau (Janssen, 2005).

1.2.3.2. Distorsionsprodukte otoakustischer Emissionen (DPOAE)

Zur Registrierung der DPOAE werden mit Hilfe von zwei Miniaturlautsprechern in der Ohrsonde die Primärtöne der Frequenzen f_1 und f_2 erzeugt, die sich als Wanderwellen auf der Basilarmembran, entsprechend der Frequenz-Orts-Transformation, ausbreiten mit Maximum mehr im apikalen (f_1) und mehr im basalen Cochleabereich (f_2) (Abb.1.7.). Mit beiden Frequenzen werden nur diejenigen äußeren Haarzellen angeregt, die im Überlappungsbereich der beiden Primärtöne liegen (grüne Linie mit Pfeil in Abb. 1.7.). Aufgrund ihrer nichtlinearen Übertragungseigenschaften erzeugen sie den kubischen Differenzton mit der Frequenz $2f_1-f_2$ (grün), der als DPOAE mit einem Mikrophon im äußeren Gehörgang gemessen werden kann. Im Aufzeichnungssignal des Miniaturmikrophons, das ebenfalls in die Ohrsonde integriert ist, sind die Primärtöne der Frequenzen f_1 und f_2 (blau und rot), die DPOAE der Frequenz $2f_1-f_2$ (grün) und das Störgeräusch enthalten.

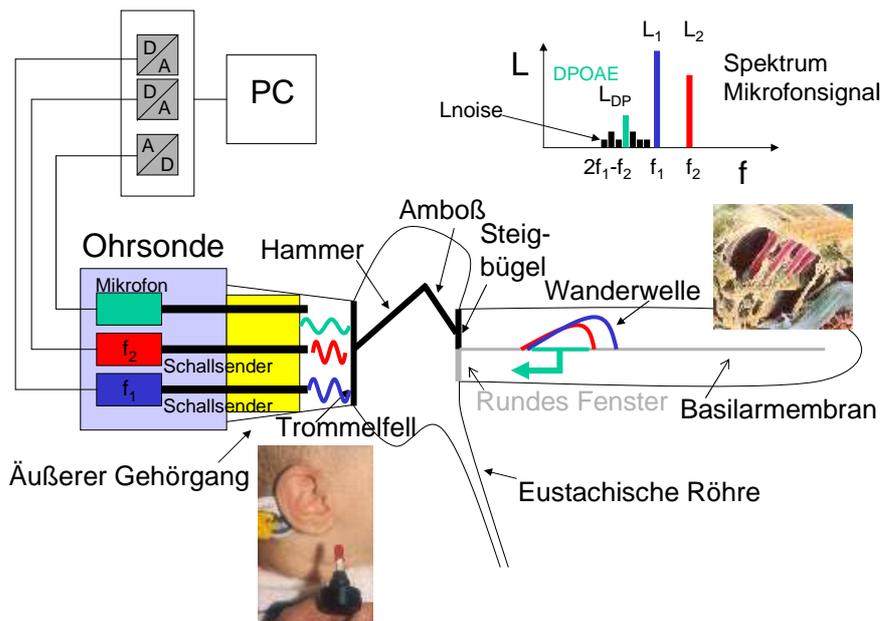


Abb. 1.7: DPOAE-Messaufbau (Janssen, 2005).

Die Ohrsonde zur DPOAE-Messung besteht aus einem (TEOAE) oder zwei (DPOAE) Miniaturschallsendern und einem empfindlichen Miniaturmikrofon. Die Primärtöne müssen möglichst rein sein. Daher sind zwei unabhängige, verzerrungsarme Signalquellen notwendig. Die Weiterleitung der Schallsignale erfolgt über ein Silikonröhrchen, das von einer Ohrolive ummantelt ist. Die luftdichte Fixierung im äußeren Gehörgang der Neugeborenen wird in dieser Studie mittels einer sog. „Tannenbaum“-Ohrolive aus Silikon erreicht, die ein Verrutschen der Sonde trotz kindlicher Bewegungen verhindern soll. Ein weiterer Vorteil dieses Sondentypes ist, dass durch die konische Form trotz verschiedener Größen des Gehörgangs bei Neugeborenen die Sonde immer luftdicht abschließen kann. Der schematische Aufbau der Ohrsonde und die „Tannenbaum“-Ohrolive sind in den Abbildung 1.8. und 1.9. dargestellt.

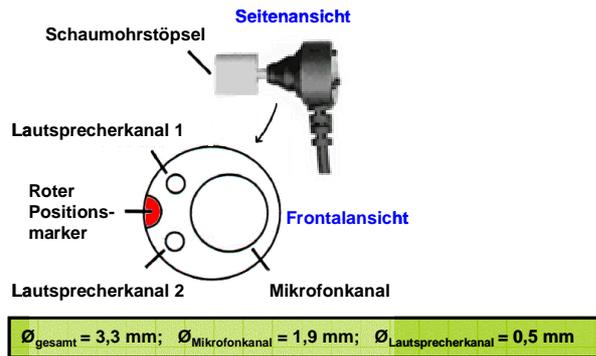


Abb. 1.8: Schematische Darstellung des Sondaufbaus.



Abb. 1.9: „Tannenbaum-Ohrlive“ der Firma Fischer-Zoth zur schalldichten Sondenfixierung im äußeren Gehörgang der Neugeborenen.

1.2.3.3. DPOAE-Wachstumsfunktionen

Die Registrierung des Schalldruckpegels L_{dp} der DPOAE in Abhängigkeit vom Primärtonpegel führt zu einer sog. DPOAE-Wachstumsfunktion, bei denen der Schallpegel L_{dp} als Funktion des Primärtonpegels L_2 aufgetragen wird. DPOAE-Wachstumsfunktionen spiegeln die kompressive Schallverarbeitung in der Cochlea direkt wider und eignen sich daher zu objektiven Erfassung des Sensitivitäts- und Kompressionsverlustes des cochleären Verstärkers. Voraussetzung ist hierfür die Applikation der Primärtonpegel nach dem oben genannten speziellen Reizparadigma, der Pegelschere.

Eine schematische Darstellung der Überlappung der beiden Primärtöne auf der Basilarmembran, das Spektrum des Mikrofonreizes und die DPOAE-Wachstumsfunktion nach Janssen 2006 gibt die Abbildung 1.10. wieder. Sie soll veranschaulichen, dass die DPOAE-Wachstumsfunktionen die kompressive nicht-lineare Schallverarbeitung der äußeren Haarzellen widerspiegeln, wenn die Primärtonpegel nach der Pegelschere eingestellt werden. Ein wesentliches Merkmal ist, dass durch die unterschiedliche Erstellung der Pegel ($L_1 > L_2$) eine optimale Überlappung der Wanderwellen am Ort der Frequenz f_2 erreicht wird.

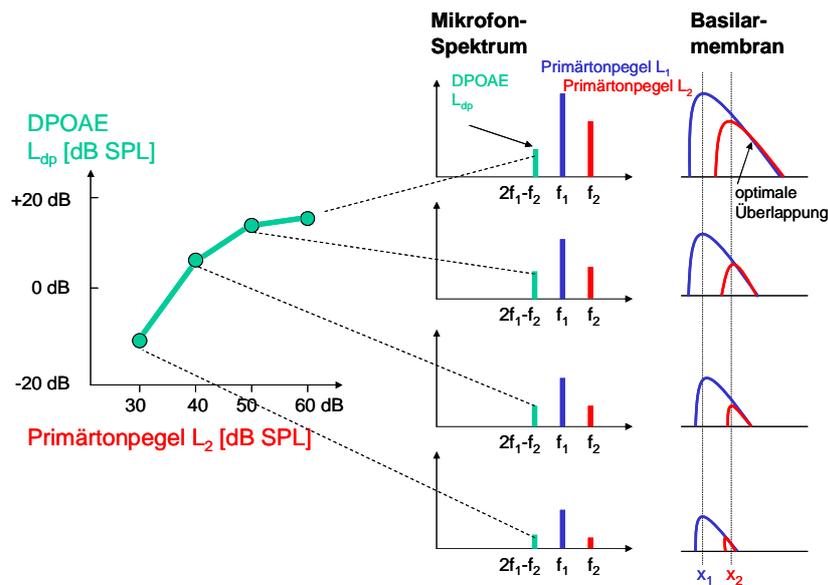


Abb. 1.10: DPOAE-Wachstumsfunktionen bei Einstellung der Primärtonpegel nach der Pegelschere (Janssen, 2005).

Links: DPOAE-Wachstumsfunktion; Mitte: Spektrum der Schallreize und der DPOAE, Rechts: schematische Darstellung der Wanderwellenumhüllenden.

Die DPOAE-Wachstumsfunktion hat bei normaler cochleärer Hörfunktion einen nichtlinearen, bei gestörter Hörfunktion einen linearen Verlauf und spiegelt Funktion und Dysfunktion des cochleären Verstärkers wider. Bei normaler Hörfunktion wächst der Emissionspegel L_{dp} mit zunehmendem Primärtonpegel zunächst an und sättigt sich oberhalb 50 dB SPL. Bei gestörter Hörfunktion kommt es zur Linearisierung zwischen Emission und Reiz. Der steile Verlauf der DPOAE-Wachstumsfunktion (siehe Abb. 1.11.) ist Ausdruck des mit der Dysfunktion der äußeren Haarzelle einhergehenden Kompressionsverlustes (Janssen et al., 1995a; 1995b; Kummer et al., 1998; Janssen, Boege, 2002).

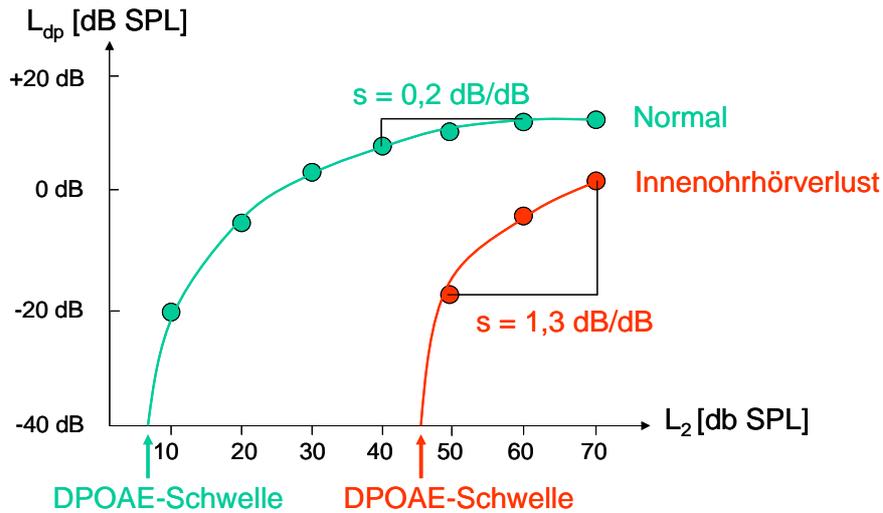


Abb. 1.11: Schematische Wachstumsfunktionen bei normaler Hörfunktion (grün) und bei Innenohrschwerhörigkeit (rot) (modifiziert nach Janssen et al., 2005)

Es ist zu betonen, dass die DPOAE nur die Funktionsfähigkeit der äußeren Haarzellen widerspiegeln und somit nur eine Innenohrschwerhörigkeit bis zu einem Hörverlust von 50 dB erfassen können. Größere Hörverluste sind nicht bestimmbar, da bei Schallpegeln über 50 dB HL die äußeren Haarzellen nicht mehr aktiv an der Schallverarbeitung beteiligt sind. Bei einer totalen Dysfunktion der äußeren Haarzellen sind keine DPOAE messbar. Ein Ausbleiben der DPOAE bedeutet jedoch nicht Taubheit, sondern einen Hörverlust von 50 dB oder größer.

1.2.3.4. Schätzung der Hörschwelle mittels DPOAE-Wachstumsfunktionen

Die mit der Pegelschere generierten DPOAE-Wachstumsfunktionen spiegeln die aus der direkten Messung der Basilarmembranauslenkung bekannte kompressive Schallverarbeitung des cochleären Verstärkers wider (Janssen, Boege, 2002): Starker Anstieg des DPOAE-Pegels bei kleinen Primärtonpegeln und geringer Anstieg des DPOAE-Pegels bei hohen Primärtonpegeln L_1 , L_2 . Bei einer cochleären Schwerhörigkeit treten die bei hohen Reizpegeln ausgelösten DPOAE mit nahezu normalem Pegel auf. Mit abnehmendem Reizpegel kommt es zu einer drastischen Abnahme des DPOAE-Pegels. Dies hat eine Versteilerung der DPOAE-Wachstumsfunktion zur Folge (siehe Steigung s in Abb. 1.11.).

Die Extrapolation der DPOAE-Wachstumsfunktion erlaubt eine Schätzung des DPOAE-Schwellenpegels, der zur Auslösung einer DPOAE an der physiologischen Schwelle führt. Dieser ergibt sich aus dem Schnittpunkt der extrapolierten DPOAE-Wachstumsfunktion mit der Primärtonpegelachse. Wegen des logarithmischen Zusammenhanges zwischen DPOAE-Pegel und Primärtonpegel können Wachstumsfunktionen durch lineare Regression angenähert werden, wenn sie im halblogarithmischen Plot dargestellt werden, d.h. wenn anstelle des Schallpegels L_{dp} der Schalldruck p_{dp} der DPOAE über dem Primärtonpegel aufgetragen wird (Boege und Janssen, 2002). (Abb. 1.12.).

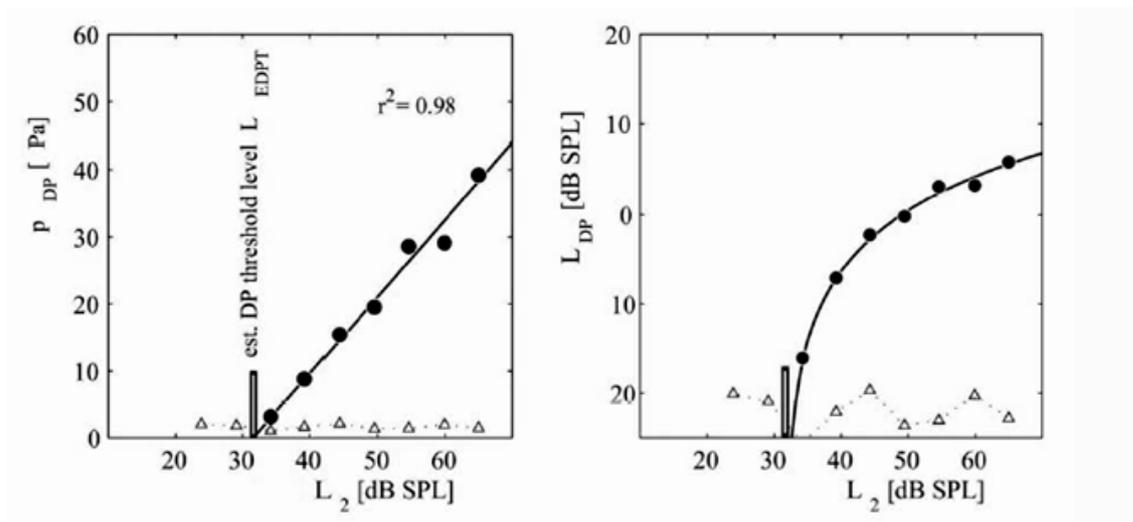


Abb. 1.12: Extrapolation der DPOAE-Wachstumsfunktion mittels linearer Regressionsanalyse (Boege und Janssen, 2002).

Nach Konvertierung der SPL-Werte in HL-Werte kann die so genannte DPOAE-Hörschwelle als Hörverlust in das Formular eines Tonschwellenaudiogramms (sog. DPOAE-Audiogramm) eingetragen werden (Janssen, 2003) (Abb. 1.13.).

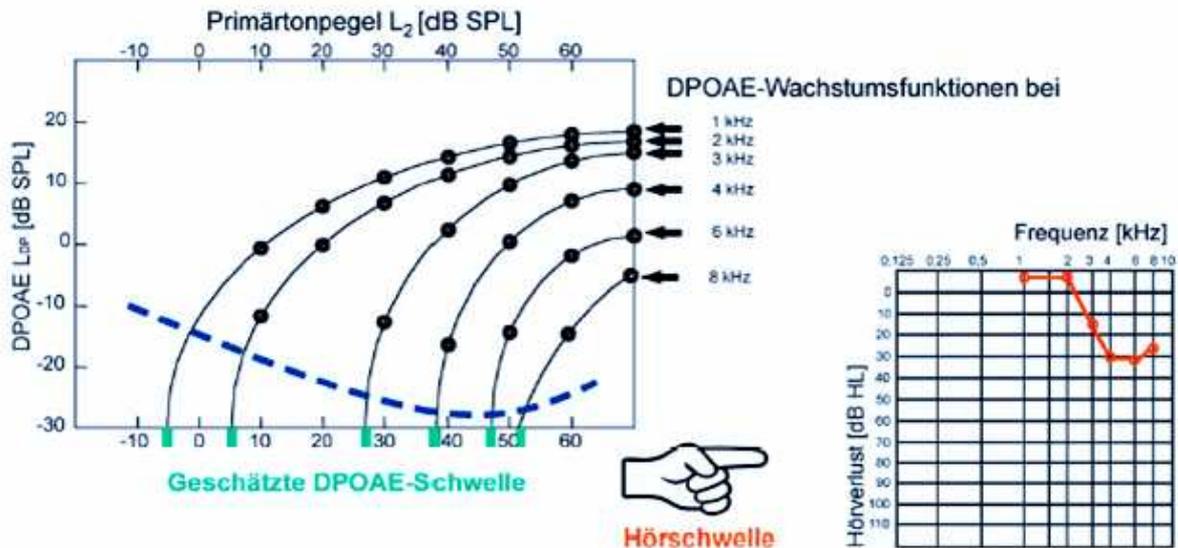


Abb. 1.13: Schematische Darstellung der Schätzung der DPOAE-Schwelle bei verschiedenen Frequenzen und Konstruktion eines DPOAE-Audiogramms (Janssen, 2003).

Zur Vertiefung des Themengebietes wird auf Janssen (Automatisierte Hörschwellenbestimmung bei Neugeborenen mit extrapolierten DPOAE Wachstumsfunktionen, 2003) und Janssen (Diagnostik des cochleären Verstärkers mit DPOAE Wachstumsfunktionen, 2005) verwiesen.

1.3. Ziele der Studie

1.3.1. Klinische Evaluation von DPOAE-Audiogrammen bei Neugeborenen

Mit Hilfe der DPOAE-Audiogramme ist es möglich, eine quantitative und frequenzspezifische Aussage über den Hörverlust zu treffen.

Die vorliegende Arbeit geht der Frage nach, ob die Aufnahme von DPOAE-Audiogrammen bei Neugeborenen unter Hörscreening-Bedingungen möglich ist. Es wird erwartet, dass die DPOAE bereits bei Neugeborenen problemlos registriert werden können und somit schon kurz nach der Geburt eine quantitative und frequenzspezifische Aussage über die Funktion des Innenohres des Kindes getroffen werden kann.

Mittels Messung der ATEOAE kann nur eine Pauschalaussage über die Hörfähigkeit eines Kindes getroffen werden (Hörfähigkeit vorhanden: ja/nein). Das Problem der ATEOAE (als auch der AABR-Messung) ist, dass bei bestimmten Formen der Schwerhörigkeit (Hochtonverlust, Mitteltonschwerhörigkeit) negative Screening-Befunde (kein Verdacht auf Schwerhörigkeit) auftreten können. Dies liegt daran, dass trotz des Hörverlustes noch eine ausreichende Anzahl intakter äußerer Haarzellen eine valide ATEOAE-Antwort erzeugen.

Somit werden nicht alle hörgestörten Kinder beim ATEOAE-Hörscreening erfasst. Es ist daher zu erwarten, dass mit Hilfe der DPOAE-Audiogramme die Rate der im Neugeborenen-Screening nicht erkannten schwerhörigen Kinder deutlich gesenkt werden kann und somit eine frühere Therapie möglich wird.

1.3.2. Klinische Evaluation von DPOAE-Audiogrammen bei Kleinkindern

Weiterhin wird in der vorliegenden Arbeit untersucht, ob sich die DPOAE-Audiogramme bei Kleinkindern als zusätzliche Untersuchungsmethode zur Freifeld- bzw. Tonschwellen-Audiometrie eignen. Es wird erwartet, dass DPOAE-Audiogramme zu einer frequenzspezifischen und quantitativen Erfassung einer Hörstörung im frühen Kindesalter führt und sich somit als Alternative zur Hirnstammaudiometrie (AABR) anbieten.

2. Material und Methoden

2.1. Neugeborene

2.1.1. Reifgeborene Kinder

Es wurden an 200 Ohren von 100 Neugeborenen DPOAE-Audiogramme nach der in Abschnitt 1.4. beschriebenen Methode registriert. Die Untersuchungen erfolgten in den ersten Lebenstagen noch während des Aufenthaltes in der Geburtsklinik.

Es wurden 52 Jungen und 48 Mädchen getestet.

Die Messung der ATEOAE mit dem Echo-Screen-Handgerät (siehe Kapitel 2.3.1.) wurde immer am zweiten Lebenstag durchgeführt. Der Zeitrahmen für die Aufnahme von DPOAE-Audiogrammen mit dem Cochlea-Scan-Handgerät (siehe Kapitel 2.3.2.) erstreckte sich vom Tag der Geburt an bis zu maximal 13 Tage postpartum. 81% der Kinder wurden zwischen dem ersten und dritten Lebenstag untersucht. Im Mittel waren die Kinder zum Zeitpunkt des Cochlea-Scan-Tests 2,51 Tage alt. Die Altersverteilung entspricht einer Standardnormalverteilung (siehe Abb. 2.1.). Die Messung erfolgte im Kinderbett in der Säuglingsstation des Klinikums Rechts der Isar München.

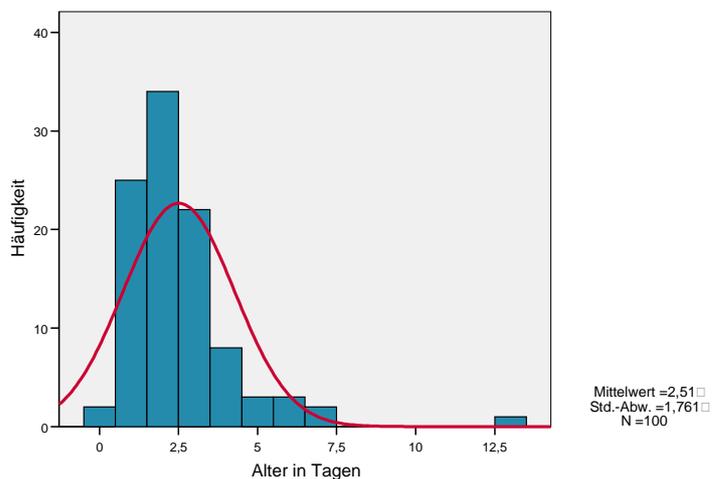


Abb. 2.1: Altersverteilung der hundert getesteten reifen Neugeborenen zum Zeitpunkt der Aufzeichnung der DPOAE-Audiogramme. Die Altersverteilung entspricht einer Standardnormalverteilung.

2.1.2. Frühgeborene Kinder

Es wurden von zehn frühgeborenen Kindern (Geburt nicht vor der 31. Schwangerschaftswoche) DPOAE-Audiogramme aufgenommen. Unter den frühgeborenen Kindern waren zwei Jungen und acht Mädchen, die zwischen 4 und 31 Tagen alt waren. Das mittlere Alter dieser zehn Kinder betrug 17,3 Tage. Die Altersverteilung (siehe Abb. 2.2.) entspricht keiner Standardnormalverteilung, da die Fallzahlen nicht ausreichend groß waren. Auch hier erfolgte die Messung der DPOAE im Kinderbett in der Neugeborenen-Intensivstation des Klinikums Rechts der Isar München.

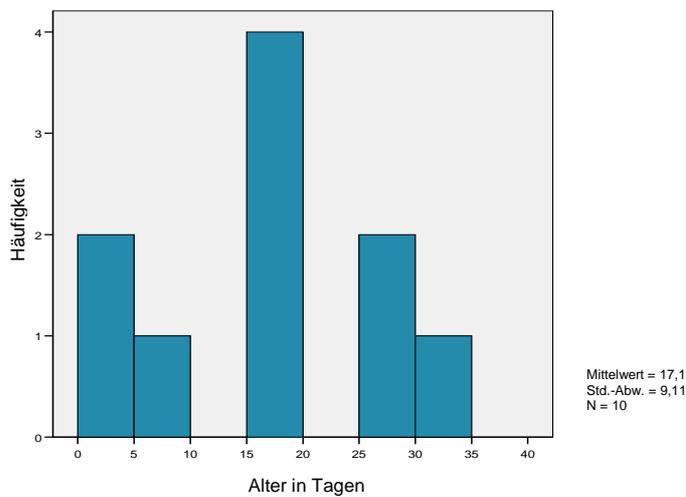


Abb. 2.2: Altersverteilung der 10 getesteten Frühgeborenen zum Zeitpunkt der Aufzeichnung der DPOAE-Audiogramme.

2.2. Kleinkinder

2.2.1. Kinder mit Freifeldaudiometrie

Es wurden insgesamt 51 Kleinkinder der Pädaudiologischen Sprechstunde der HNO-Klinik am Klinikum Rechts der Isar München mittels DPOAE untersucht, die vorher einer Freifeldaudiometrie unterzogen wurden. Es waren 36 Jungen und 15 Mädchen. Die Kinder waren zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen 2½ Monaten und 6½ Jahren alt. Das mittlere Alter aller Kinder betrug 2 Jahre und 2 Monate. Die Altersverteilung entspricht in etwa einer Standardnormalverteilung (siehe Abb. 2.3.).

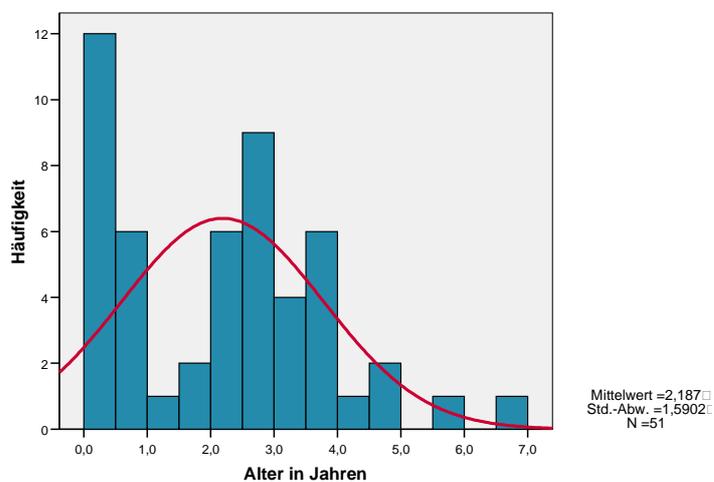


Abb. 2.3: Altersverteilung der 51 Kleinkinder, die mittels Freifeldaudiometrie untersucht wurden. Die Altersverteilung entspricht einer Standardnormalverteilung.

2.2.2. Kinder mit Tonschwellenaudiometrie

97 Kinder wurden untersucht, die einer Tonschwellenaudiometrie unterzogen wurden. Getestet wurden 55 Jungen und 42 Mädchen, die zwischen $2\frac{3}{4}$ Jahren und $14\frac{3}{4}$ Jahren alt waren. Im Mittel betrug das Alter aller Kinder $6\frac{3}{4}$ Jahre (die Standardnormalverteilung ist in Abb. 2.4. dargestellt).

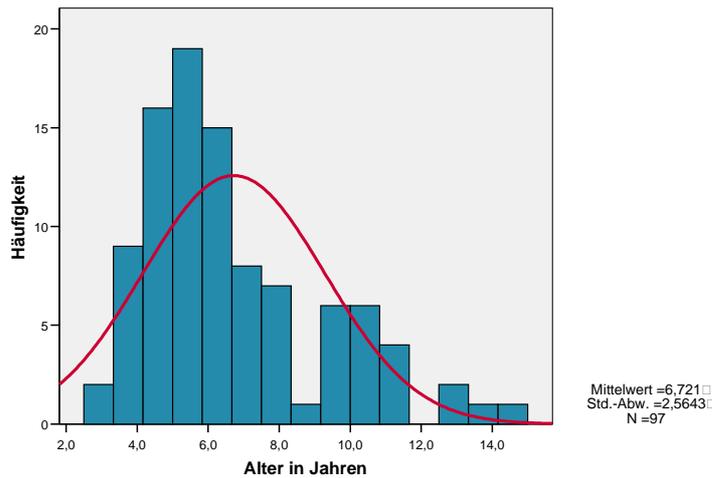


Abb. 2.4: Altersverteilung der 97 Kinder, die mittels Tonschwellenaudiometrie untersucht wurden. Die Altersverteilung entspricht einer Standardnormalverteilung.

2.3. Methoden

2.3.1. ATEOAE-Messung (Echo-Screen)

Das Hörscreening bei reifen Neugeborenen mittels ATEOAE wurde bei allen getesteten Kindern am zweiten Lebenstag durchgeführt. Bei den frühgeborenen Kindern dagegen wurde die ATEOAE-Messung nicht standardgemäß am zweiten Lebenstag durchgeführt, sondern erst, wenn die Kinder einige Zeit klinisch stabil waren. Oftmals wurden diese Kinder mehrmals untersucht. Die in dieser Studie verwendeten Daten stammen jeweils aus der letzten ATEOAE-Messung vor der Entlassung des Kindes aus der Klinik bzw. vor Verlegung in ein anderes Krankenhaus. Für die Messung wurde das Echo-Screen-Gerät der Firma Fischer-Zoth verwendet (siehe Abb. 2.5.).

Das Echo-Screen-Gerät benutzt eine Vorzeichenstatistik (Binomialstatistik) zur Überprüfung der Validität des ATEOAE-Signals. Wenn an acht Stellen in der Wellenform eine Signifikanz von 99,7% erreicht wird, beendet das Gerät die Messung mit dem Ergebnis „pass“ (kein Verdacht auf eine Schwerhörigkeit).

Bei fehlender oder unzureichender ATEOAE-Antwort wurde automatisch nach etwa drei Wochen eine weitere pädaudiologische Diagnostik zur Abklärung des Befundes angeschlossen.

Auch bei den Kindern aus der pädaudiologischen Sprechstunde wurde das Echo-Screen-Gerät regelmäßig zur Überprüfung der Innenohrfunktion verwendet.

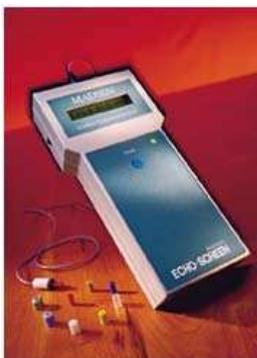


Abb. 2.5: Echo-Screen-Gerät der Firma Fischer-Zoth.

2.3.2. DPOAE-Messung (Cochlea-Scan)

Für die DPOAE-Messung wurde das Gerät Cochlea-Scan TXYH der Firma Fischer-Zoth verwendet (siehe Abb. 2.6.). Die Registrierung der DPOAE-Wachstumsfunktionen erfolgte bei den fünf Testfrequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 6 kHz.



Abb. 2.6: Cochlea-Scan-Gerät TXYH der Firma Fischer-Zoth.

In Abbildung 2.7. wird demonstriert, wie die Erstellung von DPOAE-Audiogrammen mit dem Cochlea-Scan vorgenommen wurde. Entsprechend der Methode von Boege und Janssen (2002) wurden DPOAE bei unterschiedlichen Primärtonpegeln gemessen, die eine I/O-Funktion in der doppellogarithmischen Darstellung repräsentieren, wobei der DPOAE-Pegel eine Funktion des Primärtonpegels darstellt. Wenn anstelle des Schallpegels der Schalldruck aufgetragen wird, können mittels linearer Regressionsanalyse die Messpunkte mit Hilfe einer Gerade angenähert werden. Der Schnittpunkt zwischen der linearen Regressionslinie und der Primärtonpegelachse dient als Schätzwert für die Schwelle der DPOAE. Es sind mindestens drei gültige DPOAE-Punkte für die Extrapolation nötig. Im in Abbildung 2.7. dargestellten Fall stehen fünf Punkte zur Verfügung. Wenn man dieses Verfahren bei allen Testfrequenzen anwendet und die geschätzten SPL-Werte in HL-Werte konvertiert, kann ein so genanntes DPOAE-Audiogramm erstellt werden.

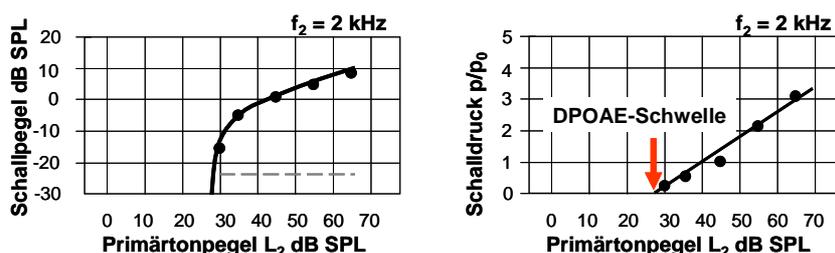


Abb. 2.7: Hörschwellenschätzung im Cochlea-Scan (Boege und Janssen, 2002).

Falls weniger als drei gültige DPOAE-Punkte zur Verfügung stehen ist es nicht sinnvoll eine Regressionsanalyse durchzuführen. Um die Information aus der DPOAE-Messung nicht zu verlieren, wird eine vereinfachte Hörschwellenschätzung verwendet. In solchen Fällen wird die DPOAE-Hörschwelle gleich dem niedrigsten Primärtonpegel L_2 minus 15 dB gesetzt (siehe Abbildung 2.8.).

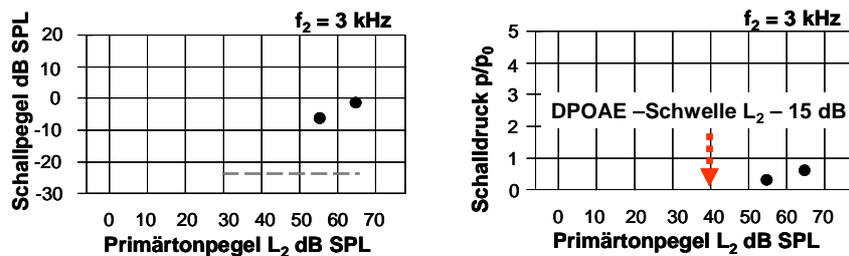


Abb. 2.8: Vereinfachte Hörschwellenschätzung im Cochlea-Scan (Boege und Janssen, 2002).

Das Gerät ist in der Lage aus der Messung der DPOAE automatisch ein DPOAE-Audiogramm zu rekonstruieren (schematisches DPOAE-Audiogramm in Abb. 2.9.). Die Auslösung der DPOAE erfolgt mit Primärtonpärchen mit den Frequenzen f_1 und f_2 ($f_2/f_1=1,2$) bei den Frequenzen $f_2 = 1.5, 2, 3, 4$ und 6 kHz . Liegt der Hörverlust bei einer Frequenz oberhalb 50 dB HL , so kann keine DPOAE-Antwort mehr ermittelt werden. Der geschätzte Hörverlust ist dann größer 50 dB HL .

In dieser Studie wurden nur diejenigen Hörschwellen-Werte berücksichtigt, die durch eine Schätzung mit extrapolierten DPOAE I/O-Funktionen zustande kamen, d.h. weder vereinfachte Schätzungen ($L_2-15 \text{ dB}$) noch Hörverluste über 50 dB wurden in den weiteren Berechnungen berücksichtigt.

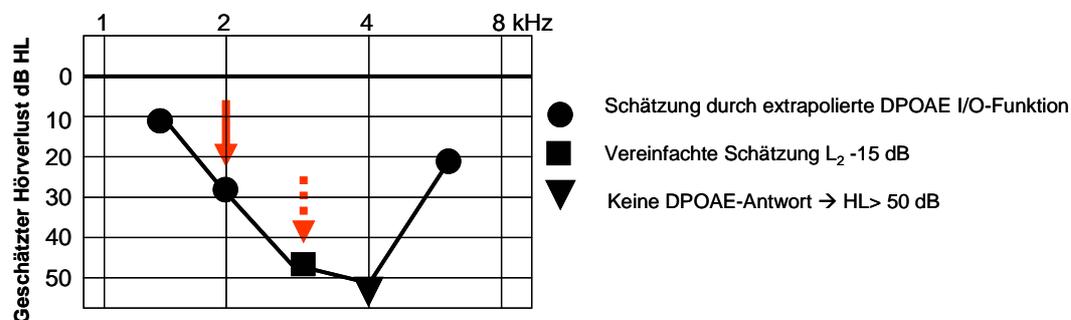


Abb. 2.9: Schematische Darstellung eines DPOAE-Audiogramms, gemäß Cochlea-Scan-Handgerät.

Abbildung 2.10. zeigt das Beispiel eines DPOAE-Audiogramm-Ausdruckes eines normalhörenden Kindes, welches mit dem Handgerät aufgenommen wurde. Auf dem rechten Ohr wurde ein Hörverlust von 0 bis 2 dB ermittelt. Auf dem linken Ohr lag der geschätzte Hörverlust zwischen 4 und 13 dB. Dem Ausdruck sind neben dem DPOAE-Audiogramm auch das gemessene Ohr, das Messdatum, die Messzeit, die Testfrequenz (f_2 kHz), der geschätzte Hörverlust (THdB), der Störgeräuschpegel (NFdB) und der Primärtonpegel L_2 (L2dB) zu entnehmen.

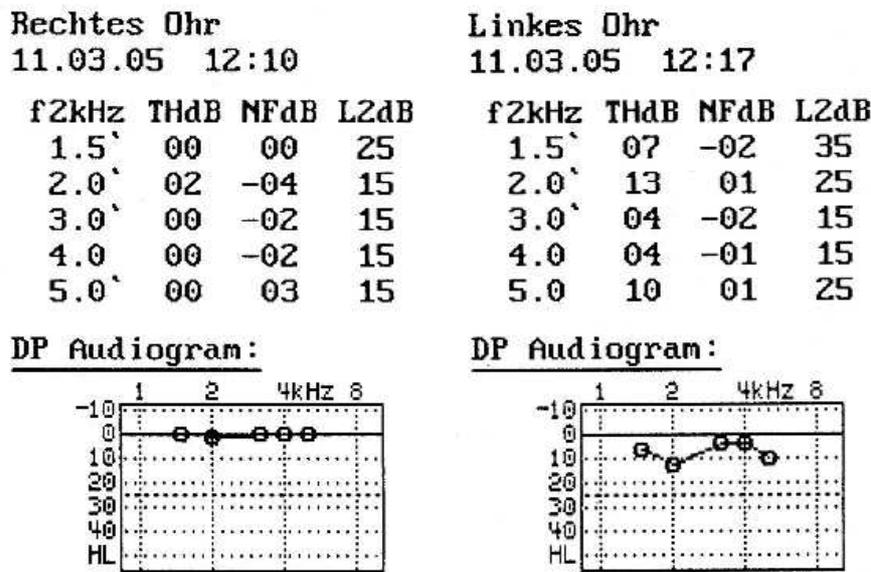


Abb. 2.10: Beispiel eines DPOAE-Audiogramm-Ausdruckes im Cochlea-Scan (f_2 kHz = Testfrequenz in kHz, THdB = geschätzter Hörverlust in dB, NFdB = Störgeräuschpegel in dB, L2 dB = Primärtonpegel von f_2 in dB).

Die reine Messzeit, um ein DPOAE-Audiogramm zu erhalten, ist in Abb. 2.11. dargestellt. Die Daten stammen aus einer Studie an Erwachsenen mit normalem Gehör und Patienten mit einem sensorischen Hörverlust (Reuter et al., 2007). Die Messzeit ist hier gegen den mittleren Hörverlust jedes Probanden aufgetragen. Bei normalem Gehör kann das Audiogramm in zwei bis drei Minuten fertiggestellt sein. Die Messzeit ist bei geringen Hörverlusten am längsten, da die DPOAE-Amplitude zwar klein, aber bei beinahe allen Primärtonpegeln vorhanden ist. Je größer der Hörverlust, desto geringer wird die Anzahl der Primärtonpegel, die für die Extrapolation der DPOAE I/O-Funktionen benötigt wird und dementsprechend kürzer wird die Messzeit.

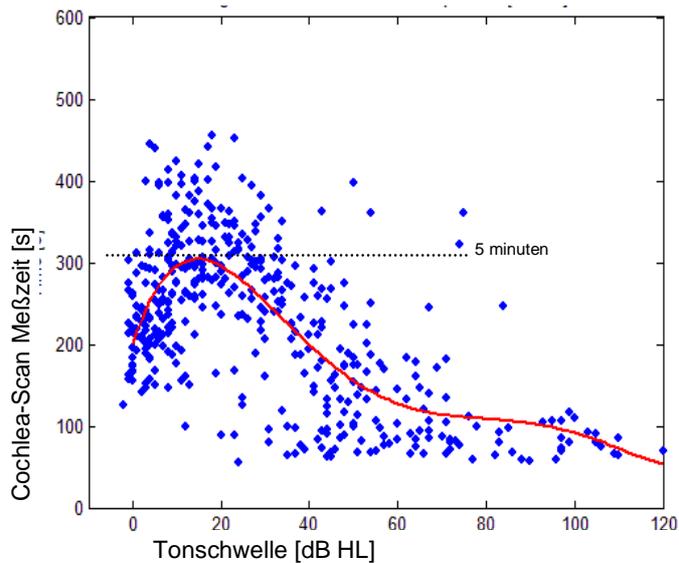


Abb. 2.11: Messzeit des Cochlea-Scans in Abhängigkeit vom Hörverlust. (Reuter et al., 2007)

2.3.3. Tonschwellenaudiometrie/ Freifeldaudiometrie

Bei der Tonschwellenaudiometrie wird die Hörschwelle bestimmt. Hierbei ist die Mitarbeit des Probanden oder Patienten notwendig, der angeben muss, ob er den Ton mit einer bestimmten Frequenz und einer bestimmten Lautstärke hören kann. Dadurch wird die Empfindlichkeit des Gehörs für Sinustöne bestimmt. Die Schwelle wird für beide Ohren getrennt ermittelt. Üblicherweise werden Frequenzen zwischen 125 Hz und 10 kHz gemessen. Im Rahmen dieser Studie sind allerdings nur die Frequenzen von Bedeutung, die auch bei den DPOAE-Messungen eingestellt wurden ($f_2 = 1.5, 2, 3, 4$ und 6 kHz).

Die Hörprüfung erfordert eine aktive Mitarbeit des Patienten. Kleinkinder bis zu einem Alter von etwa $2\frac{1}{2}$ Jahren sind dazu erfahrungsgemäß noch nicht in der Lage, weswegen man auf Alternativmethoden zur Bestimmung der Hörschwelle ausweichen muss. Eine Möglichkeit dazu bietet die Freifeldaudiometrie, bei der das Verhalten der Kinder nach einem akustischen Reiz im freien Schallfeld beobachtet wird. Statt einer exakten Hörschwelle wird hierbei eine sog. Reaktionsschwelle bestimmt. Wichtig bei dieser Untersuchung ist, dass die Kinder nicht anderweitig, z.B. durch visuelle oder taktile Reize abgelenkt werden, da dies das Testresultat beeinflussen würde. Da die Kinder während der Untersuchung meist auf dem Schoß der Eltern sitzen, müssen diese entsprechend angeleitet werden. Eine seitengetrennte Aussage über das Hörvermögen ist wegen der Stimulation im Freifeld über Lautsprecher bei dieser Methode nicht möglich.

Abbildung 2.12. zeigt das Beispiel eines Tonschwellenaudiogrammes mit Hörverlust von 15 bis 20 dB im niedrigfrequenten Bereich bis 0,75 kHz, einer mittelfrequenten Senke bis 45 dB und einem Hörverlust von etwa 30 dB im hochfrequenten Bereich auf beiden Ohren.

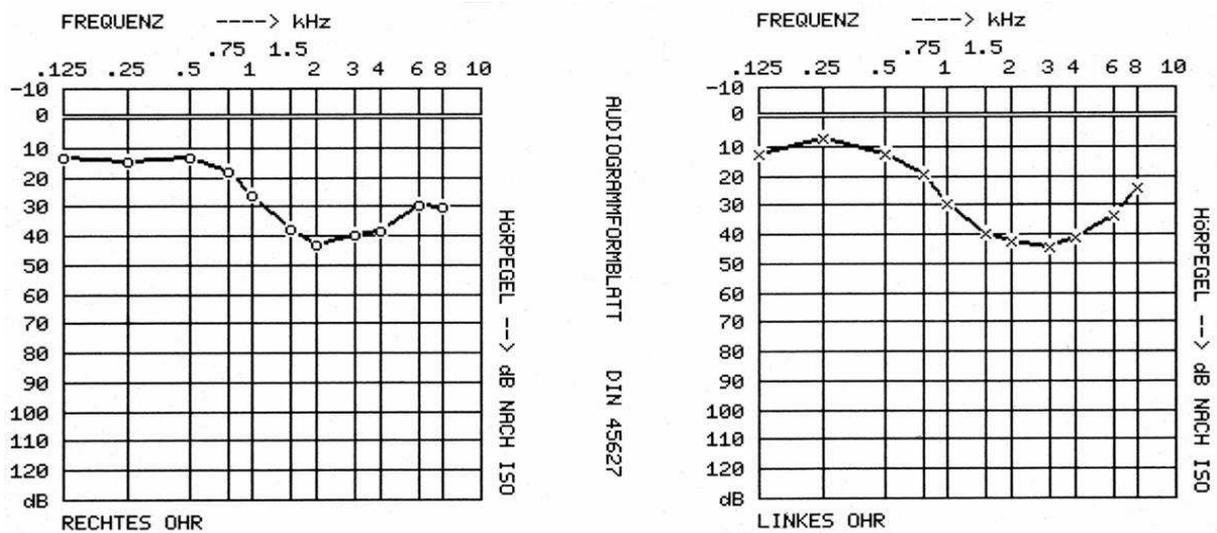


Abb. 2.12: Beispiel eines Tonschwellenaudiogrammes.

2.3.4. Statistische Testverfahren

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Programm SPSS (Version 14.0). Tabelle 2.1. gibt einen Überblick über angewandte statistische Methoden und Berechnungen in dieser Arbeit.

Statistische Testverfahren
Mittelwert-Berechnung
Standardabweichungsberechnung
Test auf Standardnormalverteilung
Signifikanztestung mit Chi-Quadrat-Test
Signifikanztestung mit T-Test
Korrelationskoeffizienten-Berechnung
Graphik-Erstellung

Tab. 2.1: Überblick über angewandte statistische Methoden und Berechnungen.

2.4. Messablauf

2.4.1. Neugeborene

Das Neugeborenen-Hörscreening wurde einerseits mittels Nachweis der ATEOAE mit dem Echo-Screen-Gerät (siehe Kapitel 2.2.1.) durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten bei 52 Jungen und 48 Mädchen im Kinderbettchen im Patientenzimmer der Mutter. Bei den frühgeborenen Kindern wurde nur bei 8 von 10 Kindern eine ATEOAE-Messung durchgeführt. Um das Risiko einer Falschmessung durch Störgeräusche zu reduzieren, wurden die Kinder untersucht während sie schliefen bzw. wach aber ruhig waren. Das ATEOAE-Hörscreening wurde noch während des Aufenthaltes in der Geburtsklinik nach den ersten 48 Lebensstunden, aber noch im Laufe des zweiten Lebenstages des Kindes durchgeführt. Dieses Vorgehen zeigte mehrere Vorteile. Zum einen konnten falsch positive Messergebnisse („fail“ trotz intakter Innenohrfunktion) durch eventuell vorhandene Fruchtwasserreste oder Vernix minimiert werden, da derartige Verlegungen des Gehörganges nach 48 Lebensstunden bekanntermaßen nur noch selten auftreten. Zum anderen waren die meisten Mütter am zweiten Lebenstag des Kindes noch in der Geburtsklinik, sodass die Screening-Untersuchung bei fast allen Neugeborenen durchgeführt werden konnte. Im Durchschnitt dauerte die Messung für beide Ohren insgesamt etwa fünf Minuten (inklusive der Zeit für eventuell notwendige Reinigung des Gehörganges).

Bei fehlender oder unzureichender ATEOAE-Antwort („fail“) wurde automatisch nach etwa drei Wochen eine weitere pädaudiologische Diagnostik zur Abklärung des Befundes angeschlossen. Abbildung 2.13. zeigt die Durchführung eine ATEOAE-Messung mit dem Echo-Screen-Gerät bei einem Neugeborenen auf dem Arm der Mutter.



Abb. 2.13: Neugeborenen-Hörscreening mit dem Echo-Screen-Gerät.

Andererseits wurden bei den hundert reifen Neugeborenen und bei den zehn frühgeborenen Kindern DPOAE-Audiogramme mit dem Cochlea-Scan-Gerät registriert (siehe Abb. 2.14. und 2.15.).



Abb. 2.14. und 2.15: Registrierung eines DPOAE-Audiogramms (Cochlea-Scan-Gerät) bei einem Frühgeborenen.

So wie bereits die ATEOAE wurden auch die DPOAE-Audiogramme bei schlafenden bzw. wachen ruhigen Babys im Kinderbettchen aufgenommen. Unterschiede zwischen den beiden Methoden ergaben sich jedoch beim Alter der Kinder zum Zeitpunkt der Messung.

Während die Echo-Screen-Untersuchung immer am zweiten Lebenstag der Kinder stattfinden konnte, erfolgte die Aufzeichnung der DPOAE-Audiogramme personaltechnisch bedingt bei den reifgeborenen Kindern zwischen dem ersten und dem dreizehnten Lebenstag. Die frühgeborenen Kinder wurden zwischen dem 4. und 31. Lebenstag mit dem Cochlea-Scan untersucht. Die Messzeit der DPOAE betrug für beide Ohren zusammen zwischen 15 und 20 Minuten, einschließlich der Zeit für die Kalibrierung des Gerätes zur Optimierung des SONDENSITZES im äußeren Gehörgang (siehe dazu auch „reine Messzeit“ – Kapitel 2.2.2.).

Bei auffälligem DPOAE-Audiogramm wurde mit den Eltern ein Kontrolltermin vereinbart und eine eventuell anschließende weiterführende pädaudiologische Diagnostik in die Wege geleitet (siehe auch Kapitel 3.1.4.).

2.4.2. Kleinkinder

Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt 148 Kinder in der pädaudiologischen Sprechstunde vorgestellt. Bei 97 Kindern konnte die Hörschwellenbestimmung mittels Tonschwellenaudiometrie erfolgen (siehe Abbildung 2.16.). Eine Freifeldaudiometrie musste bei insgesamt 51 Kleinkindern durchgeführt werden, da diese Kinder aufgrund ihres geringen Alters oder fehlender kognitiver Fähigkeiten noch nicht in der Lage waren, ihre Hörkurven in der Tonschwellenaudiometrie anzugeben. Bei diesem Verfahren wird das Hörvermögen verhaltensbeobachtend bewertet. Als Ergebnis der Freifeldaudiometrie erhält man sog. Reaktionsschwellen, die – wie schon angemerkt - keine Differenzierung zwischen den beiden Ohren erlauben (siehe dazu Kapitel 2.2.3.).



Abb. 2.16: Durchführung einer Tonschwellenaudiometrie bei einem kleinen Mädchen.

Im Anschluss an die Freifeld- bzw. Tonschwellenaudiometrie wurde bei jedem Kind zusätzlich ein DPOAE-Audiogramm erstellt. Bei einem Teil der Kinder wurde als ergänzende bzw. weiterführende Diagnostik eine ATEOAE-Untersuchung mit dem Echo-Screen durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1. Neugeborene

3.1.1. Reifgeborene Kinder

3.1.1.1. Neugeborenen-Hörscreening mit ATEOAE

Bei allen 100 getesteten Kindern konnten auf beiden Ohren Messdaten der Echo-Screen-Untersuchung erhoben werden. Die hundert rechten Ohren zeigten 94 „pass“-Messungen. Bei sechs rechten Ohren konnte keine TEOAE-Antwort des Innenohres nachgewiesen werden („fail“). Auf dem linken Ohr war die Anzahl der „fail“ gemessenen Ohren mit 13 Ohren mehr als doppelt so hoch als auf der Gegenseite, bei 87 Ohren konnten TEOAE nachgewiesen werden („pass“) (siehe Abb. 3.1.).

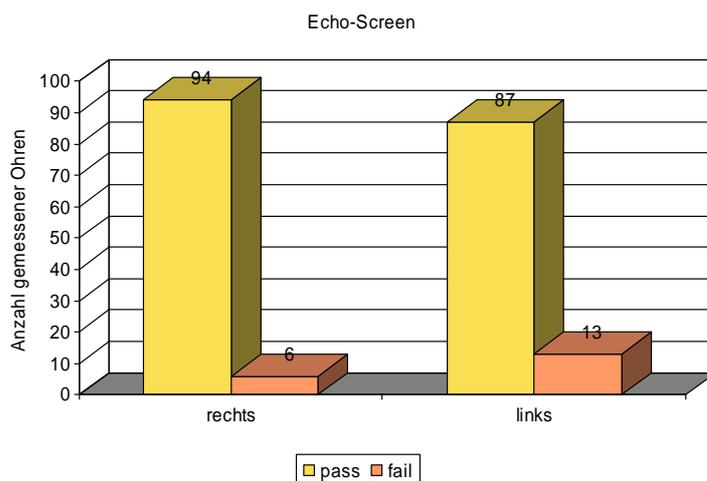


Abb. 3.1: Ergebnisse der Echo-Screen-Untersuchung für das rechte und linke Ohr getrennt; durchgeführt an jeweils hundert reifen Neugeborenen (200 Ohren) am zweiten Lebenstag.

3.1.1.2. Schätzung der Hörschwelle mittels DPOAE-Audiogrammen

Bei keiner der fünf Testfrequenzen konnten bei allen der 200 getesteten Ohren Messdaten gewonnen werden, da bedingt durch die relativ lange Messdauer von etwa 15 bis 20 Minuten einige Kinder im Verlauf der Untersuchung sehr unruhig wurden. Die im Cochlea-Scan-Gerät implementierten Algorithmen waren in der Lage, einen Teil der Störgeräusche (Nebengeräusche im Patientenzimmer der Mutter, unruhiges Kind, etc.) zu unterdrücken. Bei sehr unruhigen bzw. schreienden Kindern musste die Analyse jedoch abgebrochen werden, da

entweder ein luftdichter SONDENSITZ nicht mehr gewährleistet war bzw. die Störgeräusche nicht mehr unterdrückt werden konnten. Bei einem Kind wurde auf Wunsch der Eltern die Untersuchung aufgrund der langen Messdauer nur auf einem Ohr durchgeführt.

Bei ausbleibender DPOAE-Antwort wurde von einem Hörverlust größer als 50 dB ausgegangen (siehe Kapitel 1.4.3.). In Abbildung 3.2. und Tabelle 3.1. ist dargestellt, wie oft pro Frequenz eine DPOAE-Antwort aus dem Innenohr fehlte bzw. wie oft die geschätzte Hörschwelle oberhalb 50 dB lag. Bei den Frequenzen 2, 3, 4 und 6 kHz konnten bei 19-27% der Messungen keine DPOAE-Emissionen aufgezeichnet werden. Bei der Testfrequenz 1.5 kHz war der prozentuale Anteil mit beinahe 39% deutlich höher.

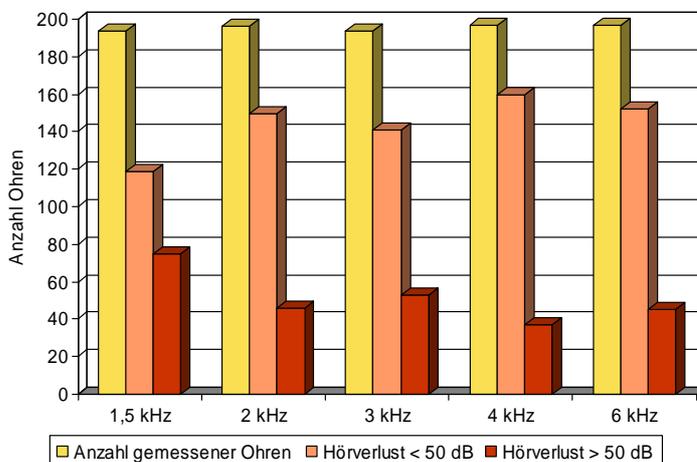


Abb. 3.2: Anzahl der getesteten Ohren mit einem geschätzten Hörverlust kleiner/ größer 50 dB.

Frequenz	Anzahl gemessener Ohren	Anzahl der Ohren mit einem geschätzten Hörverlust < 50 dB	Anzahl der Ohren mit einem geschätzten Hörverlust > 50 dB
1,5 kHz	194	119 (61,3%)	75 (38,7%)
2,0 kHz	196	150 (76,5%)	46 (23,5%)
3,0 kHz	194	141 (72,7%)	53 (27,3%)
4,0 kHz	197	160 (81,2%)	37 (18,8%)
6,0 kHz	197	152 (77,2%)	45 (22,8%)

Tab. 3.1: Anzahl der getesteten Ohren mit einem geschätzten Hörverlust kleiner/ größer 50 dB.

Der mit dem Cochlea-Scan geschätzte Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) lag im Mittel über alle Testfrequenzen auf beiden Ohren zwischen 10 und 20 dB (siehe Abb. 3.3.). Für die rechten Ohren lag die geschätzte Hörschwelle über alle Frequenzen durchschnittlich bei etwa 13 dB (10,3 - 15,2 dB), für die linken Ohren bei etwa 15 dB (11,5 - 18,2 dB). Der Hörverlust auf der rechten Seite war dabei im Durchschnitt um 2 dB niedriger als auf der Gegenseite. Die größte Differenz bestand bei der Testfrequenz 4 kHz. Der geschätzte Hörverlust auf dem linken Ohr war hier 4,8 dB größer als auf dem rechten Ohr. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Ohren bestand für alle Testfrequenzen jedoch nicht (Signifikanztest mit T-Test für unverbundene Stichproben und einem Signifikanzniveau von 5%). Die Mittelwerte und Standardabweichungen der geschätzten Hörverluste bei den fünf Testfrequenzen sind in Tabelle 3.2. niedergelegt.

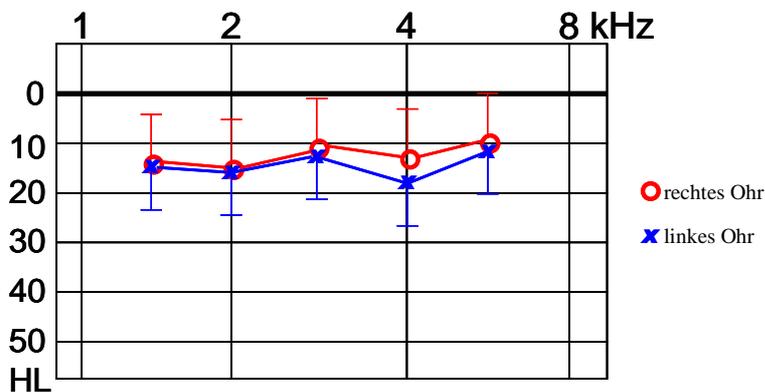


Abb. 3.3: Mittelwerte des geschätzten Hörverlustes für die Testfrequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 6 kHz ermittelt an hundert Neugeborenen.

	Frequenz	N	Mittelwert	Standardabweichung
rechte Ohren	1,5 kHz	61	13,13 dB	11,42 dB
	2,0 kHz	81	15,23 dB	11,31 dB
	3,0 kHz	75	11,44 dB	11,06 dB
	4,0 kHz	82	13,33 dB	11,33 dB
	6,0 kHz	81	10,31 dB	11,27 dB
linke Ohren	1,5 kHz	58	13,57 dB	13,83 dB
	2,0 kHz	69	16,96 dB	9,87 dB
	3,0 kHz	66	12,77 dB	10,75 dB
	4,0 kHz	78	18,15 dB	11,48 dB
	6,0 kHz	71	11,52 dB	11,10 dB

Tab. 3.2: Mittelwert und Standardabweichung des geschätzten Hörverlustes bei den Frequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 6 kHz; ermittelt an hundert Neugeborenen.

Bildet man vier Altersklassen (Alter der Kinder beträgt 1, 2, 3 und mehr als 3 Tage), so ergibt sich für die geschätzte Hörschwelle folgendes Bild. Der über alle fünf Frequenzen gemittelte Hörverlust lag bei den einen Tag alten Kindern über 15 dB. Waren die Kinder zwischen zwei und drei Tagen alt, so verbesserte sich der Hörverlust um etwa 1 dB auf etwa 14 dB. Die Hörschwelle betrug bei den Neugeborenen, die bereits älter als drei Tage waren, nur noch etwa 9 dB. In den ersten Lebenstagen änderte sich demnach die Hörschwelle um mehr als 5 dB (siehe Abb. 3.4.).

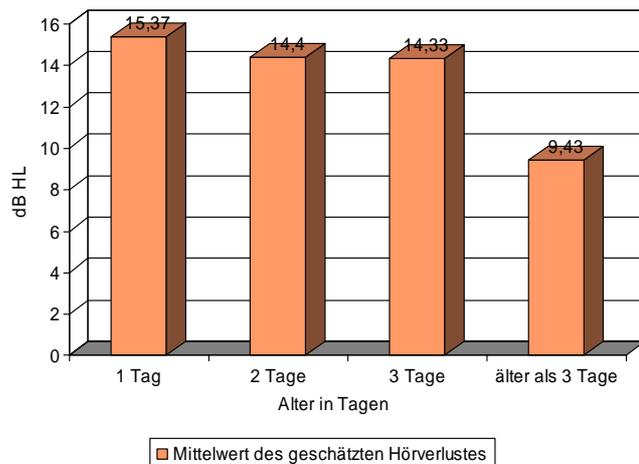


Abb. 3.4: Über alle fünf Testfrequenzen (1,5, 2, 3, 4 und 6 kHz) gemittelter geschätzter Hörverlust bei Neugeborenen, die einen, zwei, drei und mehr als drei Tage alt waren.

Der größte Unterschied bestand bei der Testfrequenz 1,5 kHz zwischen dem ersten Tag postpartum und nach dem dritten Tag nach der Geburt. Der geschätzte Hörverlust nahm von 17,2 dB auf 6,25 dB ab und besserte sich somit um mehr als 10 dB. Bei den anderen Frequenzen (2, 3, 4, und 6 kHz) nahm der geschätzte Hörverlust im gleichen Zeitraum nur um etwa 5 dB ab (siehe Abb. 3.5. und Tab. 3.3.).

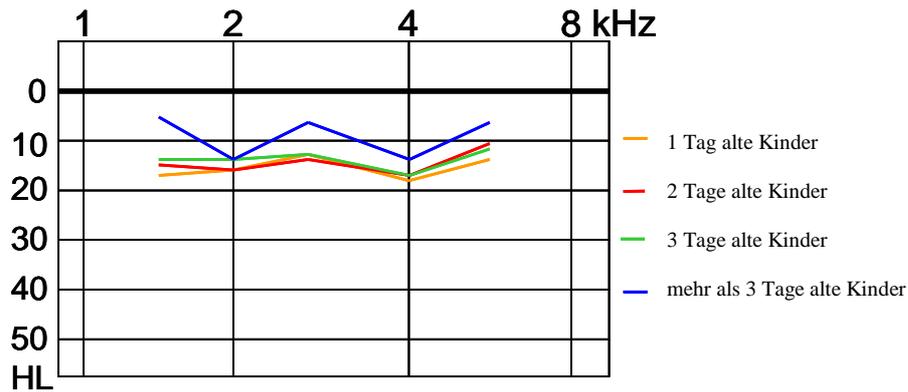


Abb. 3.5: Mittelwerte der geschätzten Hörverluste bei Neugeborenen, die einen, zwei, drei und mehr als drei Tag alt waren.

Alter	Frequenz	N	Mittelwert	Standardabweichung
1 Tag	1,5 kHz	14	17,20 dB	13,59 dB
	2,0 kHz	18	16,63 dB	11,65 dB
	3,0 kHz	15	12,00 dB	13,29 dB
	4,0 kHz	15	17,04 dB	11,70 dB
	6,0 kHz	17	14,00 dB	13,37 dB
2 Tage	1,5 kHz	30	14,32 dB	12,60 dB
	2,0 kHz	33	16,68 dB	10,92 dB
	3,0 kHz	32	14,22 dB	12,04 dB
	4,0 kHz	33	16,29 dB	10,89 dB
	6,0 kHz	33	10,47 dB	11,33 dB
3 Tage	1,5 kHz	18	13,14 dB	11,98 dB
	2,0 kHz	20	13,13 dB	10,46 dB
	3,0 kHz	21	12,24 dB	7,71 dB
	4,0 kHz	21	16,07 dB	10,05 dB
	6,0 kHz	21	11,81 dB	8,77 dB
> 3 Tage	1,5 kHz	15	6,25 dB	9,53 dB
	2,0 kHz	17	13,19 dB	11,13 dB
	3,0 kHz	16	7,57 dB	9,48 dB
	4,0 kHz	16	12,59 dB	12,74 dB
	6,0 kHz	16	7,57 dB	11,59 dB

Tab. 3.3: Mittelwert und Standardabweichung des geschätzten Hörverlustes bei den Frequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 6 kHz von hundert Neugeborenen unterteilt nach dem Alter der Kinder.

3.1.1.3. Korrelation zwischen ATEOAE und DPOAE-Audiogrammen

Bei der Echo-Screen-Messung waren von den insgesamt 100 Neugeborenen 19 Kinder (6 rechts/ 13 links) auffällig. Das heißt, dass der Test in diesen 19 Fällen eine „fail“-Antwort ergab. Bei 15 (4 rechts/ 11 links) dieser Neugeborenen konnten auch im Cochlea-Scan keine DPOAE nachgewiesen werden, was einen Hörverlust von mindestens 50 dB bedeutet (siehe Kapitel 1.4.3.). Bei insgesamt 3 Kindern (1 rechts/ 2 links) lag jedoch bei zwei der fünf Testfrequenzen eine valide DPOAE-Antwort im Cochlea-Scan vor (d.h. ein Hörverlust < 50 dB für die betreffende Frequenz). Bei einem Kind (rechtes Ohr) waren sogar bei allen fünf Frequenzen des Cochlea-Scans der Hörverlust kleiner 50 dB (d.h. trotz „fail“ beim TEOAE-Screening waren DPOAEs im gesamten Frequenzbereich nachweisbar). Siehe hierzu auch Abb. 3.6.

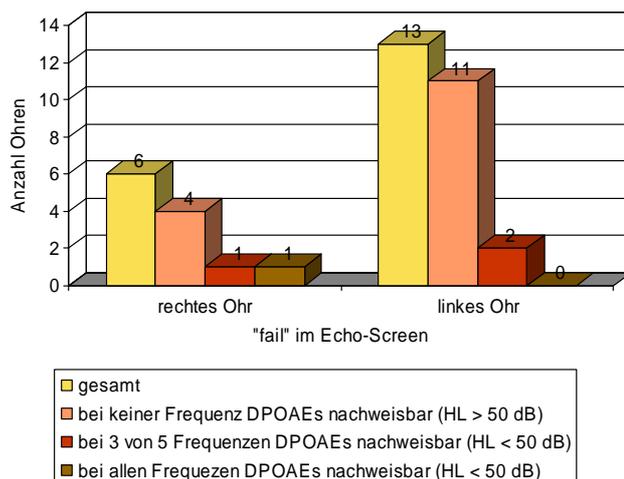


Abb. 3.6: Korrelation zwischen der Echo-Screen- und der Cochlea-Scan-Messung anhand 19 Ohren ohne TEOAE-Antwort im Echo-Screen.

Die Cochlea-Scan-Untersuchung wurde in einem Zeitrahmen von zwei Tagen vor bis drei Tage nach dem Echo-Screen durchgeführt. Bei der Cochlea-Scan-Untersuchung wurden bei insgesamt 30 Ohren (11 rechts/ 19 links) keinerlei DPOAE-Antwort festgestellt, der Hörverlust war demnach bei allen fünf Testfrequenzen größer 50 dB.

Eine entsprechende „fail“-Messung im Echo-Screen fand sich auf der rechten Seite bei 63,6% (7 von 11), auf der linken nur bei 57,9% (11 von 19) der untersuchten Ohren. Parallel dazu korrespondierte das Echo-Screen in 36,4% (4 von 11 auf dem rechten Ohr) bzw. 42,1% (8 von 19 auf dem linken Ohr) nicht mit dem Cochlea-Scan, d.h. „pass“-Messung obwohl der Hörverlust in allen fünf Frequenzen größer 50 dB betrug (siehe Abb. 3.7.).

Als mögliche Ursachen für diese Diskrepanz kommen mehrere Dinge in Frage. Zum einen erfolgten die Messungen der TEOAE und DPOAE meist an unterschiedlichen Tagen. Die andere Möglichkeit ist, dass eine der beiden Messmethoden falsche Ergebnisse lieferte.

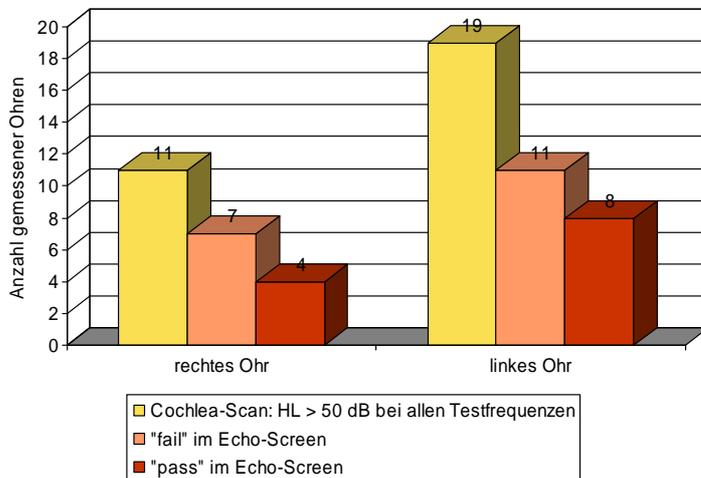


Abb. 3.7: Korrelation zwischen der Cochlea-Scan- und der Echo-Screen-Messung, anhand 30 Ohren mit Hörverlusten über 50 dB in allen Testfrequenzen im Cochlea-Scan.

3.1.1.4. Kontrollen

Die 15 Neugeborenen, die im Echo-Screen „fail“ gemessen wurden (6 rechte und 13 linke Ohren), erhielten alle eine Wiederholungsmessung mit dem Echo-Screen (Nachverfolgung 100%). Bei einem Teil der Kinder konnte diese zweite Untersuchung noch während des Klinikaufenthaltes durchgeführt werden. Falls dies nicht möglich war, wurden die Eltern aufgefordert, ihr Kind in die pädaudiologische Sprechstunde vorzustellen. War die Kontrolle erneut ohne positives Ergebnis, so wurde eine weiterführende pädaudiologische Diagnostik in die Wege geleitet (z.B. Tympanometrie, Messung der Hirnstammpotentiale mittels BERA).

Bei der DPOAE-Messung mit dem Cochlea-Scan-Gerät fielen zusätzlich 36 Neugeborene mit auffälligen kontrollbedürftigen DPOAE-Audiogrammen auf. Als kontrollbedürftig wurden diejenigen DPOAE-Audiogramme gewertet, bei denen bei mindestens zwei Testfrequenzen keine DPOAEs nachweisbar waren, oder ein Hörverlust größer 30 dB in allen Frequenzen auffiel. Bei Kindern, die einen Hörverlust in nur einem Frequenzbereich (tief-, mittel-, oder hochfrequent) aufwiesen, wurde ebenfalls eine Kontrolluntersuchung mit dem Cochlea-Scan veranlasst.

Jedoch wurde nur bei 25 dieser Kinder tatsächlich ein zweites DPOAE-Audiogramm erstellt, da ein Teil der Eltern einer Kontrolle mit dem Cochlea-Scan nicht zustimmten. Zum Zeitpunkt der Kontrolluntersuchung waren die Kinder im Durchschnitt 50 Tage alt.

Für weiterführende Informationen zu diesem Thema sei hier auf die Dissertation von Florian Langhammer (2009) verwiesen.

3.1.1.5. Fallbeispiele

Der erste Fall zeigt das DPOAE-Audiogramm eines zwei Tage alten Jungen (Abb. 3.8.). Die geschätzte Hörschwelle war für beide Ohren etwa gleich. Entsprechend einem Normalbefund lag der geschätzte Hörverlust für beide Ohren zwischen -3 und 15 dB. Die am gleichen Tag durchgeführte ATEOAE-Messung ergab ebenfalls keinen Anhalt für eine Hörstörung („pass“).

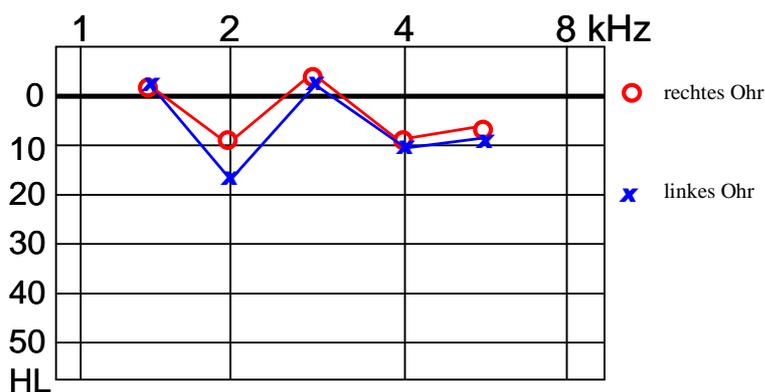


Abb. 3.8: DPOAE-Audiogramm eines normalhörenden zwei Tage alten Jungen.

Das zweite Beispiel stammt von einem Jungen, der zum Untersuchungszeitpunkt mit dem Cochlea-Scan einen Tag alt war (Abb. 3.9.). Das Cochlea-Scan-Gerät konnte weder auf dem rechten, noch auf dem linken Ohr bei den fünf Testfrequenzen DPOAE nachweisen. Der geschätzte Hörverlust für alle Frequenzen betrug somit mindestens 50 dB. Auch die Messung der ATEOAE am folgenden Tag ergab ein „fail“ bei beiden Ohren. Bei diesem Jungen wurde eine Kontrolluntersuchung in der pädaudiologischen Sprechstunde veranlasst.

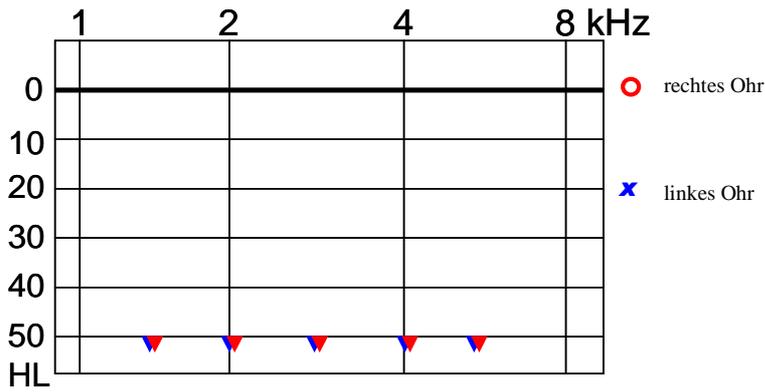


Abb. 3.9: DPOAE-Audiogramm eines einen Tag alten Jungen. (Anmerkung ▼ zeigt an, dass keine DPOAEs gemessen werden konnten, d.h. HL > 50 dB; siehe hierzu auch Kapitel 2.2.2.)

Das in Abbildung 3.10. abgebildete DPOAE-Audiogramm stammt von einem zwei Tage alten Jungen. Obwohl die Echo-Screen-Untersuchung, die direkt vor der DPOAE-Messung stattfand ein „pass“ ergab, zeigte sich im DPOAE-Audiogramm dennoch ein erheblicher Hörverlust auf beiden Ohren. Bei den Testfrequenzen 1.5 und 6 kHz wurde der Hörverlust auf dem rechten Ohr auf 40 dB geschätzt. Bei 3 und 4 kHz war das Hörvermögen auf dem rechten Ohr normal. Auf dem linken Ohr bestand ein Hörverlust von mindestens 25 dB für alle Frequenzen. Bei 4 und 6 kHz lag sogar ein geschätzter Hörverlust von mindestens 50 dB vor. Wäre bei diesem Jungen kein DPOAE-Audiogramm erstellt worden, so wäre der Hörverlust unentdeckt geblieben und möglicherweise erst durch eine verzögerte Sprachentwicklung aufgefallen.

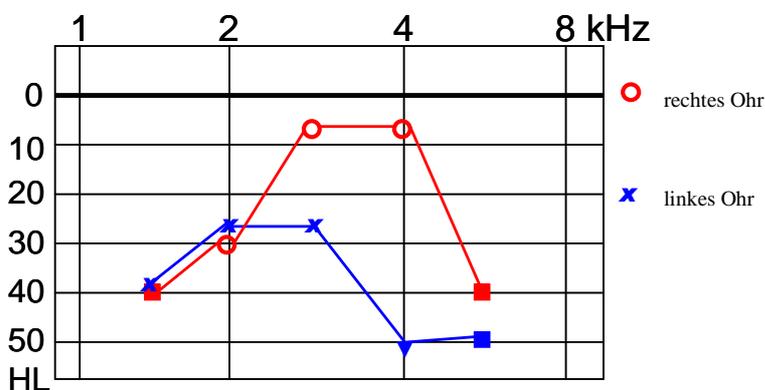


Abb. 3.10: DPOAE-Audiogramm eines zwei Tage alten Jungen (Echo-Screen „pass“); (Anmerkung: ■ zeigt an, dass nur eine vereinfachte Hörschwellschätzung durchgeführt werden konnte; d. h. HL = $L_{2\text{ mic}} - 15\text{ dB}$, siehe hierzu Kapitel 2.2.2.)

Das letzte Beispiel stammt von einem zwei Tage alten Jungen mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte (Abb. 3.11.). Auch bei diesem Kind ergab die ATEOAE–Untersuchung eine „pass“-Antwort. Das DPOAE-Audiogramm zeigte für beide Ohren einen von den tiefen zu den hohen Frequenzen zunehmenden Hörverlust. Die geschätzte Hörschwelle lag bei beiden Ohren bei 1.5 kHz bei 15 dB. Bei 4 kHz war auf beiden Seiten ein Hörverlust von 43 dB zu erkennen. Auf dem rechten Ohr betrug der geschätzte Hörverlust bei 6 kHz 30 dB.

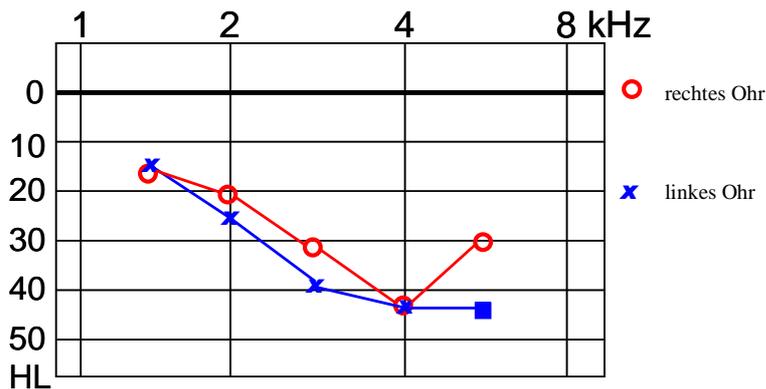


Abb. 3.11: DPOAE-Audiogramm eines 2 Tage alten Jungen mit Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalte.

3.1.2. Frühgeborene Kinder

3.1.2.1. Neugeborenen-Hörscreening mit ATEOAE

Von den 10 untersuchten frühgeborenen Kindern erhielten nur 8 eine TEOAE-Messung (16 Ohren). Die 8 rechten Ohren zeigten 5 „pass“-Messungen. Drei rechte Ohren zeigten hingegen keine ATEOAE-Antowrt („fail“). Auf dem linken Ohr lag die Anzahl der „pass“ gemessenen Ohren bei 6. Bei 2 linken Ohren konnte jedoch kein positiver TEOAE-Nachweis erbracht werden („fail“) (siehe Abb. 3.12.).

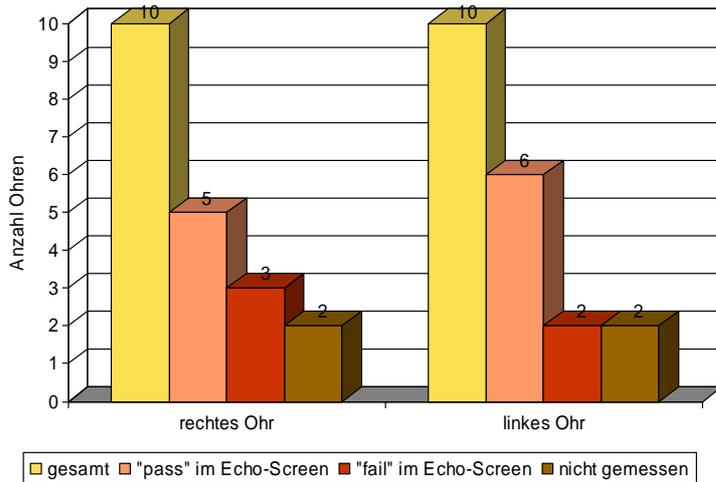


Abb. 3.12: Ergebnisse der Echo-Screen-Untersuchung für das rechte und linke Ohr getrennt; durchgeführt an jeweils acht Frühgeborenen (16 Ohren).

3.1.2.2. Schätzung der Hörschwelle mit DPOAE-Audiogrammen

Abbildung 3.13. und Tabelle 3.4. zeigen die Häufigkeitsverteilung der DPOAE-Testergebnisse geschätzter Hörverluste. Über die Testfrequenzen gesehen, können 75 - 85% valide DPOAE registriert werden. Diese Zahlen gleichen in etwa den Ergebnissen bei den reifgeborenen Kindern (siehe Kapitel 3.1.1.2: Abbildung 3.2. und Tabelle 3.1.).

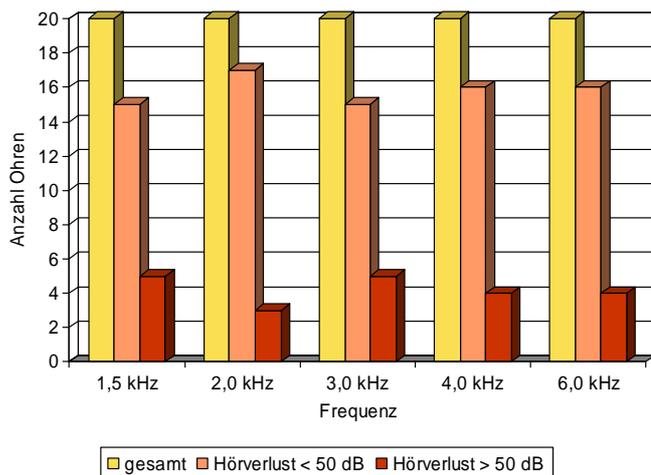


Abb. 3.13: Anzahl der getesteten Ohren mit einem geschätzten Hörverlust kleiner/ größer 50 dB.

Frequenz	Anzahl gemessener Ohren	Anzahl der Ohren mit einem geschätzten Hörverlust < 50 dB	Anzahl der Ohren mit einem geschätzten Hörverlust > 50 dB
1,5 kHz	20	15 (75%)	5 (25%)
2,0 kHz	20	17 (85%)	13 (15%)
3,0 kHz	20	15 (75%)	5 (25%)
4,0 kHz	20	16 (80%)	4 (20%)
6,0 kHz	20	16 (80%)	4 (20%)

Tab. 3.4: Anzahl der getesteten Ohren mit einem geschätzten Hörverlust kleiner/ größer 50 dB.

Für die 10 frühgeborenen Kinder lag die geschätzte Hörschwelle im DPOAE-Audiogramm im Mittel über alle Testfrequenzen auf dem rechten Ohr bei etwa 10 dB (3,6 - 19,5 dB), für die linken Ohren durchschnittlich bei etwa 13 dB (8,6 - 21,6 dB). Die Hörkurven für beide Ohren glichen einander (siehe Abbildung 3.14.). Auffällig war jedoch, dass auf beiden Ohren der Hörverlust bei der Testfrequenz 1.5 kHz am größten war und bei etwa 20 dB lag. Die größten Differenzen zwischen den beiden Ohren bestanden bei den Testfrequenzen 2 und 6 kHz. Der geschätzte Hörverlust war in diesen Fällen auf dem rechten Ohr um 7 - 9 dB geringer als auf dem linken Ohr. Dieser Unterschied war nicht signifikant (Signifikanztest mit T-Test für unverbundene Stichproben und einem Signifikanzniveau von 5%). Die Mittelwerte und Standardabweichungen der geschätzten Hörverluste bei den fünf Testfrequenzen sind in Tabelle 3.5. niedergelegt.

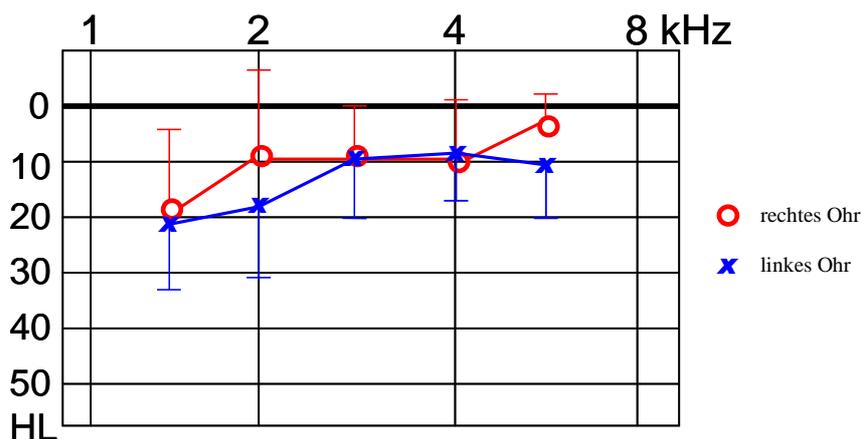


Abb. 3.14: Mittelwerte des geschätzten Hörverlustes für die Testfrequenzen 1.5; 2; 3; 4 und 6 kHz bei 10 frühgeborenen Kindern.

	Frequenz	N	Mittelwert	Standardabweichung
rechte Ohren	1,5 kHz	8	19,50 dB	17,50 dB
	2,0 kHz	9	8,33 dB	11,56 dB
	3,0 kHz	8	9,38 dB	10,19 dB
	4,0 kHz	9	10,33 dB	11,27 dB
	6,0 kHz	9	3,56 dB	6,82 dB
linke Ohren	1,5 kHz	7	21,57 dB	13,87 dB
	2,0 kHz	7	17,13 dB	13,24 dB
	3,0 kHz	7	9,14 dB	10,06 dB
	4,0 kHz	7	8,57 dB	8,81 dB
	6,0 kHz	7	10,14 dB	13,26 dB

Tab. 3.5: Mittelwert und Standardabweichung des geschätzten Hörverlustes bei den Frequenzen 1.5, 2, 3, 4 und 6 kHz; bei zehn frühgeborenen Kindern.

3.1.2.3. Korrelation zwischen ATEOAE und DPOAE-Audiogrammen

Von den 8 mit dem Echo-Screen getesteten frühgeborenen Kindern (16 Ohren), zeigten 5 Ohren (3 rechts/ 2 links) keine TEOAE-Antwort („fail“). Jedoch war auf einem der beiden „fail“ gemessenen rechten Ohren trotz ausbleibenden TEOAE, DPOAE nachweisbar und somit der geschätzte Hörverlust kleiner 50 dB. Bei den zwei weiteren rechten Ohren, die bereits im Echo-Screen-Test auffällig waren, konnten auch bei keiner der fünf Testfrequenzen DPOAE festgestellt werden. Bei diesen beiden Kindern lag der geschätzte Hörverlust auf dem rechten Ohr bei mindestens 50 dB. Auf der linken Seite ergaben zwei Ohren eine TEOAE-„fail“-Antwort, jedoch konnte dieser Befund nur bei einem dieser beiden Ohren im DPOAE-Audiogramm bestätigt werden (bei keiner Testfrequenz DPOAE nachweisbar und somit ein geschätzter Hörverlust größer 50 dB). Das zweite linke Ohr, bei dem keine TEOAE messbar waren, zeigte jedoch im DPOAE-Audiogramm bei allen Testfrequenzen einen Hörverlust kleiner 50 dB. Siehe hierzu Abbildung 3.15.

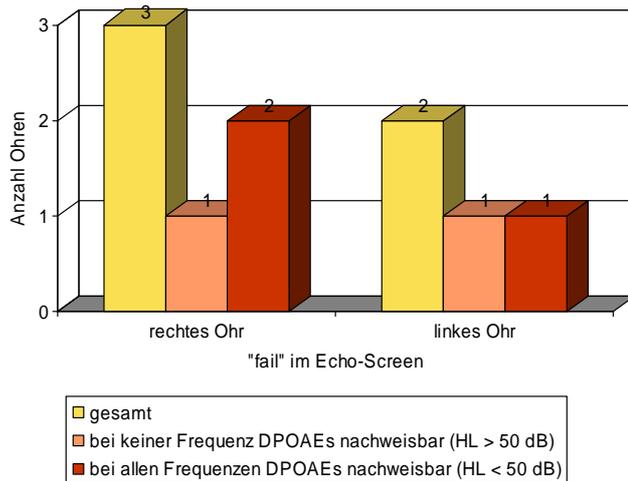


Abb. 3.15: Korrelation zwischen der Echo-Screen- und der Cochlea-Scan-Messung anhand 5 Ohren ohne TEOAE-Antwort im Echo-Screen.

Anders als bei den reifen Neugeborenen wurde die Echo-Screen-Untersuchung nicht am zweiten Lebenstag der Kinder durchgeführt, sondern erst dann, wenn der klinische Zustand des Kindes stabil war. Um die Kinder nicht zu sehr mit Tests zu belasten, wurde das DPOAE-Audiogramm an einem anderen Tag erstellt als die TEOAE-Messung. Insgesamt bei 3 Ohren (1 rechts/ 2 links) waren keine DPOAE nachweisbar. Bei einem 31 Tage alten frühgeborenen Kind konnten weder auf dem rechten noch auf dem linken Ohr DPOAE registriert werden. Jedoch ergab das Echo-Screen auf dem linken Ohr einige Tage später eine „pass“-Antwort. Eine entsprechende „fail“-Messung zum geschätzten Hörverlust größer 50 dB ergab sich auf dem linken Ohr eines 4 Tage alten frühgeborenen Mädchens (siehe Abbildung 3.16.).

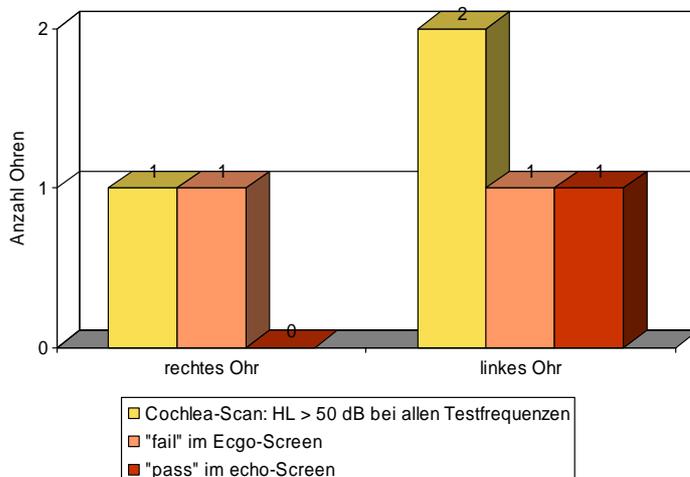


Abb. 3.16: Korrelation zwischen der Cochlea-Scan- und der Echo-Screen-Messung, anhand 30 Ohren mit Hörverlusten über 50 dB in allen Testfrequenzen im Cochlea-Scan.

3.1.2.4. Kontrollen

Alle frühgeborenen Kinder erhielten noch während des stationären Aufenthaltes Kontrolluntersuchungen mit dem Echo-Screen, falls initial keine TEOAE nachweisbar waren. Wenn die Wiederholungsmessungen immer noch eine „fail“-Antwort ergaben, so wurde mit den Eltern ein Kontrolltermin in der pädaudiologischen Sprechstunde vereinbart und eine weiterführende Diagnostik in die Wege geleitet.

Bei den zwei Kindern (3 Ohren, siehe Abb. 3.16.), die im DPOAE-Audiogramm einen Hörverlust von über 50 dB aufwiesen, lehnten die Eltern eine Kontrolluntersuchung mit dem Cochlea-Scan ab.

Da frühgeborene Kinder als Hochrisikogruppe für einen möglichen Hörverlust gelten, wurde allen Eltern ans Herz gelegt, regelmäßige pädaudiologische Kontrollen bei ihrem Kind durchführen zu lassen.

3.1.2.5. Fallbeispiele

In Abbildung 3.17. ist das DPOAE-Audiogramm eines 4 Tage alten frühgeborenen Jungen zu sehen. Es zeigte sich auf dem rechten Ohr ein Hörverlust im unteren Frequenzbereich (1.5 kHz) von 45 dB. Im mittleren Frequenzbereich, bei 2, 3, und 4 kHz, lag der Hörverlust bei etwa 20 dB, bei 6 kHz bei 2 dB. Auf dem linken Ohr zeigte sich ein Hörverlust zwischen 10 und 20 dB bei allen fünf Testfrequenzen. Die Echo-Screen-Untersuchung, die einen Tag vor der Registrierung der DPOAE stattfand, konnten auf beiden Seiten keine TEOAE nachweisen („fail“).

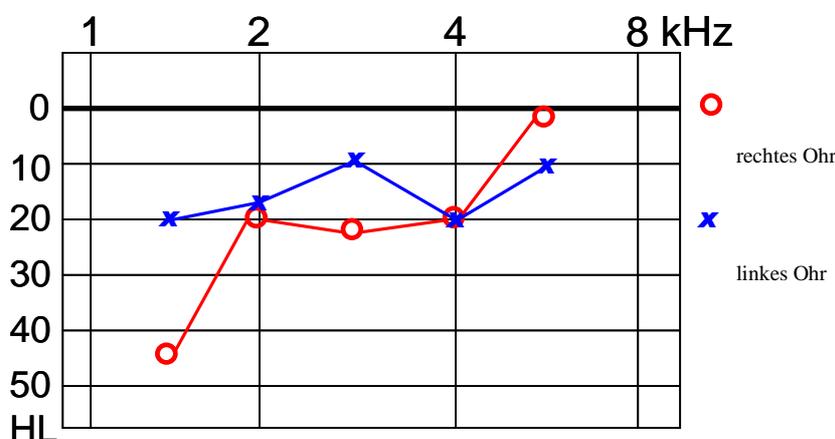


Abb. 3.17: DPOAE-Audiogramm eines vier Tage alten frühgeborenen Jungen.

3.2. Kleinkinder

3.2.1. Kinder mit Freifeldaudiometrie

3.2.1.1. ATEOAE

In der pädaudiologischen Ambulanz wurde bei 36 der insgesamt 51 Kleinkinder, die eine Freifeldaudiometrie erhielten, eine TEOAE-Messung mit dem Echo-Screen durchgeführt. Jedes Kind zeigte gleiche Befunde auf beiden Ohren, d.h. entweder auf beiden Ohren eine „pass“- oder ein „fail“-Antwort. Bei 19 Kindern (56%) konnten TEOAE-Antworten („pass“) auf beiden Ohren registriert werden, bei 15 (44%) Kindern nicht („fail“) (siehe Abb. 3.18.).

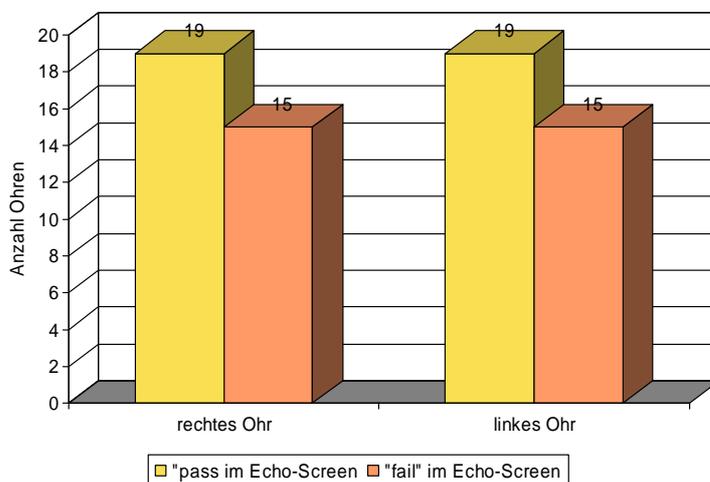


Abb. 3.18: Ergebnisse der Echo-Screen-Untersuchung für das rechte und linke Ohr getrennt; durchgeführt an jeweils 34 Kleinkindern (68 Ohren) in der pädaudiologischen Sprechstunde.

3.2.1.2. Bestimmung des Hörverlustes mit Freifeldaudiometrie und DPOAE

Anders als beim Neugeborenen-Hörscreening waren in der pädaudiologischen Ambulanz sowohl in der Freifeld- und Tonschwellenaudiometrie, als auch im DPOAE-Audiogramm, die Testfrequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 5 kHz (5 anstatt 6 kHz).

Nachdem das DPOAE-Audiogramm den Hörverlust nur bis 50 dB angeben kann, wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit sowohl in der Freifeld-, als auch in der Tonschwellenaudiometrie ebenfalls nur Werte bis zu einem maximalen Hörverlust von 50 dB bei der Auswertung der Daten berücksichtigt. Das heißt, Kinder mit einem Hörverlust über 50 dB wurden in den Berechnungen nicht berücksichtigt. In der Freifeldaudiometrie konnten je nach Testperson 61% der erhobenen Daten verwendet werden ($HL < 50$ dB). Bei den DPOAE-

Audiogrammen konnten zwischen 31 und 67% der erhobenen Daten in den Berechnungen berücksichtigt werden. Genauere Informationen darüber, wie oft pro Frequenz ein Hörverlust kleiner 50 dB auftrat, liefern Abb. 3.19. und Tab. 3.6. (Anmerkung: Bei der Freifeldaudiometrie ist – wie bereits erwähnt - eine Differenzierung zwischen rechten und linkem Ohr nicht möglich. Die Anzahl bezieht sich daher auf die Zahl der untersuchten Kinder. Bei der Erstellung der DPOAE-Audiogramme bezieht sich die Anzahl jedoch auf die Zahl der untersuchten Ohren).

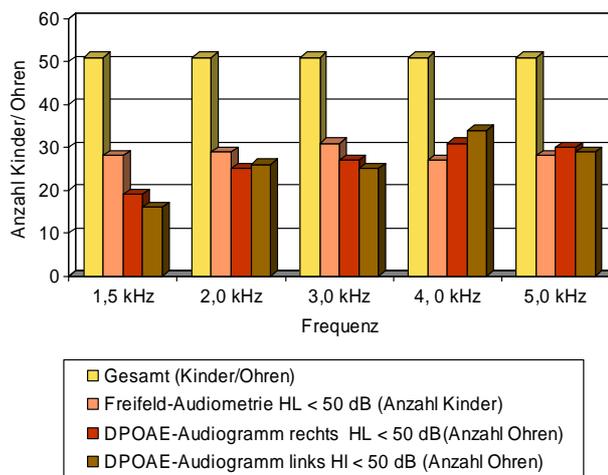


Abb. 3.19: Anzahl der getesteten Kinder/ Ohren mit einem geschätzten Hörverlust kleiner 50 dB.

Anzahl Kinder/ Ohren	gesamt	1,5 kHz	2,0 kHz	3,0 kHz	4,0 kHz	5,0 kHz
Freifeld-Audiometrie < 50 dB (Kinder)	51	28 (55%)	29 (57%)	31 (61%)	27 (53%)	28 (55%)
DPOAE-Audiogramm rechts < 50 dB (Ohren)	51	19 (37%)	25 (49%)	27 (53%)	31 (61%)	30 (59%)
DPOAE-Audiogramm links < 50 dB (Ohren)	51	16 (31%)	26 (51%)	25 (49%)	34 (67%)	29 (39%)

Tab. 3.64: Anzahl der getesteten Kinder/ Ohren mit einem geschätzten Hörverlust kleiner 50 dB.

Die in der Freifeldaudiometrie ermittelte Reaktionsschwelle an den 36 Jungen und 15 Mädchen lag im gesamten Frequenzbereich (1,5, 2, 3, 4 und 5 kHz) zwischen 27 und 30 dB. Der mit dem Cochlea-Scan geschätzte Hörverlust lag im Mittel für beide Ohren über alle Frequenzen zwischen 6 und 12 dB. Im Mittel über alle Frequenzen betrug der Unterschied etwa 20 dB. Die Hörschwellen für das linke Ohr lagen im Durchschnitt 1,5 dB oberhalb der Ergebnisse für das Gegenohr. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Ohren konnte jedoch nicht festgestellt werden (T-Test).

Mittelwerte und Standardabweichungen des mittels Freifeldaudiometrie und DPOAE-Audiogramm geschätzten Hörverlustes zeigen Abbildung 3.20. und Tabelle 3.7.

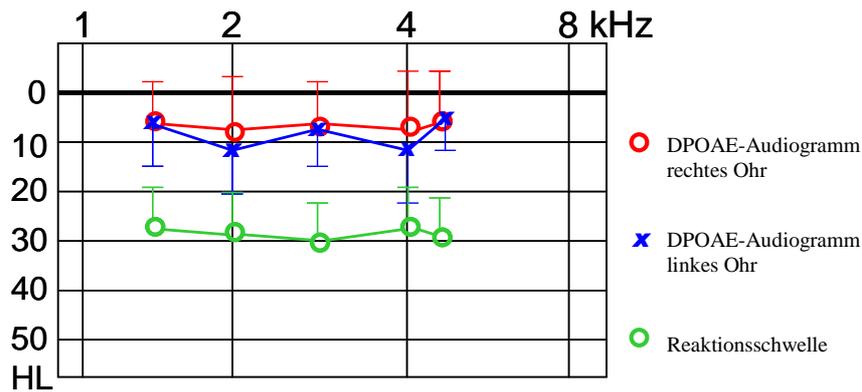


Abb. 3.20: Mittelwerte und Standardabweichungen des geschätzten Hörverlustes in der Freifeldaudiometrie (Reaktionsschwelle) und im DPOAE-Audiogramm jeweils für die Testfrequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 5 kHz.

	Frequenz	Anzahl Ohren	Mittelwert	Standardabweichung
Cochlea-Scan rechtes Ohr	1,5 kHz	19	6,32 dB	8,87 dB
	2,0 kHz	25	8,68 dB	12,50 dB
	3,0 kHz	27	6,93 dB	8,95 dB
	4,0 kHz	31	7,65 dB	11,88 dB
	5,0 kHz	30	6,50 dB	9,00 dB
Cochlea-Scan linkes Ohr	1,5 kHz	16	6,50 dB	10,73 dB
	2,0 kHz	26	11,92 dB	10,81 dB
	3,0 kHz	25	8,16 dB	7,08 dB
	4,0 kHz	34	11,24 dB	13,38 dB
	5,0 kHz	29	5,90 dB	6,54 dB
Reaktionsschwelle	1,5 kHz	56	27,50 dB	7,39 dB
	2,0 kHz	58	28,45 dB	8,67 dB
	3,0 kHz	62	30,00 dB	9,22 dB
	4,0 kHz	54	27,59 dB	7,12 dB
	5,0 kHz	56	28,39 dB	8,06 dB

Tab. 3.7: Mittelwerte und Standardabweichungen des geschätzten Hörverlustes für 51 Kinder bei den Testfrequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 5 kHz ermittelt mittels Freifeldaudiometrie (Reaktionsschwelle) und Cochlea-Scan (DPOAE-Audiogramm).

Unterteilt man die Kinder in fünf Altersgruppen, stellt man fest, dass die Reaktionsschwellen für Kinder bis zu einem Alter von zwei Jahren bei etwa 41 dB lagen. Die niedrigsten Schwellen mit im Mittel von 25 dB zeigten sich in der Altersgruppe der Zwei- bis Dreijährigen. Mit zunehmendem Alter stieg die Reaktionsschwelle auf etwa 32 dB an.

Die mit dem Cochlea-Scan ermittelten Schwellen lagen über alle Frequenzen im Mittel bei 25 dB und waren somit niedriger als die, mit der Freifeldaudiometrie ermittelten, Reaktionsschwellen. Bei Kindern bis zu einem Alter von zwei Jahren lag die geschätzte Schwelle bei etwa 11 dB, bei zwei- bis dreijährigen Kindern bei 5 dB. Bei ältern Kindern lag die geschätzte Schwelle im Mittel bei 8 bzw. 9 dB (siehe Abb. 3.21.).

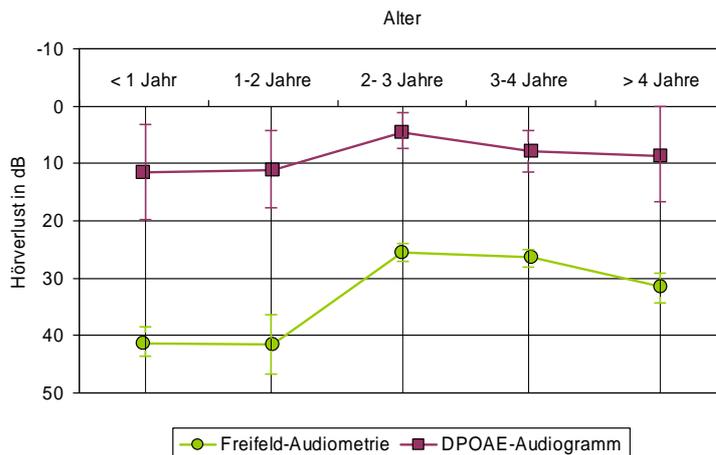


Abb. 3.21: geschätzter Hörverlust im DPOAE-Audiogramm (Cochlea-Scan) und Reaktionsschwelle (Freifeldaudiometrie) gemittelt über alle Frequenzen in fünf Altersgruppen.

In Tabelle 3.8. sind Mittelwert und Standardabweichung des geschätzten Hörverlustes (DPOAE-Audiogramm) und der Reaktionsschwelle (Freifeldaudiometrie) über alle Frequenzen in fünf Altersgruppen (< 1 Jahr, 1 - 2 Jahre, 2 - 3 Jahre, 3 - 4 Jahre und > 4 Jahre alt) niedergelegt.

	Alter	N	Mittelwert	Standardabweichung
Reaktionsschwelle	< 1 Jahr	5	41,33 dB	1,82 dB
	1 - 2 Jahre	3	41,67 dB	5,77 dB
	2 - 3 Jahre	5	25,54 dB	0,44 dB
	3 - 4 Jahre	5	26,35 dB	0,99 dB
	> 4 Jahre	5	31,55 dB	1,47 dB
DPOAE-Audiogramm	< 1 Jahr	10	11,58 dB	7,99 dB
	1 - 2 Jahre	6	11,10 dB	5,83 dB
	2 - 3 Jahre	10	4,67 dB	3,00 dB
	3 - 4 Jahre	10	7,97 dB	2,71 dB
	> 4 Jahre	10	8,97 dB	7,41 dB

Tab. 3.8: Mittelwert und Standardabweichung des über alle Frequenzen mittleren geschätzten Hörverlusts bei Kindern in fünf Altersgruppen.

3.2.1.3. Korrelation zwischen Reaktionsschwelle und DPOAE-Schwelle

Abbildung 3.22. stellt den Zusammenhang der in der Freifeldaudiometrie subjektiv ermittelten Reaktionsschwelle mit dem geschätzten Hörverlust aus dem DPOAE-Audiogramm dar. Der Korrelationskoeffizient von 0,008 zeigt, dass zwischen diesen beiden Messwerten keine Wechselbeziehung bestand. Eine hohe Reaktionsschwelle in der Freifeldaudiometrie bedeutete demnach nicht, dass auch der im DPOAE-Audiogramm geschätzte Hörverlust dementsprechend groß war.

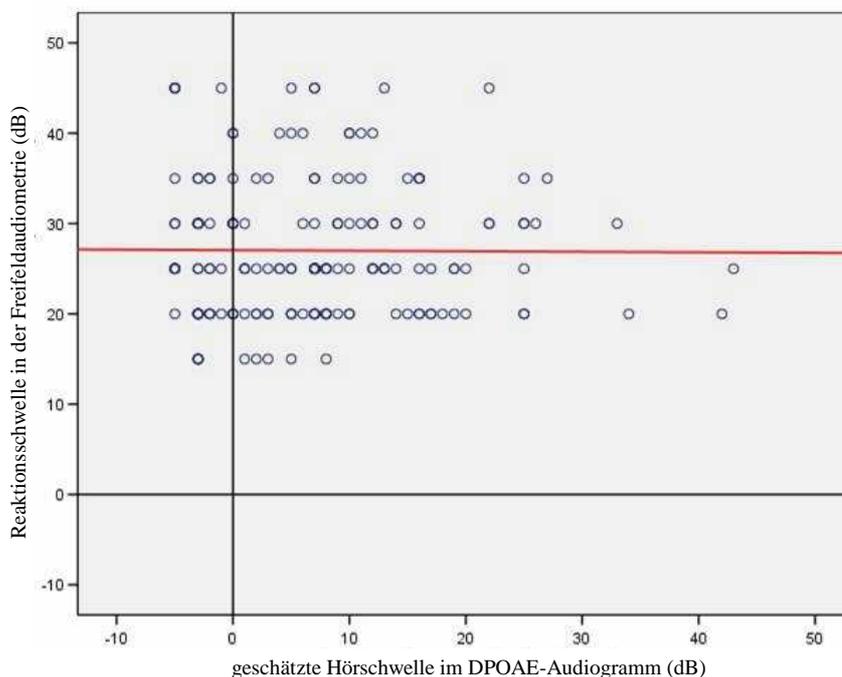


Abb. 3.22: Korrelation zwischen der Reaktionsschwelle der Kinder und dem im DPOAE-Audiogramm (Cochlea-Scan) geschätzten Hörverlust.

Je älter die Kinder waren, desto geringer war der Unterschied zwischen der in der Freifeldaudiometrie und der mit dem DPOAE-Audiogramm ermittelten Schwelle. Die Differenz der beiden Schwellen nahm mit zunehmendem Alter der Kinder ab. Betrag der Unterschied bei den sechs Monate alten Kindern noch etwa 50 dB, so wichen die Werte bei dem Vierjährigen nur noch knapp 20 dB voneinander ab. Eine weitere Angleichung der beiden Werte war allerdings nicht zu beobachten. Abbildung 3.23. zeigt die Differenz aus Reaktionsschwelle (Freifeldaudiometrie) und geschätzter Hörschwelle (DPOAE-Audiogramm) in Abhängigkeit zum Alter der Kinder.

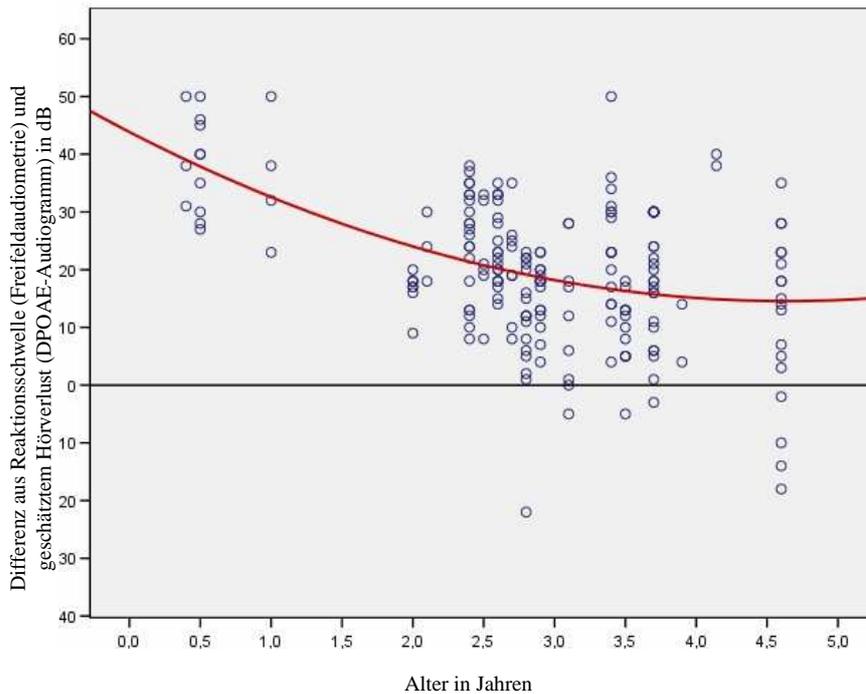


Abb. 3.23: Differenz aus Reaktionsschwelle(Freifeldaudiometrie) und geschätztem Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) in Abhängigkeit zum Alter der Kinder.

3.2.1.4. Fallbeispiele

Das erste Beispiel (Abbildung 3.24.) zeigt die Reaktionsschwelle aus der Freifeldaudiometrie und die geschätzte Hörschwelle aus dem DPOAE-Audiogramm bei einem 2,2 Jahre alten Mädchen. Das kleine Mädchen gab in der Freifeldaudiometrie bei allen fünf Testfrequenzen (1,5, 2, 3, 4 und 5 kHz) einen Hörverlust von 30 dB an. Die mit dem DPOAE-Audiogramm ermittelte Schwelle lag jedoch auf beiden Ohren zwischen 0 und 10 dB und gibt damit Hinweis auf eine normale cochleäre Funktion. Das Beispiel zeigt den Vorteil des DPOAE-Audiogrammes gegenüber der Reaktionsschwelle, nämlich die genauere Aussage über das Hörvermögen des Kindes.

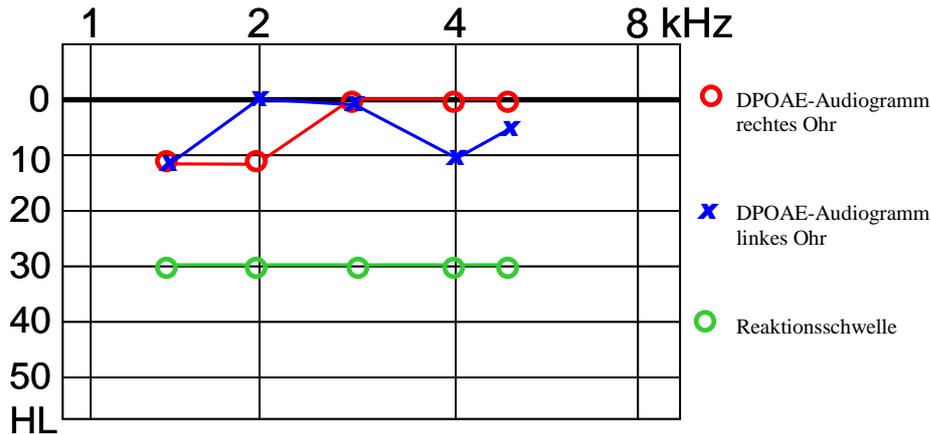


Abb. 3.24: Reaktionsschwelle (Freifeldaudiometrie) und geschätzter Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) eines 2,2 Jahre alten Mädchens in der pädaudiologischen Sprechstunde.

Der zweite Fall zeigt aus der Freifeldaudiometrie und aus dem DPOAE-Audiogramm bestimmte Schwellen im Falle eines 3,7 Jahre alten Jungen. In der Freifeldaudiometrie gab der Junge einen Hörverlust von 30 dB bei allen fünf Testfrequenzen an (1,5, 2, 3, 4 und 5 kHz). Das DPOAE-Audiogramm wies jedoch für das rechte Ohr auf ein normales Gehör hin, da die geschätzte Hörschwelle bei allen Frequenzen zwischen 0 und 6 dB lag. Auf dem linken Ohr konnten hingegen bei 1,5, 3 und 6 kHz keine DPOAE registriert werden. Der geschätzte Hörverlust bei diesen Frequenzen betrug daher mindestens 50 dB. Bei 2 und 4 kHz lag der geschätzte Hörverlust bei 32 bzw. 24 dB. Abbildung 3.25. zeigt beide Schwellen des Kindes. Das Beispiel dokumentiert den Vorteil der DPOAE-Audiogramme gegenüber der im Freifeld über Lautsprecher aufgenommenen Reaktionsschwellen, da im Freifeld die Ohren nicht seitengetreunt beurteilt werden können.

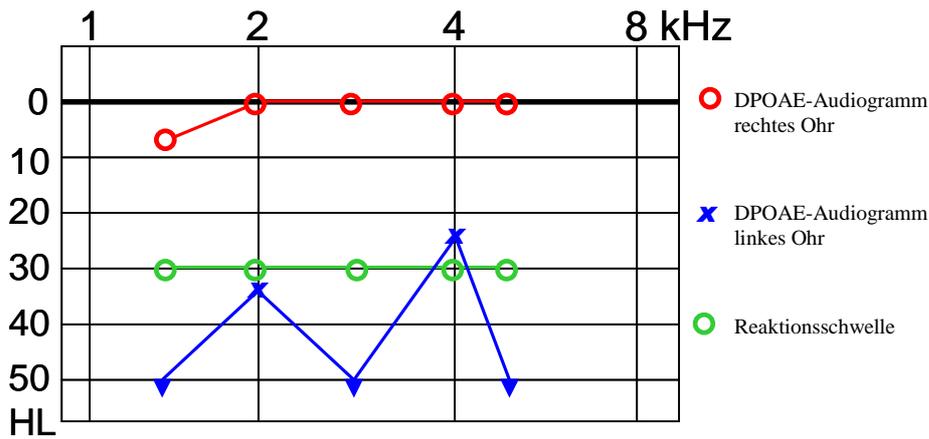


Abb. 3.25: Reaktionsschwelle (Freifeldaudiometrie) und geschätzter Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) eines 3,7 Jahre alten Jungens in der pädaudiologischen Sprechstunde.

3.2.2. Kinder mit Tonschwellenaudiometrie

3.2.2.1. ATEOAE

Bei 33 der insgesamt 97 Kinder wurden im Rahmen der pädaudiologischen Sprechstunde neben den Audiogrammen (Tonschwellenaudiometrie und DPOAE-Audiogramm) auch eine ATEOAE-Messung durchgeführt.

Dabei wurden auf der rechten Seite 25 „pass“- und 7 „fail“-Ergebnisse erzielt. Wegen extremer Unruhe konnte bei einem Kind die Untersuchung nur auf dem linken Ohr stattfinden. Auf der linken Seite zeigten sich 28 „pass“ und 5 „fail“-Antworten (siehe Abb. 3.29.).

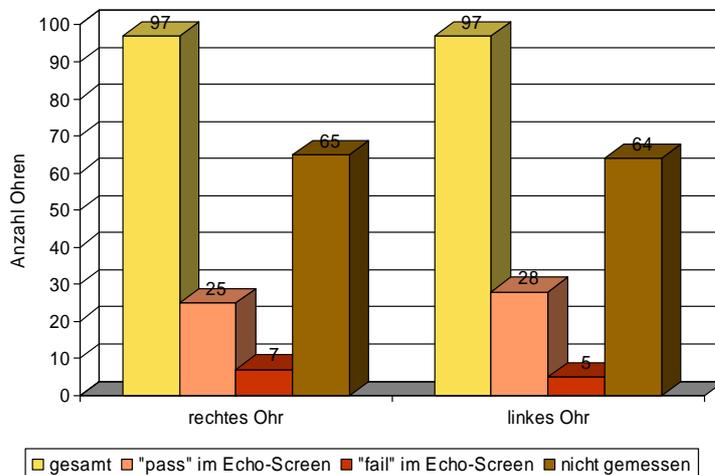


Abb. 3.29: Ergebnisse der Echo-Screen-Untersuchung bei 33 Kindern (getrennt für die rechten und linken Ohren).

3.2.2.2. Bestimmung des Hörverlustes mit Tonschwellen-Audiometrie und DPOAE-Audiogrammen

In der Tonschwellenaudiometrie wurden in Abhängigkeit von der Testfrequenz zwischen 83% und 91% der erhobenen Daten verwendet (HL < 50 dB). Dabei konnten bei 5 kHz nur etwa 84% der Daten genutzt werden. Bei 1.5 kHz waren nahezu 91% der Messwerte verwertbar. Bei den DPOAE-Audiogrammen flossen zwischen 58% und 95% der erhobenen Daten in die Berechnungen ein. Hier war der Anteil mit etwa 60% bei der Testfrequenz 1.5 kHz am geringsten und bei 4 kHz mit etwa 88% am größten. Die Zahlen für das rechte und das linke Ohr glichen sich dabei meist, außer bei der Testfrequenz 4 kHz im DPOAE-Audiogramm, wo eine Differenz von etwa 17% auffällt. Genauer Informationen darüber, wie viele Messwerte pro Frequenz verwertbar waren, liefern Abb. 3.30. und Tab. 3.12.

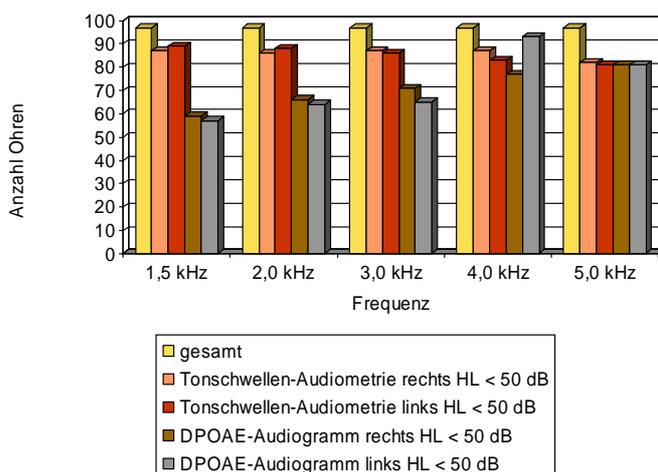


Abb. 3.30: Anzahl der getesteten Ohren mit einem geschätzten Hörverlust kleiner 50 dB.

Anzahl Ohren	gesamt	1,5 kHz	2,0 kHz	3,0 kHz	4,0 kHz	5,0 kHz
Tonschwellen-Audiometrie rechts HL < 50 dB	97	87 (90%)	86 (89%)	87 (90%)	87 (90%)	82 (85%)
Tonschwellen-Audiometrie links HL < 50 dB	97	89 (92%)	88 (91%)	86 (89%)	83 (86%)	81 (83%)
DPOAE-Audiogramm rechts HL < 50 dB	97	59 (61%)	66 (68%)	71 (73%)	77 (79 %)	81 (83%)
DPOAE-Audiogramm links HL < 50 dB	97	57 (59%)	64 (66%)	65 (67%)	93 (96%)	81 (83%)

Tab. 3.12: Anzahl der getesteten Ohren mit einem geschätzten Hörverlust kleiner 50 dB.

Abbildung 3.31. zeigt die Hörkurven aus der Tonschwellenaudiometrie und den DPOAE-Audiogrammen der 97 untersuchten Kinder. Die mit der Tonschwellenaudiometrie erzielten Hörschwellen lagen im Durchschnitt etwa 5 dB höher als die mit dem Cochlea-Scan geschätzten Hörverluste. Im Tonschwellenaudiogramm lagen die Hörschwellen im gesamten Frequenzbereich für die rechte Seite bei etwa 13 dB, auf dem linken Ohr geringfügig höher, bei durchschnittlich 14 dB. Die gemittelten Hörkurven der beiden Ohren überlagerten sich fast vollständig.

Auch im DPOAE-Audiogramm zeigte sich kein Unterschied zwischen beiden Seiten. Der mittlere geschätzte Hörverlust lag für beide Ohren über alle Frequenzen bei etwa 8 dB. Mittelwerte und Standardabweichungen der geschätzten Hörverluste pro Frequenz im Tonschwellenaudiogramm und DPOAE-Audiogramm sind in Tabelle 3.13. niedergelegt.

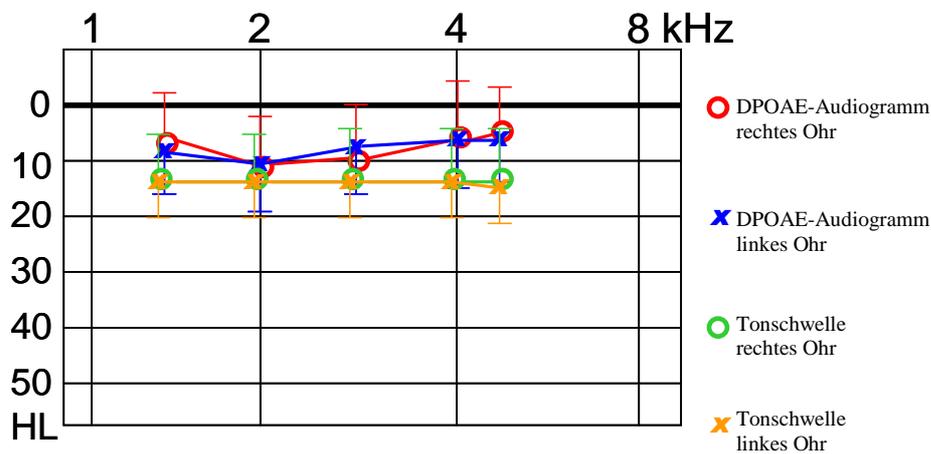


Abb. 3.31: Mittelwerte und Standardabweichungen des geschätzten Hörverlustes in der Tonschwellenaudiometrie und im DPOAE-Audiogramm jeweils für die Testfrequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 5 kHz.

	Frequenz	N	Mittelwert	Standardabweichung
DPOAE-Audiogramm rechtes Ohr	1,5 kHz	59	8,31 dB	10,26 dB
	2,0 kHz	66	11,05 dB	9,72 dB
	3,0 kHz	71	9,85 dB	11,38 dB
	4,0 kHz	77	6,08 dB	10,09 dB
	5,0 kHz	81	5,14 dB	8,48 dB
DPOAE-Audiogramm linkes Ohr	1,5 kHz	57	8,70 dB	10,98 dB
	2,0 kHz	64	10,53 dB	9,78 dB
	3,0 kHz	65	8,15 dB	10,68 dB
	4,0 kHz	77	5,62 dB	10,63 dB
	5,0 kHz	81	5,93 dB	8,88 dB
Tonschwelle rechtes Ohr (Tonschwellenaudiogramm)	1,5 kHz	87	13,28 dB	8,76 dB
	2,0 kHz	86	13,20 dB	8,04 dB
	3,0 kHz	87	13,16 dB	10,73 dB
	4,0 kHz	87	13,39 dB	10,96 dB
	5,0 kHz	82	13,23 dB	9,01 dB
Tonschwelle linkes Ohr (Tonschwellenaudiogramm)	1,5 kHz	89	14,10 dB	9,40 dB
	2,0 kHz	88	13,98 dB	9,13 dB
	3,0 kHz	86	13,78 dB	9,88 dB
	4,0 kHz	83	13,49 dB	8,18 dB
	5,0 kHz	81	15,74 dB	9,36 dB

Tab. 3.13: Mittelwerte und Standardabweichungen des geschätzten Hörverlustes für 97 Kinder bei den Testfrequenzen 1,5, 2, 3, 4 und 5 kHz ermittelt mittels Tonschwellenaudiometrie und Cochlea-Scan (DPOAE-Audiogramm).

Bildet man 6 Altersgruppen (4 - 5 Jahre, 5 - 6 Jahre, 6 - 7 Jahre, 7 - 8 Jahre, 8 - 10 Jahre und > 10 Jahre), so lässt sich erkennen, dass die Hörschwelle im Mittel über die Frequenzen im Tonschwellenaudiogramm bei den Vier- bis Fünfjährigen bei etwa 16 dB lagen und dann bis zu einem Alter von sieben bis acht Jahren um etwa 5 dB bis 10,5 dB abnahmen. Bei den Kindern, die bereits über acht Jahre alt waren, lagen die Hörschwellen bei etwa 13 dB.

Im DPOAE-Audiogramm waren nur geringfügige Abweichungen in den Altersgruppen erkennbar. Die geschätzten Hörverluste waren auf einem Niveau zwischen 6 bis 9 dB bis etwa zum zehnten Lebensjahr konstant. Eine geringe Abnahme der Hörschwelle auf etwa 11 dB zeigte sich bei den Kindern, die bereits älter als 10 Jahre waren. Zu beachten ist jedoch, dass sich mit zunehmendem Alter der Kinder die subjektive (Tonschwelle) und objektive Schwelle (DPOAE-Audiogramm) immer weiter angleichen. Bei den Vier- bis Fünfjährigen betrug die Differenz zwischen den beiden Schwellen etwa 9 dB. Bei den Kindern, die älter als 10 Jahre waren, betrug der Unterschied nur noch knapp 2 dB (siehe Abbildung 3.32.).

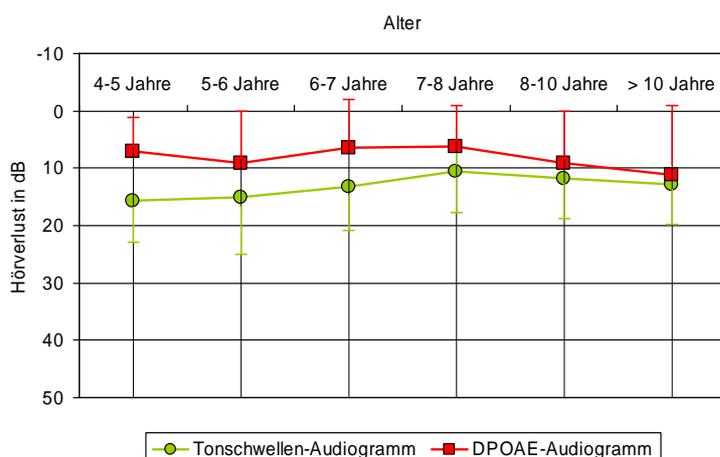


Abb. 3.32: geschätzter Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) und Hörschwelle (Tonschwellenaudiometrie) gemittelt über alle Frequenzen in sechs Altersgruppen.

In Tabelle 3.14. sind Mittelwerte und Standardabweichung des geschätzten Hörverlustes (DPOAE-Audiogramm) und der Hörschwelle (Tonaudiometrie) über alle Frequenzen in sechs Altersgruppen (4 - 5 Jahre, 5 - 6 Jahre, 6 - 7 Jahre, 7 - 8 Jahre, 8 - 10 Jahre, > 10 Jahre) niedergelegt.

	Alter	N	Mittelwert	Standardabweichung
Tonschwellenaudiogramm	4 - 5 Jahre	15	15,72 dB	9,37 dB
	5 - 6 Jahre	17	15,05 dB	10,43 dB
	6 - 7 Jahre	12	13,17 dB	8,42 dB
	7 - 8 Jahre	12	10,55 dB	7,17 dB
	8 - 10 Jahre	8	11,77 dB	7,91 dB
	> 10 Jahre	13	12,91 dB	8,29 dB
DPOAE-Audiogramm	4 - 5 Jahre	12	7,03 dB	7,91 dB
	5 - 6 Jahre	14	9,05 dB	9,77 dB
	6 - 7 Jahre	10	6,51 dB	9,86 dB
	7 - 8 Jahre	10	6,27 dB	8,48 dB
	8 - 10 Jahre	7	9,16 dB	9,29 dB
	> 10 Jahre	10	11,17 dB	13,11 dB

Tab. 3.14: Mittelwert und Standardabweichung des über alle Frequenzen mittleren geschätzten Hörverlusts bei Kindern in sechs Altersgruppen.

3.2.2.3. Korrelation zwischen Tonschwelle und DPOAE-Schwelle

Abbildung 3.33. zeigt die Korrelation zwischen der im Tonschwellenaudiogramm gemessenen subjektiven Hörschwelle und der im DPOAE-Audiogramm geschätzten objektiven Hörschwelle. Man erkennt einen linearen Zusammenhang zwischen den beiden Messwerten, d. h. wenn ein Kind eine hohe Hörschwelle angab, war der geschätzte Hörverlust auch dementsprechend hoch. Zu beachten ist jedoch, dass die Kinder ihren Hörverlust durchschnittlich um 10 dB höher angaben, als es bei den objektiven Messwerten zu erwarten gewesen wäre.

Je jünger die Kinder waren, desto größer war der Unterschied zwischen den beiden Messgrößen. Der Unterschied lag bei den vierjährigen Kindern bei etwa 10 dB. Mit zunehmendem Alter nahm die Differenz kontinuierlich bis auf etwa 2 dB ab, sodass die beiden Messwerte sich einander beinahe glichen (siehe Abb. 3.34.).

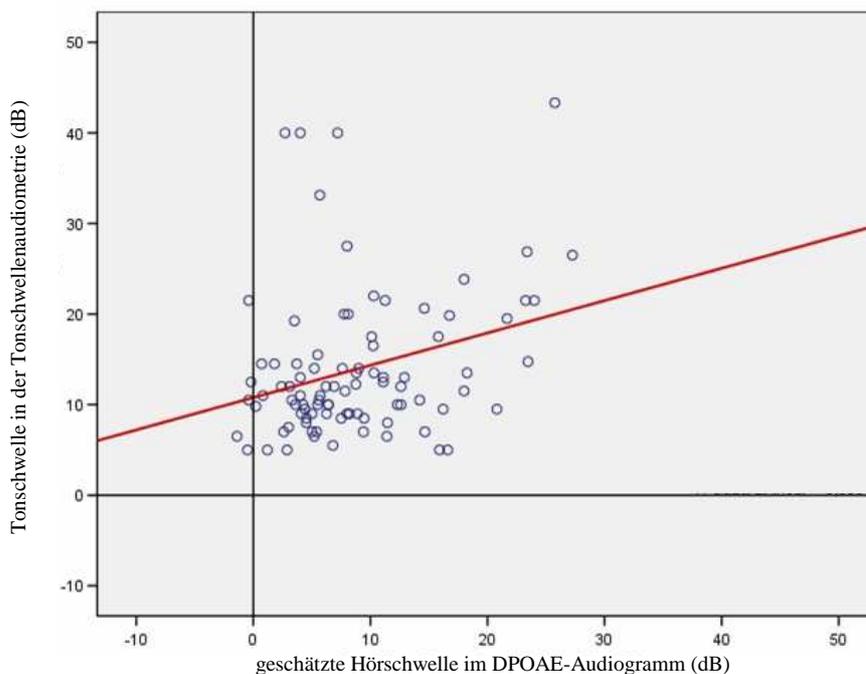


Abb. 3.33: Korrelation zwischen der Hörschwelle des Tonschwellenaudiogrammes von 97 Kindern und der Schwelle des DPOAE-Audiogrammes (Cochlea-Scan).

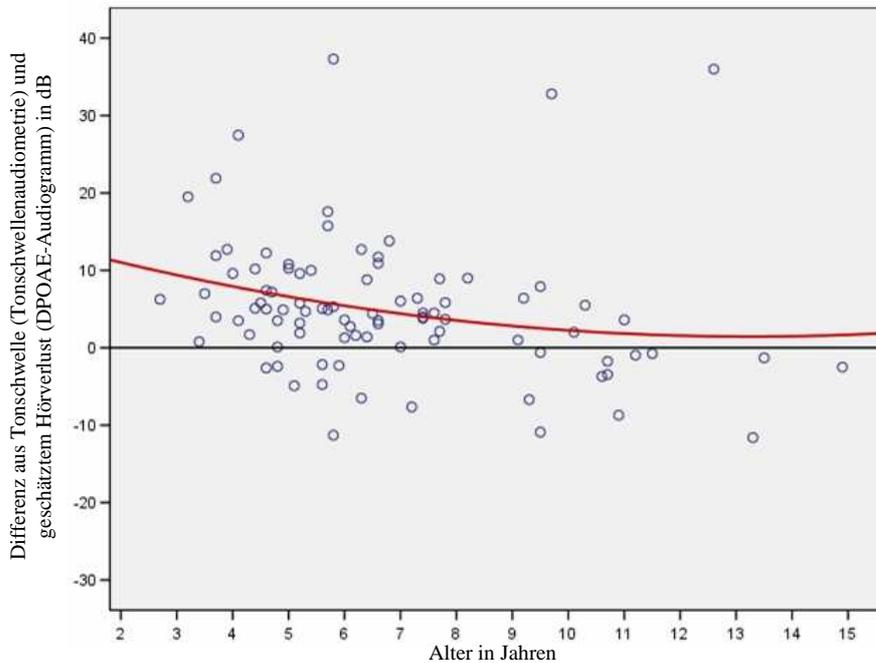


Abb. 3.34: Differenz aus Hörschwelle und geschätztem Hörverlust (Cochlea-Scan) in Abhängigkeit zum Alter der Kinder.

3.2.2.4. Fallbeispiele

Im ersten Beispiel sind die Ergebnisse eines 4,9 Jahre alten normalhörenden Jungen dargestellt (rechtes Ohr Abb. 3.35. und linkes Ohr Abb. 3.36.). Die Schwellen aus der Tonschwellenaudiometrie und dem DPOAE-Audiogramm korrespondierten sehr gut miteinander. Auf dem rechten Ohr gab das Kind einen Hörverlust zwischen 5 und 10 dB bei allen Testfrequenzen (1,5, 2, 3, 4, und 5 kHz) an. Im DPOAE-Audiogramm des rechten Ohres waren nur geringfügige Unterschiede zu erkennen. Hier wurde der Hörverlust zwischen 0 und 5 dB ermittelt. Auch auf dem linken Ohr gab der Junge in der Tonschwellenaudiometrie nur einen geringgradigen Hörverlust von 10 dB über alle Frequenzen an. Entsprechend dazu zeigte sich auch im DPOAE-Audiogramm nur ein Hörverlust zwischen 0 und 10 dB.

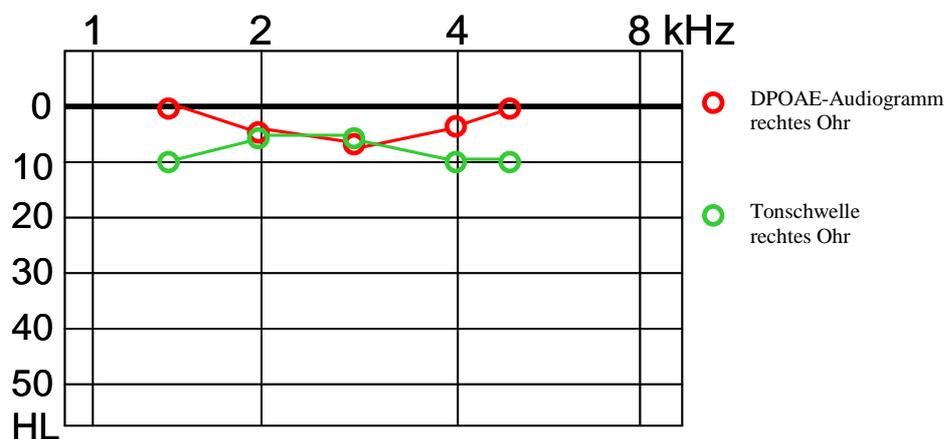


Abb. 3.35: Tonschwelle und geschätzter Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) des rechten Ohres eines 4,9 Jahre alten Jungens in der pädaudiologischen Sprechstunde.

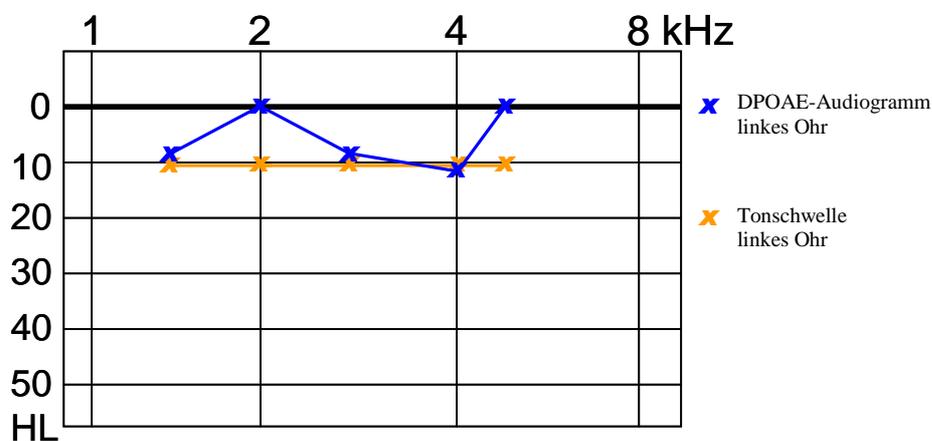


Abb. 3.36: Tonschwelle und geschätzter Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) des linken Ohres eines 4,9 Jahre alten Jungens in der pädaudiologischen Sprechstunde.

Das zweite Beispiel zeigt sowohl die Ton-, als auch die DPOAE-Schwelle eines verhaltensgestörten 12,6 Jahre alten Jungen. In der Tonschwellenaudiometrie gab das Kind einen höhergradigen Hörverlust zwischen 45 und 50 dB auf dem rechten Ohr und zwischen 40 und 55 dB auf dem linken Ohr an. Das DPOAE-Audiogramm ermittelte jedoch die Hörschwelle für das rechte Ohr zwischen 0 und 2 dB und für das linke Ohr zwischen 5 und 12 dB. Somit wies das DPOAE-Audiogramm auf eine normale cochleäre Hörfunktion hin. (siehe Abbildung 3.37. für die Hörschwellen des rechten und Abbildung 3.38. für die Hörschwellen des linken Ohres).

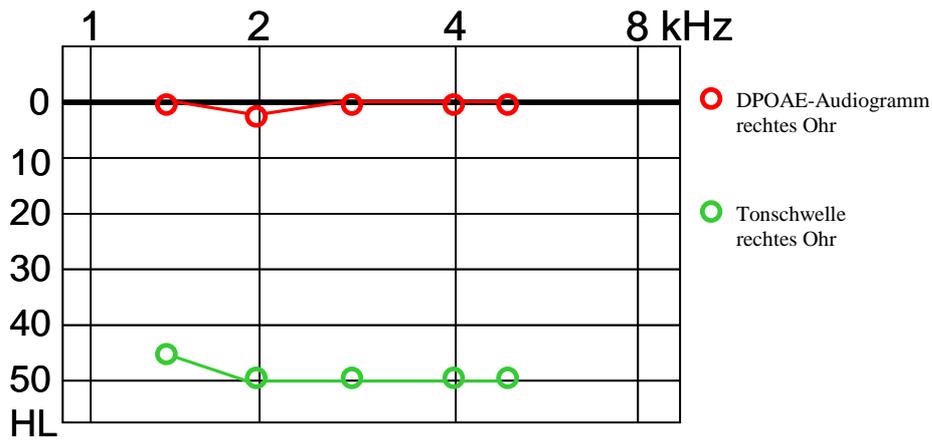


Abb. 3.37: Tonschwelle und geschätzter Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) des rechten Ohres eines 12,6 Jahre alten verhaltensgestörten Jungen in der pädaudiologischen Sprechstunde.

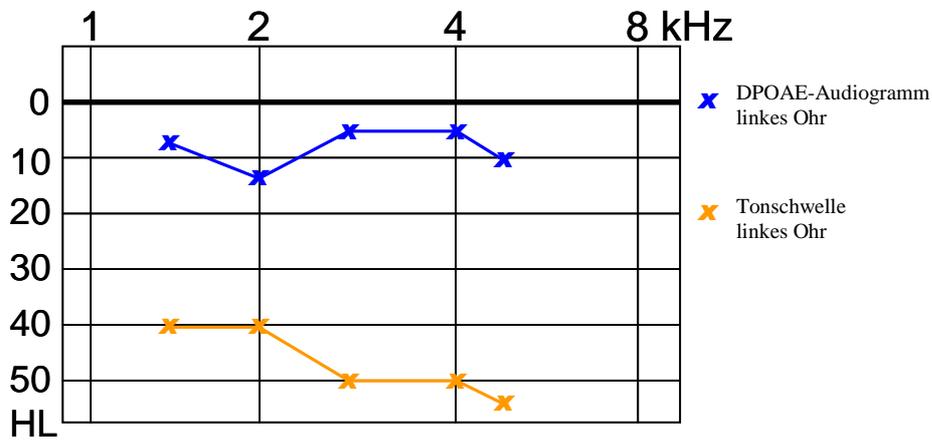


Abb. 3.38: Tonschwelle und geschätzter Hörverlust (DPOAE-Audiogramm) des linken Ohres eines 4,9 Jahre alten Jungen in der pädaudiologischen Sprechstunde.

4. Diskussion

4.1. Einsatz von DPOAE-Audiogrammen bei Neugeborenen

4.1.1. Reifgeborene Kinder

Die vorliegenden Ergebnisse haben gezeigt, dass es mit Hilfe der DPOAE-Audiogramme möglich ist, schon ab den ersten Lebenstagen eine frequenzspezifische und quantitative Aussage über die Hörfunktion zu treffen. Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber ATEOAE, wo nur eine qualitative Aussage über die Hörfunktion (ja/nein) getroffen werden kann. Die im Cochlea-Scan-Handgerät implementierten fünf Testfrequenzen (1,5, 2, 3, 4 und 6 kHz) decken einen weiten Teil des Hauptsprachbereiches ab. Dadurch ist es möglich, Hörstörungen zu erkennen, die bei den ATEOAE übersehen werden, wie es bei rein medio-cochleäre oder basocochleären Hörstörungen der Fall sein kann.

Mit Hilfe der DPOAE-Audiogramme kann ein Hörverlust früh erkannt und quantifiziert werden. Damit ist auch eine Behandlung der Hörstörung und Förderung der Sprachentwicklung frühzeitig möglich.

Ein wichtiges Kriterium für eine Screening-Methode ist, dass die Untersuchung zumutbar ist (siehe Tabelle 1.3. in Kapitel 1.2.). Es stellt sich somit die Frage, ob der Einsatz von DPOAE-Audiogrammen die Voraussetzungen für eine Screening-Methode erfüllt.

Die Erstellung von DPOAE-Audiogrammen ist für das Kind nicht belastend. Zusätzlich ist die Methode vigilanzunabhängig und kann somit schon bei Neugeborenen durchgeführt werden. Da das Cochlea-Scan ein einfach zu bedienendes Handgerät ist, kann das Kind während der Erstellung des DPOAE-Audiogrammes in seinem Bettchen verbleiben und die Messung im natürlichen Schlaf erfolgen. Folglich ist es möglich, die Untersuchung ohne den Gebrauch von Sedativa, das heißt ohne pharmakologische Belastung des Kindes, durchzuführen.

Insgesamt ist die Messzeit der DPOAE von etwa 10 Minuten pro Ohr etwa vier mal so lange wie die Zeit, die für die Aufzeichnung der ATEOAE mit dem Echo-Screen benötigt wird.

Die relativ lange Messzeit hatte zur Folge, dass die Kinder nicht immer während der gesamten Untersuchungszeit ruhig gelegen haben. Selbst wenn sie nicht aus dem Schlaf erwacht waren, führten unwillkürliche Bewegungen, vor allem aber Kopfdrehungen dazu, dass ein optimaler SONDENSITZ nicht über die gesamte Messdauer (d.h. nicht bei allen Testfrequenzen) gewährleistet werden konnte.

Obwohl die Aussagekraft der DPOAE- im Vergleich zur ATEOAE-Messung deutlich größer ist, wird ein Hörscreening mittels DPOAE-Audiogrammen aus personaltechnischer Sicht aufgrund des erhöhten Zeitaufwandes nicht umzusetzen sein.

Die in der vorliegenden Studie eingesetzte Tannenbaum-Ohrolive (siehe Abbildung 1.9. in Kapitel 1.4.2.) bringt mehrere Vorteile mit sich: durch die konische Form dieser Ohrsonde ist praktisch bei jedem Kind ein luftdichter Sitz im Gehörgang gewährleistet, wodurch die oftmals langwierige Suche nach der passenden Ohrolive wegfällt. In dieser Studie konnte die Tannenbaum-Ohrolive sowohl bei allen 100 Neugeborenen als auch bei den 10 frühgeborenen Kindern eingesetzt werden. Somit kann eine langwierige Manipulation am Gehörgang des Kindes vermieden werden. Dadurch ergibt sich auch für den Untersucher eine Zeitersparnis bis zu einigen Minuten pro Kind.

Bei der DPOAE-Aufzeichnung im tieffrequenten Bereich ist ein absolut luftdichter Sitz der Ohrsonde von großer Bedeutung. In diesem Frequenzbereich kann bei undichtem Ohrolivensitz der nötige Schalldruck der Primärtöne L_1 und L_2 nicht aufgebracht werden, sodass eine Messung der DPOAE unmöglich wird. In den DPOAE-Audiogrammen zeigte sich aus diesem Grund bei der Testfrequenz 1.5 kHz deutlich häufiger ein geschätzter Hörverlust größer 50 dB (d.h. keine DPOAEs nachweisbar). Siehe hierzu auch Abbildung 3.2. (Kapitel 3.1.1.2.).

Die Schwellen beider Ohren im DPOAE-Audiogramm bei den Neugeborenen überlagerten sich im gesamten Frequenzbereich fast vollständig. Der T-Test ergab keinen signifikanten Unterschied. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass sich die Hörschwellen beider Ohren gleichen. Unter der Annahme der Normalhörigkeit beider Ohren (fast alle Neugeborenen zeigten TEOAE-„pass“-Antworten) ist dieses Ergebnis ein Hinweis auf eine gute Test-Re-Test-Stabilität (Reliabilität) der Methode.

Als Ursache für die höheren Schwellen in den ersten Lebenstagen (siehe Abbildungen 3.4. und 3.5.) kommen v.a. konduktive Probleme durch Verlegung des Gehörgangs durch eventuell verbliebene Fruchtwasserreste oder Käseschmiere in Frage. Auch passagere Tubenfunktionsstörungen, die sich nach der Geburt schnell normalisieren, könnten Ursache für die höhere Schwelle in den ersten Lebenstagen sein. Hier könnte die Aufzeichnung von DPOAE-Audiogrammen vorteilhaft sein, da ATEOAE schon bei sehr viel kleineren Schalleistungsstörungen nicht mehr nachweisbar sind.

Etwa ab dem dritten Lebenstag waren keine DPOAE-Änderungen mehr zu verzeichnen. Es ist daher sinnvoll, eine Untersuchung mit dem Cochlea-Scan-Gerät erst ab dem dritten Lebenstag des Kindes durchzuführen. Ein Problem dabei ist jedoch, dass viele Mütter zu diesem Zeitpunkt die Geburtsklinik mit ihren Babys schon wieder verlassen haben.

Die Aufzeichnung der DPOAE-Audiogramme bringt demnach mehrere Vorteile mit sich. Zum einen können persistierende Hörstörungen des Innenohrs, die mit ATEOAE nicht erfasst werden (z.B. isolierte medio- oder basocochleäre Hörstörungen), erkannt werden. Zum anderen können validen DPOAE bei passageren Schalleistungsstörungen registriert werden.

Wenn DPOAE-Audiogramme wegen der längeren Messzeit als erste Screening-Methode nicht in Frage kommen, so sollten jedoch DPOAE-Audiogramme immer dann zum Einsatz kommen, wenn keine ATEOAE nachgewiesen werden konnten („fail“-Messung).

Hier wäre ein Handgerät, welches sowohl ATEOAE als auch DPOAE-Audiogramme aufzeichnen kann, ein geeignetes Instrument.

4.1.2. Frühgeborene Kinder

Die Aufnahme von DPOAE-Audiogrammen sollte generell bei Risikokindern erfolgen. Frühgeborene Kinder haben ein erhöhtes Risiko an einer Hörstörung zu leiden. Zum einen liegt dies daran, dass frühgeborene Kinder v.a. aufgrund der Unreife der Lungen oftmals an einem Sauerstoffmangel leiden, der u.a. auch die äußeren Haarzellen schädigt. Zum anderen müssen frühgeborene Kinder häufig mit Medikamenten behandelt werden, die teilweise ototoxisch wirken (z.B. Furosemid). Auch ein niedriges Geburtsgewicht oder pathologische APGAR-Werte zählen zu den Risikofaktoren für eine Hörstörung, die besonders häufig bei frühgeborenen Kindern auftreten (siehe Tabelle 1.1. in Kapitel 1.1.2.2.).

Jedoch ist die Durchführung der DPOAE-Messung an frühgeborenen Kindern schwieriger als bei reifgeborenen Kindern. Ein großes Problem für das Handling des Cochlea-Scan-Gerätes stellt die Messung der DPOAE im Inkubator dar. Hierzu sind ein Untersucher nötig, der sich um das Kind und den korrekten Sitz der Ohrsonde kümmern muss, sowie eine zweite Person, die das Handgerät außerhalb des Brutkastens bedienen muss. Zusätzlich erschwert wird die Messung dadurch, dass im Inkubator oftmals ein hoher Störgeräuschpegel herrscht, der die Ergebnisse der Untersuchung verfälschen kann. Probleme wurden in dieser Studie dadurch gelöst, dass die DPOAE-Audiogramme zu dem Zeitpunkt registriert wurden, als das frühgeborene Kind kurzzeitig aus dem Brutkasten geholt wurde (z.B. Inkubatorwechsel, Wiegen, Baden,...). Wichtig dabei zu beachten war jedoch, dass die Messung so schnell wie möglich durchgeführt werden musste, da ansonsten ein großes Risiko bestand, dass das Kind zu stark auskühlte. Aus diesem Grund mussten langwierige Messungen (Messzeit für beide Ohren gemeinsam maximal 10 - 15 Minuten) abgebrochen werden.

4.1.3. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Neugeborenen-Hörscreening mit DPOAE-Audiogrammen eine automatische Prozedur darstellt, die sich durch eine sehr einfache Bedienbarkeit auszeichnet. Besonders auch der universelle Einsatz der Tannenbaum-Ohrolive trägt zur komfortablen Handhabung sowohl für den Untersucher als auch für das Kind bei. Besonders hervorzuheben ist, dass die Messung vollkommen ohne den Einsatz von Sedativa oder anderer pharmakologischer Beeinflussung des Kindes auskommt. Diese Faktoren und auch die hohe Reliabilität der Messmethode sprechen für eine ausgezeichnete Testperformance.

Bereits einige Tage nach der Geburt ist es nunmehr durch diese neue Methode möglich, sowohl eine frequenzspezifische als auch eine quantitative Aussage über die periphere Hörfunktion des Neugeborenen zu treffen.

Jedoch wird der Einsatz des Cochlea-Scan-Gerätes als universelle Screening-Methode wahrscheinlich nicht zum Tragen kommen. Aufgrund von zeit- und besonders auch personaltechnischen Gründen, die v.a. einen finanziellen Mehraufwand bedeuten, werden die DPOAE-Audiogramme das derzeit übliche Screening mittels ATEOAE-Messung vermutlich nicht ablösen können.

Ein Alternative zu einem universellen Screening mit DPOAE-Audiogrammen besteht darin, dass sowohl alle Risikokinder (frühgeborene Kinder, Kinder mit bekannter Hörstörung in der Familie, etc.) als auch diejenigen Neugeborenen, die im ATEOAE-Screening „fail“ getestet wurden, automatisch einer Untersuchung mittels DPOAE zugeführt werden. Die Untersuchung mit dem Cochlea-Scan könnte im direkten Anschluss an die ATEOAE-Messung durchgeführt werden, jedoch aber auch erst bei der Kontrolluntersuchung in der pädaudiologischen Sprechstunde erfolgen. Insofern könnten die DPOAE-Audiogramme eine „erweiterte“ Screening-Methode sein und sich als diagnostischer Baustein zwischen Neugeborenen-Hörscreening und pädaudiologischer Diagnostik eignen.

4.2. Einsatz von DPOAE-Audiogrammen bei Kleinkindern

4.2.1. Kinder mit Freifeldaudiometrie

Gerade bei Kleinkindern ist es besonders wichtig, einen möglichen Hörverlust so früh wie möglich zu entdecken. Dadurch könnte eine verzögerte Sprachentwicklung aufgrund fehlenden Hörvermögens durch frühzeitige Therapieoptionen verhindert werden. Jedoch ist sowohl die Diagnose einer kindlichen Hörstörung als auch deren Quantifizierung im Kleinkindesalter nicht nur zeitaufwendig, sondern ist oftmals für Patienten, Eltern aber auch für die Untersucher äußerst anstrengend und belastend. Da kleine Kinder noch nicht in der Lage sind, ihren Hörverlust zuverlässig anzugeben, ist es nicht möglich eine Tonschwellenaudiometrie durchzuführen. Aus diesem Grund weicht man auf die sog. Freifeldaudiometrie aus, die jedoch den großen Nachteil mit sich bringt, dass sie keine seitengetrennte Aussage über die Hörfähigkeit der beiden Ohren zulässt. Zudem ist diese Methode stark vigilanzabhängig und deswegen oft entweder gar nicht erst durchführbar oder nicht aussagekräftig. In solchen Fällen muss man oft auf die Messung von Hirnstammpotentialen (BERA) zurückgreifen, die jedoch in der Regel nur bei sedierten Kindern durchführbar ist. Zudem stellt eine derartige Untersuchung eine zusätzliche Belastung für die Kinder dar.

Die DPOAE-Audiogramme können hier eine neue Methode in der Diagnostik kindlicher Hörstörungen sein. Die Untersuchung ist im Gegensatz zur Freifeldaudiometrie vigilanzunabhängig und somit nicht auf die Mitarbeit des Kindes angewiesen. Ein weiterer Vorteil ist, dass DPOAE-Audiogramme ohne den Einsatz von Sedativa erstellt werden können und somit das Kind nicht medikamentös – wie es etwa bei der Messung von Hirnstammpotentialen mittels BERA nötig ist - belastet werden muss. Für die Untersuchung mit dem Cochlea-Scan benötigt man etwa 4 Minuten pro Ohr (ohne vorherige Suche nach der passenden Ohrsonde). Die Testzeit mit dem Cochlea-Scan-Gerät ist im Vergleich zur Freifeldaudiometrie somit wesentlich kürzer. Anhand eines DPOAE-Audiogrammes ist es in kürzester Zeit möglich, eine frequenzspezifische als auch quantitative Information über die Hörfähigkeit eines Kindes zu erhalten. Ein weiterer Vorteil ist, dass es im Gegensatz zur Freifeldaudiometrie mit dem Cochlea-Scan möglich ist, getrennte Informationen über das rechte und das linke Ohr zu erhalten.

DPOAE können nur die Funktion der äußeren Haarzellen prüfen. Somit können zum einen nur Hörverlust bis maximal 50 dB quantifiziert werden. Zum anderen ist eine Aussage über mögliche neuronale oder kognitive Störungen des Gehörs unmöglich und eine weiterführende Diagnostik z.B. mittels Hirnstammpotential-Aufzeichnung erforderlich.

Es hat sich gezeigt, dass mit abnehmendem Alter die Differenz zwischen der subjektiven (Reaktionsschwelle, Tonschwelle) und der objektiven Schwelle (DPOAE-Audiogramme) drastisch zunimmt. Je jünger die Kinder waren, desto größer war der Unterschied zwischen den beiden Schwellen. Es ist daher davon auszugehen, dass der Grund darin liegt, dass v.a. bei den ganz kleinen Kinder, mit einem Alter von ein paar Monaten bis etwa 2 Jahren die Reaktionsschwelle in der Freifeldaudiometrie nicht mit dem wahren Hörverlust übereinstimmt. Mit steigendem Alter sind die Kinder zunehmend mehr in der Lage, ihre Hörschwelle richtig anzugeben. Das bedeutet, dass es mit DPOAE-Audiogrammen möglich ist, den Hörverlust genauer als in der Freifeldaudiometrie zu schätzen.

Da wie eingangs erwähnt, der Großteil aller persistierenden kindlichen Hörstörung mittel- bis hochgradige Schwerhörigkeiten betrifft, kann mit dem Cochlea-Scan in den meisten Fällen der Hörverlust erfasst werden. Das bedeutet, dass in vielen Fällen auf den personalintensiven Einsatz von Hirnstammpotential-Ableitungen (BERA) verzichtet werden kann. Ein weiterer Vorteil der gegenüber der BERA-Untersuchung ist die Frequenzspezifität der DPOAE-Audiogramme.

4.2.2. Kinder mit Tonschwellenaudiometrie

In Abhängigkeit von der Reife des Kindes ist es ab einem Alter von etwa 4 Jahren möglich, eine Tonschwellenaudiometrie durchzuführen, die im Gegensatz zur Freifeldaudiometrie eine seitengetrennte Aussage zulässt. Diese Untersuchung ist jedoch stark von der Mitarbeit des Kindes abhängig und erfordert ein hohes Potential an Konzentrationsfähigkeit. Es besteht die Gefahr, dass selbst bei einem anfangs motivierten Kind mit zunehmender Untersuchungsdauer die Aufmerksamkeit nachlässt und die Hörschwellen falsch angegeben werden. Auch bei diesen Kindern haben sich die DPOAE-Audiogramme - wie die vorliegende Studie zeigt - bewährt. Die Messung des DPOAE ist zum einen nicht auf die Kooperation des Kindes und zum anderen nicht auf den Einsatz sedierender Medikamente angewiesen. Hinzu kommt, dass die Messzeit im Vergleich zur Tonschwellenaudiometrie deutlich kürzer ist. Aus diesen Gründen ist die Untersuchung mit dem Cochlea-Scan-Gerät kaum belastend für die kleinen Patienten.

Oftmals ist bei Kindern im Alter ab etwa 3 Jahren der Hörverlust schon bekannt und die Kinder kommen meist nur zu Kontrolluntersuchungen in die pädaudiologische Sprechstunde. Regelmäßige Kontrollen mit Tonschwellenaudiogrammen sind zeitaufwendig und anstrengend für die Kinder. Mit dem Cochlea-Scan-Gerät besteht nun die Möglichkeit in kürzester Zeit eine Überprüfung der Hörfähigkeit des Kindes durchzuführen.

Dies ist v.a. auch deswegen möglich, da die Korrelation der Hörschwellen bei den älteren Kindern zwischen der Tonschwellenaudiometrie und dem DPOAE-Audiogramm sehr gut ist und die Schwellen nur um etwa 5 dB voneinander abweichen, was durch geringfügige Messungenauigkeiten erklärbar ist. Betrachtet man die Korrelation zwischen den beiden Methoden in Abhängigkeit vom Alter der Kinder, so erkennt man, dass mit zunehmendem Alter die Differenz zwischen den beiden Messungen auf beinahe 0 dB zurückgeht. Das heißt, dass bei Kindern ab etwa 5-6 Jahren die Schwellen mit beiden Methoden gleich sind.

Eine gewisse Einschränkung besteht jedoch für höhergradige Hörverluste, da mit dem Cochlea-Scan-Gerät nur Hörverluste bis zu maximal 50 dB quantifiziert werden können.

Bei neuronalen oder kognitiv bedingten Hörstörungen ist ein Einsatz von DPOAE-Audiogrammen sinnvoll zur Abklärung der peripheren Hörfunktion.

4.2.3. Zusammenfassung

Der Einsatz des Cochlea-Scan-Gerätes in der pädaudiologischen Sprechstunde bringt viele Vorteile mit sich. In kürzester Zeit ist es durch die im Handgerät implementierte automatische Rekonstruktion von DPOAE-Audiogrammen möglich, frequenzspezifische und quantitative Informationen über die Hörfähigkeit zu erhalten. Die Messung ist nicht auf die Mitarbeit des Patienten und die Anwendung von Sedativa angewiesen. Dadurch ist die Methode wenig belastend für die Kinder. Besonders Kindern mit bereits bekanntem Hörverlust, die ihr Gehör regelmäßig kontrollieren lassen müssen, können davon profitieren.

Bei Kleinkindern, bei denen nur eine Freifeldaudiometrie durchgeführt werden kann, ergibt sich zusätzlich der Vorteil, dass die DPOAE-Audiogramme seitengetreunt für beide Ohren erstellt werden können.

Da die neue Methode der DPOAE-Messung unabhängig von der Vigilanz und der Konzentrationsfähigkeit der Kinder ist, können Hörverluste gerade bei kleineren Kindern präziser angegeben werden.

Bei Kindern mit höhergradigen Hörverlusten oder neurologischen bzw. kognitiven Hörstörungen kann das Cochlea-Scan-Gerät nur bedingt zum Einsatz kommen, da nur die Funktion der äußeren Haarzellen der Cochlea mit dieser Methode untersucht werden kann.

Wegen der kurzen Untersuchungsdauer und der relativ hohen Aussagekraft erscheint es sinnvoll, bei jedem Kind im Rahmen einer pädaudiologischen Diagnostik ein DPOAE-Audiogramm zu erstellen.

Literaturverzeichnis

- 1) Barsky-Firsker, L.; Sun, S. (1997)
Universal newborn hearing screenings: a three-year experience.
Pediatrics 99: 1-5
- 2) Biesalki, P.; Frank F. (Hrsg.) (1994)
Phoniatrie und Pädaudiologie.
New York, Stuttgart: Thieme, Band 2: 48-137
- 3) Boege, Janssen (2002)
Pure-tone threshold estimation from extrapolated distortion product otoacoustic emission
I/O-function in normal and cochlear hearing loss ear.
Journal Acoustical Society of America 111 (4): 1810-1818
- 4) Deutsches Konsensuspapier (2003)
Grundlagen für das Neugeborenen-Hörscreening (Standard of Care).
HNO, 51: 876-879
- 5) Elssmann, S.; Matkin, N.; Sabo, M. (1987)
Early identification of congenital sensorineural hearing loss.
Hear J, 40: 13-17
- 6) Finckh-Krämer, U.; Spormann-Lagodzinski, M.E.; Nubel, K.; Hess, M.; Gross, M. (1998)
Wird die Diagnose bei persistierenden kindlichen Hörstörungen immer noch zu spät
gestellt?
HNO 46: 598-602
- 7) Finckh-Krämer, U.; Spormann-Lagodzinski, M.E.; Gross, M. (2000)
Angeborene Erkrankungen des Hörvermögens bei Kindern.
HNO 48: 879-886
- 8) Gross, M.; Finckh-Krämer U.; Spormann-Lagodzinski, M.E. (1999)
Deutsches Zentralregister für kindliche Hörstörungen: Bilanz nach den ersten zwei Jahren
Deutsches Ärzteblatt 96, Heft 1-2: A 45-50

- 9) Henke, K.-D.; Huber, M. **(1999)**
Neonatales Hörscreening – gesundheitspolitische Konsequenzen.
Gesundheitswesen 1999; 61: 86-92
- 10) Hildmann, A. **(1998)**
Möglichkeiten der apparativen Versorgung junger Säuglinge bei neonatalen Hörstörungen.
Lenhardt, A. (Hrsg.): Ausbildung des Hörens – Erlernen des Sprechens.; Luchterhand, Berlin
- 11) Hildmann, A. **(2002)**
Hörscreening für Neugeborene.
Sonderausgabe Hören Heute, Nummer 1
- 12) Janssen, T.; Kummer, P.; Arnold, W. **(1995 a)**
Wachstumsverhalten der Distorsionsproduktemissionen bei kochleären Hörstörungen.
Otorhinolaryngol. Nova 5 (1995 a): 34-46
- 13) Janssen, T.; Kummer, P.; Arnold, W.; **(1995 b)**
Wachstumsverhalten der Distorsionsproduktemissionen bei normaler Hörfunktion.
Otorhinolaryngol. Nova 5 (1995 b): 211-222
- 14) Janssen, T. **(2000)**
Schwellennahe und überschwellige Schallverarbeitung des Innenohres. Übersichtsarbeit.
Zeitschrift für Audiologie 2000, 104-114
- 15) Janssen, T. **(2001)**
Otoakustische Emissionen
In: Lenhardt, E.; Laszig, R. (Hrsg.): Praxis der Audiometrie.
Stuttgart: Thieme Verlag (8. Aufl.): 79-107

16) Janssen, T.; Klein, A.; Gehr, D.D. **(2003)**

Automatisierte Hörschwellenbestimmung bei Neugeborenen mit extrapolierten DPOAE-Wachstumsfunktionen.

HNO, 51: 971-980

17) Janssen, T. **(2005)**

Diagnostik des kochleären Verstärkers mit DPOAE Wachstumsfunktionen.

HNO, 53: 121-133

18) Joint Committee on Infant Hearing **(1994)**

1994 Position Statement.

ASHA 2: 27-33

19) Joint Committee in Infant Hearing **(2000)**

Year 2000 position statement: principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs.

Am J Audiol. 9: 9-29

20) Klinke, R.; Kral, A.; Hartmann, R. **(2001)**

Sprachanbahnung über elektronische Ohren – So früh wie möglich.

Deutsches Ärzteblatt 98 (46): 3049-3053

21) Kubisch, Christian **(2002)**

Autosomal dominante nichtsyndromale Hörstörungen – Genetik der HNO-Krankheiten.

Medgen 14: 30-36

22) Kummer, P.; Janssen, T.; Arnold, W. **(1995)**

Suppression tuning characteristics of the 2f1-f2 distortion product otoacoustic emissions in humans.

Journal Acoustical Society of America, 98: 197-210

23) Kummer, P.; Janssen, T.; Arnold, W. **(1998)**

The level and growth behavior of the 2f1-f2 distortion product otoacoustic emission and its relationship to auditory sensitivity in normal hearing and cochlear hearing loss.

Journal Acoustical Society of America, Vol. 103/6: 3431-3444

24) Kummer, P.; Janssen, T.; Hulin, P.; Arnold, W. **(2000)**

Optimal L1-L2 primary tone level separation remains independent of test frequency in humans.

Hearing Research 146: 47-56

25) Kunze, S.; Schnell-Inderst, P.; et al. **(2004)**

Hörscreening für Neugeborene – Health Technology Assessment der medizinischen Effektivität und der ökonomischen Effizienz.

Health Technology Assessment Schriftenreihe des DIMDI: 48-49

26) Kunze, S.; Schnell-Inderst, P.; et al. **(2006)**

Hörscreening für Neugeborene – Health Technology Assessment der medizinischen Effektivität und der ökonomischen Effizienz.

Health Technology Assessment Schriftenreihe des DIMDI: 26-27

27) Liebl, B.; Nennstiel-Ratzel, U.; Roscher, A. **(2000)**

Zwischenbericht zum Neugeborenen-Screening in Bayern.

Bayrisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit

28) Löhle, E.; Holm, M.; Frischmuth, S. **(1998)**

Voraussetzungen für den Spracherwerb bei hörgeschädigten Kleinkindern.

Sozialpädiatrie, Kinder- und Jugendheilkunde 20 Nr. 9-10:1-5.

29) Matschke, R.G. **(1993)**

Untersuchung zur Reifungsstörung der menschlichen Hörbahn.

Thieme-Copythek, Georg-Thieme Verlag, Stuttgart

- 30) Mauk, G.W.; White, K.R.; Mortensen, L.B.; Behrens, T.R. **(1991)**
The effectiveness of screening programs based on high-risk characteristics in early identification of hearing loss.
Ear. Hear., 12: 312-319
- 31) Moore, D.R. **(2002)**
Auditory development and the role of experience.
Br Med Bull 63: 171-181
- 32) Nennstiel-Ratzel U., Brockow I., Wildner M., Bantle U., Strutz J., Richter E., von Kries R. **(2007)**
Neugeborenen-Hörscreening: 3. Zwischenbericht zum Modellprojekt zum Modellprojekt in der Oberpfalz Juli 2007
- 33) Pappas, D.G. **(1983)**
A study of high-risk registry of sensineural hearing loss.
Arch Otolaryngol Head Neck Surg., 91: 41-11
- 34) Plath, P. **(1998)**
Frühe Erkennung und Behandlung von Hörschäden bei Säuglingen.
Materialsammlung vom 9. multidisziplinären Kolloquium der Geers-Stiftung.
Schriftenreihe Band 12, Geers-Stiftung
- 35) Plinkert, P.K.; Sesterhenn, G.; Arold, R.; Zenner, H.P. **(1990)**
Evolution of otoacoustic emissions in high-risk infants by using an easy and rapid objective auditory screening method.
Eur Arch otorhinolaryngol 247: 356-360
- 36) Ptok, M. **(1997)**
Das schwerhörige Kind.
Deutsches Ärzteblatt; 94 (Heft 28-29): A-1932-1937

37) Ptok, Martin (2004)

Konsensuspapier Grundlagen für das Neugeborenen-Hörscreening (Standard of Care)
Stellungnahme der Interdisziplinären Konsensuskonferenz Neugeborenen-Hörscreening
(IKKNHS).

Kinderärztliche Praxis 2004: 40-42

38) Reuter, G.; Bördgen, F.; Schäfer, S.; et al. (1998)

Neugeborenenhörscreening mit dem automatisierten Messgerät. Echosensor für
otoakustische Emissionen. Eine vergleichende Untersuchung.

HNO; 46: 932-941

39) Richter, B.; Löhle, E. (2001)

Audiologische Diagnostik bei Kindern.

Monatsschreiben Kinderheilkunde; 149: 877-882

40) Seifert, E.; Brosch, S.; Dinnesen, A. G., et al. (2005)

Periphere Hörstörungen im Kindesalter – Ergebnisse einer evidenzbasierten
Konsensuskonferenz.

Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie.

HNO, 53: 376-382

41) Stein, L.; Clark, S.; Kraus, N. (1983)

The hearing-impaired infant: Patters of identification and habilitation.

Ear and Hearing 4: 232-236

42) Walger, M. (2000)

Hörstörung und Hörbahnreifung – Über die Bedeutung der Früherkennung und Therapie
kindlicher Hörstörungen.

HörBericht 67/ 2000 – Informationen für den HNO-Arzt, Geers Hörakustik: 1-7