

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke, plastische
und ästhetische Operationen

der Universität Würzburg

Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. R. Hagen

Vergleichende visuelle und automatische Auswertung
beim Hörscreening von Neugeborenen mit dem
BERAphon[®]

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von
Ulrike Tensing
aus Dresden

Würzburg, Mai 2011

Referent bzw. Referentin: Prof. Dr. med. Dr. h.c. R. Hagen
Korreferent bzw. Korreferentin: Prof. Dr. med. W. Shehata-Dieler
Dekan: Prof. Dr. M. Frosch
Tag der mündlichen Prüfung: 15. Februar 2012

Die Promovendin ist Zahnärztin

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	GESCHICHTE DES NEUGEBORENEN-HÖRSCREENINGS.....	2
1.2	URSACHEN VON SCHWERHÖRIGKEIT BEI NEUGEBORENEN.....	5
1.3	FOLGEN VON UNBEHANDELTEN HÖRSTÖRUNGEN.....	5
1.4	ANATOMISCHE GRUNDLAGEN SOWIE SCHALLÜBERTRAGUNG.....	7
1.5	ALTERNATIVE HÖRSCREENINGMETHODEN.....	10
1.6	NOMENKLATUR.....	13
1.7	ANATOMISCH-TOPOGRAPHISCHE ZUORDNUNG.....	14
1.8	PROBLEMSTELLUNG.....	17
1.9	ZIEL DER ARBEIT.....	17
2	MATERIAL UND METHODEN.....	18
2.1	PROBANDEN.....	18
2.1.1	Altersverteilung.....	19
2.1.2	Risikofaktoren.....	20
2.2	MEßGERÄTE.....	20
2.2.1	Das BERaphon®.....	22
2.2.2	Das Zeitgangverfahren.....	24
2.2.3	Die visuelle Auswertung.....	26
2.2.4	Automatisierte Auswertung mit dem Maico MB11 Beraphon.....	27
2.2.4.1	Testergebnis „Unauffällig“.....	30
2.2.5	Testergebnis „Kontrolle“.....	31
2.3	METHODEN.....	32
2.3.1	Untersuchungsprotokoll.....	32
2.3.2	Durchführung der Hörscreening-Untersuchungen.....	34
2.3.3	Erfassung von Sensitivität und Spezifität.....	35
2.4	STATISTISCHE VERARBEITUNG DER DATEN.....	36
3	ERGEBNISSE.....	37
3.1	ERGEBNISSE VISUELLE BERA WESTRA ERA QS/04 (REFERENZMESSUNG).....	37
3.1.1	Probandenbezogene Auswertung Screening Frauenklinik (Screen 1 und 2).....	38
3.1.1.1	Auswertung Screen (1) (1.Screening Frauenklinik).....	38
3.1.1.2	Auswertung Screen (2) (2.Screening Frauenklinik).....	38
3.1.1.3	Auswertung Screen (1) und (2) (Screening Frauenklinik).....	39
3.1.1.4	Auswertung Screen-HNO.....	39
3.1.1.5	Gesamtauswertung.....	39
3.1.2	Messungsbezogene Auswertung Screening Frauenklinik (Screen1 und 2).....	40
3.1.2.1	Auswertung Screen (1).....	40
3.1.2.2	Auswertung Screen (2).....	41
3.1.2.3	Auswertung Screen (1) und (2).....	41
3.1.2.4	Auswertung Screen (3).....	41
3.2	ERGEBNISSE NEUE BERA MAICO MB11.....	41
3.2.1	Probandenbezogene Auswertung Screening Frauenklinik (Screen 1 und 2).....	41
3.2.1.1	Auswertung Screen (1).....	41
3.2.1.2	Auswertung Screen (2).....	42
3.2.1.3	Auswertung Screen (1) und (2).....	42
3.2.1.4	Auswertung Screen (3).....	42
3.2.1.5	Gesamtauswertung.....	42
3.2.2	Messungsbezogene Auswertung Screening Frauenklinik (Screen 1 und 2).....	43
3.2.2.1	Auswertung Screen (1).....	43
3.2.2.2	Auswertung Screen (2).....	43
3.2.2.3	Auswertung Screen (1) und (2).....	44

3.2.2.4	Auswertung Screen (3)	44
3.3	VERGLEICHENDE AUSWERTUNG ZWISCHEN DEN ERGEBNISSEN DER VISUELLEN BERA WESTRA ERA QS/04 UND DER NEUEN BERA MAICO MB11	44
3.4	MESSZEITEN BEI UNTERSUCHUNG MIT DER NEUEN BERA	47
3.5	VIGILANZMESSUNG BEI ERSTUNTERSUCHUNG	49
3.6	ÜBERPRÜFUNG DES ZUSAMMENHANGES ZWISCHEN VIGILANZ UND SCREENINGERGEBNIS BEI ERSTUNTERSUCHUNG.....	49
3.7	PRÜFUNG DES ZUSAMMENHANGS ZWISCHEN MESSERGEBNIS UND ZEITPUNKT DER MESSUNG	51
3.8	KOSTEN DES AUTOMATISIERTEN SCREENINGVERFAHRENS MAICO MB 11	53
3.8.1	Die Personalkosten	53
3.8.2	Die Materialkosten	54
4	DISKUSSION	56
4.1	DIE WAHL DER METHODE, ZEITLICHER UND FINANZIELLER AUFWAND.....	56
4.2	DAS SCREENINGMODELL	60
4.3	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	61
4.3.1	Vergleich der Pass/Fail-Raten	62
4.3.2	Vergleich der Pass/ Fail-Raten, patientenbezogene Auswertung	62
4.3.2.1	Vergleich Pass/Fail-Raten, messungsbezogene Auswertung	63
4.3.3	Übereinstimmung der Screeningergebnisse	63
4.3.4	Mögliche Ursachen für hohe initiale „Fail“-Raten	65
4.3.5	Altersverteilung zum Messzeitpunkt	66
5	ZUSAMMENFASSUNG	67
6	ANHANG	68
7	LITERATURVERZEICHNIS	73

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Nummer</i>	<i>Seite</i>
Abbildung 1: Anatomie des Ohres (Internet Wikipedia commons) http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Ear-anatomy.png	7
Abbildung 2: Schema der afferenten Hörbahn mit ihren Verbindungen zum Zerebellum und der Retikulärformation (aus: Guski, Rainer (1996): Wahrnehmen -ein Lehrbuch. Stuttgart: Kohlhammer	16
Abbildung 3: Altersverteilung bei Erstuntersuchung	19
Abbildung 4: Geschlechterverteilung	20
Abbildung 5: BERAphon®	22
Abbildung 6: An diesen Stellen wird das Elektrodengel in die Haut in Pfeilrichtung eingerieben.	23
Abbildung 7: Aufsetzen des BERAphon®	24
Abbildung 8: Aufbau des BERAphon® mit integrierten Elektroden und Mikrofon	24
Abbildung 9: Typisches Zeitgang.BERA Muster.....	25
Abbildung 10: MB 11 Startbildschirm.....	28
Abbildung 11: Testergebnis "Unauffällig"	30
Abbildung 12: Testergebnis "Kontrolle"	31
Abbildung 13: Organigramm Untersuchungsprotokoll.....	32
Abbildung 14: Organigramm der patientenbezogenen Auswertung mit der visuellen BERA..	40
Abbildung 15: Organigramm patientenbezogene Auswertung mit der BERA MB 11	43
Abbildung 16: Ergebnisse der BERA MB 11 bei visuellem BERA-Ergebnis "Pass"	45
Abbildung 17: Ergebnisse der MB 11 bei visuellem BERA-Ergebnis "Fail"	46
Abbildung 18: Übereinstimmung der Ergebnisse visuelle BERA und neue BERA MB11	47
Abbildung 19: Messzeitenverteilung bei Messung mit der neuen BERA MB11	48
Abbildung 20: Vigilanzmessung	49
Abbildung 21: Verteilung der "Pass"-und "Fail"-Raten in Altersabhängigkeit mit der konventionellen BERA.....	52
Abbildung 22: Verteilung der "Pass"- und "Fail"-Rate in Altersabhängigkeit mit der neuen BERA	52

1 Einleitung

Für eine erfolgreiche Behandlung frühkindlicher Hörstörungen ist eine rechtzeitige Diagnose die entscheidende Voraussetzung. Werden Hörstörungen zu spät erkannt, können irreversible Störungen in der weiteren Hörentwicklung von Kindern die Folge sein. Dabei kommt es zur Beeinträchtigung der Sprachleistungen, die soziale Integration ist gefährdet, weiterhin kann es zu emotionalen Schwierigkeiten dieser betroffenen Kinder kommen.

Aufgabe von Hörscreening-Untersuchungen bei Neugeborenen als medizinische Vorsorgeuntersuchung ist es, aus der Gesamtheit aller Neugeborenen jene heraus zu filtern, bei denen eine Schädigung des Hörorgans vorliegt (Shehata-Dieler et al., 2000). In Europa und Nordamerika sind 1 bis 2 Kinder pro 1000 Lebendgeburten von einer behandlungsbedürftigen beidseitigen Schwerhörigkeit betroffen (Davis und Wood, 1992). In der Gruppe der Kinder von Neugeborenen-Intensivstationen und Kindern mit Risikofaktoren steigt die Häufigkeit, dass eine Hörstörung auftritt auf eine von 50 Lebendgeburten (Northern und Downs, 1984). Hier ist ein generelles Screeningverfahren mit hirstammaudiometrischer Prüfung Standard der Diagnostik (Eavery et al., 1996).

Es ist heute bekannt, dass Screening-Programme, die sich ausschließlich auf Tests innerhalb der Risiko-Gruppe stützen, 50% der Neugeborenen mit Hörstörungen nicht herausfinden können (Mauk et al., 1991).

Diese gesamten wissenschaftlichen Untersuchungen, Daten und Fakten unterstützen die Forderung nach der Einführung eines universellen Hörscreening-Verfahrens, damit Neugeborene mit Hörstörungen möglichst frühzeitig erkannt und einer Therapie zugeführt werden können.

Bereits 1993 wurden Empfehlungen von den „National Institutes of Health“ (NIH Consensus Statement 1993) und von der „European Consensus Development Conference on Neonatal Hearing Screening“ (Mailand, 15.-16.Mai 1998; Welzl-Müller, 1998) ausgesprochen und ein allgemeines Hörscreening innerhalb der ersten drei Monate gefordert. Bis zu diesem Zeitpunkt sollten alle Kinder mit einer Hörstörung diagnostiziert sein, so dass bereits im ersten Lebenshalbjahr mit einer Therapie begonnen werden kann (Joint Committee on Infant Hearing, 1994, National Institutes of Health, 1993).

1.1 Geschichte des Neugeborenen-Hörscreenings

In den Vereinigten Staaten wurden in den 60er Jahren die ersten Mitteilungen über Hörscreening-Untersuchungen publiziert (Downs und Sterritt, 1964). Dabei fanden die ersten Screeninguntersuchungen bei Kindern mit erhöhtem Risiko für Hörstörungen statt. Es wurden vor allem Methoden der Verhaltensaudiometrie und Weckreaktionen verwendet (Gravel und Tocci, 1998; Northern und Downs, 1978; Downs und Hemenway, 1969). Diese Untersuchungen erwiesen sich für ein aussagekräftiges Screening als wenig geeignet (Feinmesser und Tell, 1976; Feinmesser und Tell, 1976; Jacobson und Moorehouse, 1984). Das „Joint Committee on Infant Hearing“ (JCIH) machte schon 1970 auf die Notwendigkeit einer möglichst frühen Identifizierung von Kindern mit einer Hörstörung aufmerksam (Joint Committee on Infant Hearing, 1972). Diese Aussage wurde in den folgenden Jahren mehrmals ergänzt und aktualisiert (Joint Committee on Infant Hearing, 1982; Joint Committee on Infant Hearing, 1991; Joint Committee on Infant Hearing, 1995). Seit 1994 enthält dieses Statement eine zehn Punkte Liste über Risikofaktoren für Hörstörungen bei Neugeborenen (Liste 1 Risikofaktoren des JCIH)(Joint Committee on Infant Hearing, 1995).

1. Family history of hereditary childhood sensorineural hearing loss.
2. In utero infection, such as cytomegalovirus, rubella, syphilis, herpes, and toxoplasmosis
3. Craniofacial anomalies, including those with morphological abnormalities of the pinna and ear canal.
4. Birth weight less than 1500 grams (3.3 lbs).
5. Hyperbilirubinemia at a serum level requiring exchange transfusion.
6. Ototoxic medications, including but not limited to the aminoglycosides, used in multiple courses or in combination with loop diuretics.
7. Bacterial meningitis.
8. Apgar scores of 0 to 4 at 1 minute or 0 to 6 at 5 minutes.
9. Mechanical ventilation lasting 5 days or longer.

10. Stigmata or other findings associated with a syndrome known to include a sensorineural and/or conductive hearing loss.

Liste 1: Risikofaktoren des JCIH für eine sensorineurale und/oder Schallleitungsschwerhörigkeit (Joint Committee on Infant Hearing, 1995)

Zwischen 1960 und 1980 wurden verschiedene Testmethoden für ein Hörscreening entwickelt. Die Methoden der „Cardiovascular Response Audiometry“ (Bartoshuk, 1962; Graham, Clifton und Hatton, 1968; Schachter, Williams, Khachaturian, Tobin, Kruger und Kerr, 1971), die der automatisierten Verhaltenstests (z.B. „Auditory Response Cradle“ (Bennett, 1979), „Crib-o-gram“ (Simmons, 1976)) und einem Stapediusreflex-Test (Himmelfarb, Shanon und Popelka, 1978) waren zwar zeitsparend, zeigten aber zu wenig Sensitivität und Spezifität. Eine andere Methode registrierte Bewegungen des Kindes, die aufgrund einer Tonstimulation zustande kamen (Marcellino, 1986). Bei diesem Test lagen die „false-positive“-Raten zwischen 14% (Müller und Simmons, 1984) und 20% (Marcellino, 1986) und erwiesen sich dadurch als wenig effizient. Dieses Verfahren wurde durch verhaltensaudiometrische Tests verbessert, doch trotz erhöhter Sensitivität und Spezifität zeigte dieses Vorgehen Mängel, da nur Kinder mit Risikofaktoren und damit nur 50% aller Kinder mit Hörminderung erfasst wurden (Durieux-Smith und Jacobson, 1985).

Es zeigte sich, dass die Verhaltensaudiometrie als aussagekräftiges Neugeborenen-Hörscreening nicht geeignet war, so dass nur objektive Untersuchungsverfahren in Frage kamen. Dabei haben zwei Methoden besondere Bedeutung erlangt:

- Elektrophysiologische Testverfahren, vor allem die Ableitung früher akustisch evozierter Potentiale (FAEP), die erstmals 1974 bei Kindern abgeleitet werden konnten (Hecox und Galambos, 1984; Galambos, Hicks und Wilson, 1984). Mit dem Ende der 80er Jahre entwickelten automatisierten BERA-Verfahren, dem ALGO, stand eine Methode zur Verfügung, die zeitsparend und effektiv Hörscreening-Untersuchungen möglich machte (Kileny P, 1984; Jacobson JT et al., 1990).

- Evozierte otoakustische Emissionen (OAE) wurden das erste Mal 1986 aufgezeichnet. Diese Ableitungen wurden 1990 in Rhode Island für ein Neugeborenenhörscreening eingesetzt. Einfach und zeitsparend stand nun mit dieser Methode eine Alternative zum Screeningverfahren der Hirnstammaudiometrie zur Verfügung (Gravel und Tocci, 1998).

Auch in Europa wurden die Forderungen nach einem gemeinsamen Konzept für die Erfassung kindlicher Hörminderung immer lauter. Seit den 90er Jahren beschäftigten sich mehrere Projekte mit diesem Thema. 1993 begann das Projekt „Concerted Action on Otoacoustic Emissions“. In diesem Projekt wurden Screening-Untersuchungen bei Kindern mit Hilfe der OAE durchgeführt und Datenbanken eingerichtet. Weiterhin wurden verschiedene Screeningmethoden untersucht und verglichen, Schulungs- und Aufklärungsveranstaltungen durchgeführt und ein einheitliches Untersuchungsprotokoll erstellt. Im Jahre 1996 folgte der Abschlußbericht dieses Projektes, mit dem Ergebnis, dass im Jahre 1995 über 60000 Säuglinge mehr untersucht wurden als im Jahr 1993 (Grandori und Lutmann, 1996).

Seit April 1996 steht in Deutschland mit dem „Deutschen Zentralregister für kindliche Hörstörungen“ (DZH) eine Datenbank über Ursachen, Diagnose, Therapiezeitpunkt und -art, sowie eine Auflistung von Risikofaktoren von Hörstörungen zur Verfügung (Heinemann, 1998).

Im Mai 1998 wurde in Mailand die „European Consensus Development Conference“ (ECDC) abgehalten. Auf dieser Veranstaltung wurde der erste Europäische Konsens zum Neugeborenen Hörscreening präsentiert (Ptok, 1998). Es wurde erstmals eine gemeinsame Definition für kindliche Hörstörung erstellt. So wurde die Grundlage für weitere Untersuchungen und Screeningverfahren geschaffen.

An der Universität Würzburg wird seit 1997 durch die Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke ein allgemeines Neugeborenen-Hörscreening an der Universitäts-Frauenklinik durchgeführt.

1.2 Ursachen von Schwerhörigkeit bei Neugeborenen

Ungefähr 50 Prozent aller mittel- bis schwergradigen permanenten Schwerhörigkeiten, die bei der Geburt oder in der frühen Kindheit auftreten sind durch genetische Faktoren bedingt. Rezessive Vererbung ist der Grund bei 10 Prozent der Fälle, dominante Vererbung betrifft 10 Prozent und geschlechtsspezifische 1 bis 2 Prozent. Kongenitale Infektionen spielen bei 10 bis 20 Prozent als Ursache eine Rolle, weitere 10 bis 15 Prozent sind Folge einer Frühgeburt oder perinataler Komplikation (z.B. Asphyxie, Hyperbilirubinämie oder Beatmungsschwierigkeiten) (Allen und Schubert-Sudia, 1990). Ein Drittel der Fälle kommt bei verschiedenen Syndromen vor (Gerber, 1990). Die verbleibenden 30 Prozent der auftretenden Schwerhörigkeiten sind keiner eindeutigen Ursache zuzuordnen (Watson et al., 1996).

1.3 Folgen von unbehandelten Hörstörungen

In Deutschland wird die Erstdiagnose meist durchschnittlich in einem Alter von 2,5 Jahren gestellt (H. von Wedel et al. 1988; Hartmann H, Hartmann K 1993). Dabei korreliert der Diagnosezeitpunkt stark mit dem Grad der Hörstörung (Gross M et al., 1999). Das Durchschnittsalter bei der Diagnose leichter Hörstörungen liegt bei 74 Monaten, einer mittelgradigen bei 53 Monaten, einer hochgradigen bei 29 Monaten und bei einer an Taubheit grenzenden bei 21 Monaten (Finckh-Krämer U et al.1998). Diese Ergebnisse führen zu dem Schluß, dass die Diagnose frühkindlicher Hörstörungen immer noch zu spät gestellt wird, um Beeinträchtigungen von Sprachentwicklung, kognitiven Fähigkeiten und sozialer Integration zu verhindern. Nach statistischen Untersuchungen wird in ungefähr 60% der Ereignisse die Annahme einer Hörstörung bei Kleinkindern zuerst von den Eltern und erst in 12% vom Kinderarzt bzw. 8% vom HNO-Arzt getroffen (Hartmann, K. 1981).

Der anzustrebende Zeitpunkt der Erstdiagnose von Hörminderungen bei Neugeborenen liegt in den ersten drei Lebensmonaten. Spätestens ab dem sechsten Lebensmonat sollte eine Therapie begonnen werden (Biesalski und Frank, 1994; National Institutes of Health Consensus Statement 1993, Joint Committee on Infant Hearing Statement 1994).

Vorraussetzung für die Entwicklung des sensorischen Nervensystems ist eine ständige Stimulation. Das Zentralnervensystem des Kleinkindes weist neuronale Strukturen für den Spracherwerb auf, deren Ausreifung hochsensitiv an auditorische Reize gebunden sind. Wird diese kritische Phase verpasst, verliert sich die Sensitivität gegenüber den auditiven Stimuli irreversibel. Die neuronale Plastizität des Nervensystems nimmt stark ab, die verpassten Entwicklungsschritte sind nur noch rudimentär nachzuholen. Aus diesem Grund ist es essentiell, das Hörsystem des schwerhörigen Kindes so früh wie möglich durch akustische Reize zu fördern (Zenner HP, 1997; Ptok M, 2004). Seit den 60er Jahren weiß man, dass die menschliche Cochlea ab der 20. Schwangerschaftswoche voll funktionsfähig ist (Elliott GB, Elliot KA, 1964; Johansson B et al., 1964). Man geht heute davon aus, dass es eine kritische Zeitspanne des Spracherwerbs gibt, die ungefähr bis Ende des zweiten Lebensjahres andauert (Albegger KW, 1998). Während dieser Periode befinden sich Strukturen der zentralen neuronalen Verarbeitung akustischer Stimuli, d.h. Synapsen, Nervenbahnen und auditorischer Kortex, in der Ausreifung (Matschke RG et al., 1991). Können sich diese Strukturen nicht vollständig entwickeln, sind die Folgen häufig Sprach- und Hörstörungen (Albegger KW, 1998; Gravel, JS et al., 1998). Eine absolute Taubheit kann bei vollständigen Ausbleiben der Stimm- und Sprachentwicklung zur Taubstummheit, Surdomutitas führen. Sogar ein geringgradiger, dauerhafter Hörverlust kann zu einer gestörten Entwicklung des Hörvermögens führen (Mason et al., 1998). Bei einer frühkindlichen Hörstörung kommt es folglich zu einer Fehlentwicklung des auditiven Spracherwerbs, zur Störung der lautsprachlichen Kommunikation bis hin zur mangelhaften Entwicklung der abstrakten Intelligenz. Die auditiv nicht wahrgenommene Zuwendung der Mutter kann zusätzlich zu Auffälligkeiten im Verhalten führen. Psychosoziale und emotionale Schwierigkeiten sind die Folge. Aufgrund der verspäteten Diagnostik kann auch das therapeutische Vorgehen erst verspätet einsetzen. Daraus entstehen individuelle Nachteile in Hinblick auf Bildung und Berufsausbildung ebenso wie hohe volkswirtschaftliche Kosten zum Ausgleich dieser Chancenungleichheit (Schulze-Gattermann H et al. 2003). Die Vorteile einer frühzeitigen Versorgung mit Hörgeräten oder Kochlea-Implantaten sind allgemein anerkannt und durch viele klinische Erfahrungen bestätigt und in einer Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen belegt (Diller G, Graser P, Schmalbrock C 2001; Yoshinaga-Itano C 1999).

1.4 Anatomische Grundlagen sowie Schallübertragung

Zum Verständnis der funktionellen Zusammenhänge sind bestimmte Kenntnisse der Anatomie und Physiologie des äußeren Ohres bis zur zentralen Hörrinde Voraussetzung.

Anatomisch lässt sich das Hörorgan in einen peripheren und einen zentralen Anteil untergliedern. Zum peripheren Anteil gehören äußeres Ohr, Mittelohr, Innenohr und Pars cochlearis des N. vestibulocochlearis (Becker W, Naumann H, Pfaltz C, 1989).

Zum zentralen Anteil gehört die Hör- und die Gleichgewichtsbahn. Dabei handelt es sich um Verbindungen von Nerven, die aus dem Hör- bzw. Gleichgewichtsorgan entspringen und von dort über Zwischenstationen zum Gehirn laufen.

Die anatomisch-morphologische Grenze zwischen peripherem und zentralem Anteil befindet sich an der Eintrittsstelle des N. cochlearis in den Hirnstamm. Das funktionelle Ende der peripheren Neurone liegt in den primären auditorischen Zentren (Böhme G, Welzl - Müller K, 1988).

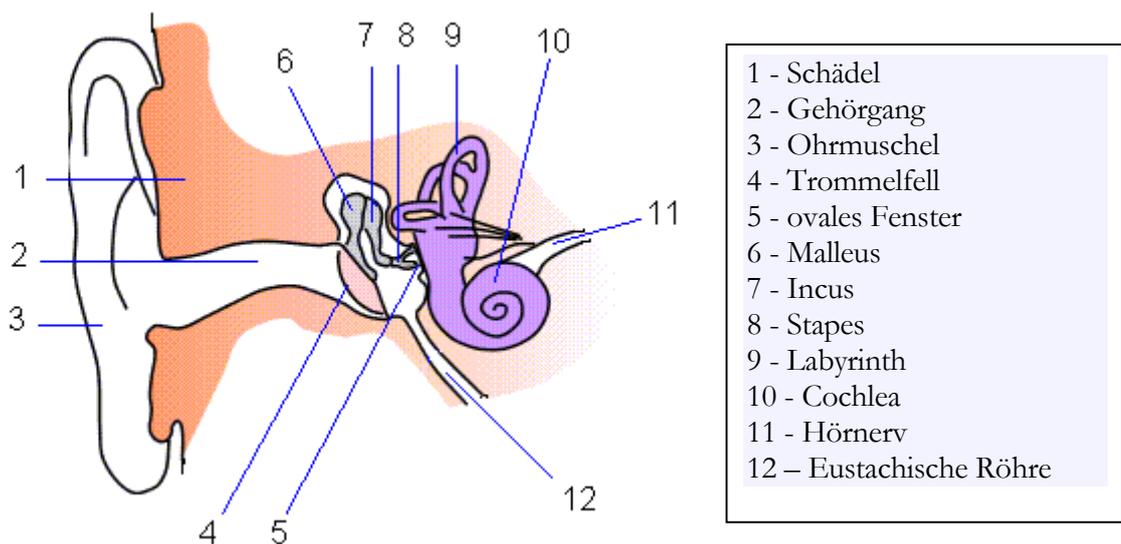


Abbildung 1: Anatomie des Ohres (Internet Wikipedia commons)
<http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Ear-anatomy.png>

Der äußere Gehörgang (Meatus acusticus externus) verbindet die Ohrmuschel mit dem Trommelfell. Er besteht aus einem etwa 2,5 cm langen und 7 mm breiten Gang, der außen aus Knorpel und innen aus Knochen besteht. Knorpeliger und knöcherner Anteil sind gegeneinander abgewinkelt. Neben einer Schutzfunktion übernimmt das Aussenohr einen Teil der Schalldrucktransformation (Böhme G, Welzl - Müller K, 1988; Frick H, Leonhardt H, Starck D, 1992).

Durch das Trommelfell getrennt, schliesst sich das Mittelohr an, das sich aus der Cavitas tympanica mit den Gehörknöchelchen (Malleus, Incus und Stapes), sowie Muskel- und Leitungsbahnen zusammensetzt. Die Mittelohrräume stellen ein mit Luft gefülltes Hohlraumssystem dar, welches über die Tuba auditiva belüftet wird (Becker W, Naumann H, Pfaltz C, 1989; Böhme G, Welzl-Müller K, 1988; Gray H, 1973; Poeck K, 1994). Nach lateral wird das Mittelohr durch das Trommelfell begrenzt, das über die schallleitenden Gehörknöchelchen mit dem ovalen Fenster der medialen Wand verbunden ist. Die Gehörknöchelchen leiten die durch die Schallwellen hervorgerufene Vibration des Trommelfells zum Innenohr weiter (Becker W, Naumann H, Pfaltz C, 1989; Feneis H, 1992; Frick H, Leonhardt H, Starck D 1992; Gray H 1973; Rohen I, Yokochi C 1993).

Der Trommelfell-Gehörknöchelchenapparat dient als Anpassungsglied bzw. Impedanzwandler, durch den der Schall entscheidend transformiert wird. Die Trommelfelloberfläche beträgt ca. 55 mm^2 , die der Steigbügelplatte gut 3 mm^2 , woraus sich ein Flächenverhältnis von ca. 17 errechnet. Dieser Faktor ergibt zusammen mit dem Hebelarmfaktor an der Steigbügelplatte eine Schalldruckverstärkung um etwa den Faktor 22 (Maurer, 1982). Von großer Bedeutung sind auch die Hebelwirkung auf den Hammergriff (Krafterhöhung um das 1,3fache), die Steifigkeit der Ligamenta und Muskeln, der Massen- und Reibungsverlust beim Luftstrom durch die pneumatischen Räume sowie die Eingangsimpedanz der Cochlea. Neben der Transformation hat das Mittelohr auch eine Schutz- und Demaskierungsfunktion. Beides wird durch die Mittelohrmuskeln, M. tensor tympani und M. stapedius, erreicht, die während der akustischen Stimulation aktiviert werden (Böhme G, Welzl-Müller K, 1988; Silbernagel S, Despopoulos A, 1991).

Beim Übergang der Schallwellen von einem Luftmedium (Gehörgang) auf ein Flüssigkeitsmedium (Innenohr) wäre der Verlust der Schallenergie durch Reflexion sehr hoch. Durch die Schalldruckverstärkung im Mittelohr erfolgt eine Anpassung der

Schallwellenimpedanzen bei der Übertragung der Schallenergie auf die Flüssigkeit des Innenohres.

Hier entsteht die von Bekesy (1942, 1960) beschriebene Wanderwelle mit ihrem frequenzspezifischen Amplitudenmaximum, wobei durch die Auslenkung der Basilarmembran und die dadurch verursachte Verbiegung der Haarzellhärchen (elektromechanische Kopplung) das entsprechende Nervenaktionspotential (AP) entsteht.

Die äußeren Haarzellen reagieren bereits auf eine geringe Auslenkung ihrer Haarbündel mit einer aktiven Längenänderung ihres gesamten Zellkörpers. Dazu sind die äußeren Haarzellen durch ein besonderes Membranprotein, das Prestin befähigt. Das ist ein kontraktiles Protein in der Plasmamembran, das sich potenzialabhängig verkürzt oder verlängert. Transgene Mäuse, denen das Gen für Prestin fehlt, haben eine stark herabgesetzte Hörempfindlichkeit. Dies gilt als Beweis dafür, dass die Prestin-Motoren in der Zellmembran der äußeren Haarzellen den Schall innerhalb des Innenohres verstärken und die Frequenzselektivität erhöhen. Die äußeren Haarzellen beeinflussen die mechanischen Schwingungen des Systems Basilarmembran-Schneckenkanal. An der Resonanzstelle werden die Schwingungen verstärkt und hierdurch die inneren Haarzellen stärker stimuliert. Jenseits der Resonanzstelle werden die Schwingungen stark gedämpft, die entsprechende Frequenz breitet sich kaum weiter aus. Hierdurch wird die Frequenzselektivität des Innenohres größer, die Zerlegung von Klängen oder von menschlicher Sprache in einzelne Tonfrequenzen wird erleichtert („cochleärer Verstärker“). Ein weiterer Effekt ist, dass hohe Frequenzen, die in der Nähe des ovalen Fensters ihre Resonanzstelle besitzen, keine Anregung der inneren Haarzellen für tiefe Frequenzen bewirken. Tiefe Frequenzen, die erst in der Nähe des Helicotrema ein Erregungsmaximum hervorrufen, erregen andererseits aber auch die für die hohen Frequenzen zuständigen Haarzellen. Die OAE's (Otoakustischen Emissionen) werden im Innenohr von den äußeren Haarzellen erzeugt. Diese haben verschiedene Mechanismen, um sich zu verkürzen, damit die Basilarmembran aktiv und frequenzspezifisch vorgespannt werden kann. Diese Funktion führt zu einer Verstärkung des mechanischen Schallreizes, so dass bereits bei wenig Schallenergie die für die Reizweiterleitung auf den Hörnerven zuständigen inneren Haarzellen erregt werden. Die Aktivität der äußeren Haarzellen wird durch verschiedene Einflüsse vom Gehirn und Stationen der Hörbahn beeinflusst. Die aktive

Anspannung der Basilarmembran erzeugt die akustische Energie, die als OAE messbar ist. Daher sind OAE nur bei gesunden Ohren nachweisbar, bei Veränderung oder Ausfall der Haarzellen bleiben die OAE aus.

Das entstandene Aktionspotential wird anschließend entlang der bipolaren Nervenzellen des Ganglion spirale, dessen zentrale Fortsätze den N. acusticus bilden, weitergeleitet, tritt lateral in den Hirnstamm ein und wird an zwei benachbarten Kernen, Nucl. Cochlearis ventralis und dorsalis, auf das zweite Neuron umgeschaltet. Dieses leitet die Impulse über die unteren vier Hügel und die medianen Kniehöcker zu den akustische Rindengebieten weiter.

Die Fasern des Nucl. Cochlearis ventralis kreuzen als Trapezkörperfasern zur Gegenseite, wo sie z.T. im Nucl. corporis trapezoidei, z.T. im Nucl. dorsalis corporis trapezoidei umgeschaltet werden. Sie verlaufen dann im Lemniscus lateralis bis zu den Nucleis lemnisci laterales.

Die Fasern des Nucl. cochlearis dorsalis laufen z.T. ipsilateral, z.T. kreuzen sie als Striae medullares oder durch die Formatio reticularis auf die Gegenseite. Sie ziehen ebenfalls im Lemniscus lateralis weiter.

In diesem ziehen die Fasern zu den Colliculi inferiores im Mittelhirn, von da aus weiter zum Corpus geniculatum mediale im Thalamus, und von dort als sog. Hörstrahlung zur Hörrinde im Gyrus temporalis transversus (Area 41 nach Brodmann) sowie zu den sekundären Hörfeldern an der Außenseite des Temporallappens (Rohen, 1985; Maurer 1982,1985).

1.5 Alternative Hörscreeningmethoden

Es stehen verschiedene Hörscreeningmethoden zur Erfassung von frühkindlichen Hörstörungen zur Verfügung z.B. die Reflexbeobachtung auf ein akustisches Signal (Matschke RG, 1993) oder der Distractions-Test (Mott A, Emond A, 1994), der bei Kindern im Alter von sieben bis neun Monaten genutzt wird. Für die Diagnostik von Hörstörungen bei Neugeborenen und zur Hörschwellendiagnostik eignen sich vor allem zwei objektive und nicht-invasive Verfahren: die OAE (Aufzeichnung evozierter otoakustischer Emissionen) (Kemp DT, 1978) und die Hirnstammaudiometrie (BERA) (Hoth S, Lenarz T, 1994; Jewett

DL, Williston JS, 1971). Diese Verfahren erweisen sich bei Hörtests von Neugeborenen als besonders geeignet, da sie keiner Mitarbeit des Probanden bedürfen und auch während des Schlafes durchgeführt werden können.

Als otoakustische Emissionen wird der Schall bezeichnet, der von den äußeren Haarzellen der Cochlea abgeschickt und mit Hilfe eines Mikrofons im äußeren Gehörgang aufgezeichnet wird (Janssen T, 1996). Somit kann die selektive Funktionsfähigkeit der Cochlea, insbesondere die der äußeren Haarzellen getestet werden.

Die AEPs (auditorisch evozierte Potentiale), insbesondere die Ableitung früher akustischer Potentiale (FAEP, die sog. BERA-Untersuchung) spiegeln die bioelektrischen Aktivitäten im auditorischen System bis auf Hirnstammebene nach akustischer Stimulation wider. Somit können Aussagen über die Funktionsfähigkeit der Cochlea und der nachgeschalteten auditorischen Bahnen im Hirnstamm gemacht werden. Die BERA stellt eine der wichtigsten Methoden zur Beurteilung des auditorischen Systems bei Neugeborenen dar, da Reizantworten bereits bei der Geburt auslösbar sind, nicht invasiv von Oberflächen Elektroden abgeleitet werden und bis nahe an die Hörschwelle nachgewiesen werden können. Zusätzlich werden die Antworten von Beruhigungsmitteln nicht beeinflusst und sind damit auch unter Sedierung oder Narkose ableitbar (Hoth und Lenarz, 1994).

Es gibt viele Berichte und Diskussionen, die sich mit der Frage beschäftigen, welche dieser beiden Methoden die bessere Wahl bei der Einführung eines Neugeborenen-Hörscreenings ist.

Bei einem Vergleich der Literatur zur Sensitivität beider Verfahren, weist die Hirnstammaudiometrie Ergebnisse von bis zu 100% auf (Jacobson JT et al., 1990; Watson DR et al., 1996; Herrmann BS et al., 1995; Straaten HLMv et al., 1996). Beim Verfahren OAE werden 80% der schwerhörigen Kinder erkannt (Lutmann ME et al., 1997), jedoch zeigen neuere Berichte, dass ebenfalls Werte bis zu 100% erreicht werden (Reuter G et al., 1998; Bantock HM und Crosson S, 1998). Vorsicht ist geboten bei dem Krankheitsbild der auditorischen Neuropathie. Klinisch kennzeichnend ist ein ausgesprochen schlechtes Sprachverständnis bei relativ gutem Tongehör und messbaren otoakustischen Emissionen (OAE). Es finden sich fehlende oder zumindest pathologische Schwellen von akustisch evozierten Potentialen (AEP). Die Erkrankung wird bei einem auf OAE's basierenden Hörscreening nicht erfasst (Salcher et al., 2007).

Bezüglich der Spezifität erzielte die Hirnstammaudiometrie mit über 90% bis zu 100% ebenfalls die besseren Ergebnisse (Jacobson JT et al., 1990; Herrmann BS et al., 1995; Straaten HLMv, 1996; Mason JA und Herrmann KR, Pediatrics, 1998). Jedoch konnte hier in den letzten Jahren die hohe Falsch-positiv-Rate, d.h. Patienten, die gesund sind, aber als krank erkannt wurden, bei einer Untersuchung mit otoakustischen Emissionen deutlich verringert werden. Es liegen heute Ergebnisse zur Spezifität von über 99% (Bantock HM und Croxson S, 1998) und Falsch-positiv-Raten von unter 0,5% vor (Welzl-Müller K et al., 1997; Maxon AB et al., 1995).

Nach dem Konsens der ECDC, in dem Vorgaben über Sensitivität und Spezifität der genutzten Methode von mindestens 80% und einer Falsch-positiv-Rate von 2-3% gemacht werden (Ptok M, 1998), sind sowohl die OAE, als auch die Hirnstammaudiometrie geeignete Untersuchungsmethoden. Das JCIH und der Konsens zum Neugeborenen-Hörscreening der ECDC überlassen die Entscheidung, BERA- oder OAE-Methode für Hörscreeninguntersuchungen zu verwenden, dem Einzelnen (Ptok M, 1998; Joint Committee on Infant Hearing, 1995).

Seit August 1997 wird in Würzburg in einem zweistufigen Screeningmodell das BERAphon® eingesetzt. Das BERAphon® stellt eine Einheit aus einem Schallwandler und drei Ableitelektroden dar, die mit einem gepolsterten Reifen auf das Ohr des Kindes aufgesetzt wird. So ist ein Gerät gleichzeitig Reizgeber und Empfänger, d.h. die akustisch evozierten Potenziale können abgeleitet werden.

Die zugrunde liegende Methode ist die von Finkenzeller, Erlangen, in Zusammenarbeit mit der Firma Westra, Wertingen, entwickelte Zeitgang-BERA (Finkenzeller P et al., 1998; Finkenzeller P et al., 1996; Finkenzeller P et al. 1997). Der Zeitgangreiz nach Finkenzeller verwendet als Reiz nicht einzelne Klicks sondern „Klickpakete“ mit 6 sehr schnell aufeinanderfolgenden Klicks, deren Intensität sich innerhalb des „Pakets“ von Klick zu Klick um 10dB verringert. Das ganze „Klickpaket“ wird in nur 25ms dargeboten. Die komplexe Zusammensetzung wird so dem Hörer nicht bewusst, jedoch vom Hirnstamm sehr zeitpräzise bearbeitet. Auf diese Weise kann die akustische Verarbeitung sechs verschiedener Reizpegel in einer Messung überprüft und die Hörschwelle mit einer einzigen Mittelung festgestellt werden.

Die Anwendung des BERAphons® ist einfach, der Zeitaufwand durch die Verwendung des Zeitgangreizes wurde deutlich verringert. Durch die Anwendung eines BERA-Verfahrens wird die Forderung nach hoher Sensitivität und Spezifität erfüllt.

Die Anwendung von „Chained Stimuli“ fand sich bei der Elektrocochleographie (Spoor A, 1974). Diese Methode ist bereits seit 1976 durch ihre guten Ergebnisse und zeitsparende Anwendung bekannt (Eggermont JJ et al., 1976). Bei Untersuchungen an Erwachsenen zeigte diese Methode keine signifikanten Unterschiede zur konventionellen BERA bei der Schwellenbestimmung. Signifikant war jedoch die Zeitersparnis im Vergleich zur konventionellen Hirnstammaudiometrie (Spoor A, 1974; Eggermont JJ et al., 1976; Hamill TA et al., 1991; Hamill TA et al., 1992).

Durch die Entwicklung des BERAphons® und die Anwendung des Zeitgangreizes konnten die Nachteile der BERA-Untersuchungen bezüglich zeitlichen und technischen Aufwandes verringert werden.

Seit Dezember 2000 kommt in Würzburg ein weiterentwickeltes Gerät, das Maico MB 11, zur Anwendung. Auch dieses Gerät arbeitet mit dem BERAphon® nach P. Finkenzeller. Dieses Gerät macht eine automatisierte Auswertung der gemessenen Ergebnisse durch die Hilfe eines Computers möglich. Die Empfindlichkeit und Genauigkeit der Messungen hängen von den durch den Untersucher gewählten Testparametern ab und können je nach Umgebungs- und Einsatzbedingungen variiert werden.

Damit steht nun ein BERA-System zur Verfügung, mit dem zeitsparend und mit geringem technischen und personellen Aufwand Hörcreening-Untersuchungen bei Neugeborenen durchgeführt werden können.

1.6 Nomenklatur

Eine recht unübersichtliche und verwirrende Nomenklatur hat sich entwickelt, deren verschiedene Begriffe wie ERA, BERA, AEP etc. oft synonym verwendet werden. Für ein besseres Verständnis sollen die Begriffsdefinitionen hier kurz aufgeführt werden. In Anlehnung an Böhme und Welzl-Müller 1998 wird ein kurzer Abriß der Terminologie gegeben:

ABR auditorisch evozierte Hirnstammantwort (auditory brainstem response)

ABSR	vgl. ABR
AEP	auditorisch evoziertes Potential (auditory/acoustically evoked potential/response)
AER	vgl. AEP
BAEP	auditorisch evoziertes Hirnstammpotential (brainstem auditory evoked potential)
BERA	Messung der elektrischen Aktivität des Hirnstammes nach akustischer Reizung (brainstem evoked response audiometry)
BSER	Hirnstammantwort (brainstem evoked response)
BSP	Hirnstammpotential (brainstem potential)
CERA	Messung später, auditorisch evozierter Potentiale (cortical evoked response audiometry)
ECochG	Elektrocochleographie, Messung der elektrischen Aktivität des Innenohres und der Hörnerven nach akustischer Reizung
EEG	Elektroenzephalogramm, elektrische Spannungsschwankungen, mittels Elektroden von der Kopfoberfläche abgeleitet
ERA	elektrische Reaktionsaudiometrie (electric response audiometry)
FAEP	frühe, auditorisch evozierte Potentiale
MAEP	auditorisch evozierte Antwort mittlerer Latenz
SAEP	spätes auditorisch evoziertes Potential

1.7 Anatomisch-Topographische Zuordnung

Durch das Anlegen von Oberflächenelektroden lassen sich zwischen Vertex und ipsilateralem Mastoid sieben verschiedene Vertexpotentiale mit einer Latenz von 1-10 ms ableiten, deren Generatoren im Hörnerv und in der Hörbahn im Hörstamm und im Zwischenhirn liegen. Es gilt die allgemeine Regel, dass mit kürzerer Latenz eines akustisch ausgelösten Potentials auch eine genauere Zuordnung zu anatomischen Strukturen gelingt. Dies trifft vor allem auf die FAEP (frühe akustisch evozierte Potentiale) zu, deren Zuordnung zu bestimmten anatomischen Strukturen von vielen Autoren als gesichert angesehen wird. Die Nomenklatur erfolgt nach Jewett und Williston, (1971) und wird mit römischen Zahlen benannt und entweder als Wellen I-VII oder als Jewett I-VII beschrieben.

- Welle J I wird dem distalen Nervus acousticus zugeordnet (Buchwald JS, Huang C, 1975).
- Die Welle J II entsteht im proximalen Anteil des N. cochlearis und zu einem kleineren Anteil im Nucleus cochlearis (Hashimoto I et al., 1980),
- J III kommt vom Nucleus cochlearis und zu einem geringeren Anteil von Neuronen, die in den Nucleus cochlearis eintreten und so den Nucleus cochlearis- Komplex bilden.
- J IV von Neuronen der dritten Ordnung, vorwiegend aus dem Bereich der oberen Oliven, aber auch vom Nucleus cochlearis und dem Lemniscus lateralis,
- und Welle J V entsteht im Kerngebiet des Lemniscus lateralis beider Seiten und den unteren Zueihügeln (Scherg M und von Cramon D, 1985; Lenhardt E et al., 1996),
- und die Wellen VI und VII stammen mit grosser Wahrscheinlichkeit vom Zwischenhirn und den primären auditorischen Kortex (Jewett D, 1971; Böhme G, Welzl – Müller K, 1988).

Anchor und Starr (1980) kamen dagegen zu dem Ergebnis, dass außer Welle J I die folgenden Wellen durch Aktivität und Überlagerung mehrerer Zentren entstehen. Maurer (1982, 1985) ordnet nur Welle I als Summenaktionspotential des Anfangsteils des Nervus acousticus einer definierten anatomischen Region zu, die restlichen Wellen lassen sich ihm zufolge lediglich umschriebenen topographischen Regionen zuordnen. Danach entsteht Welle J II im dorsolateralen Teil der Medulla, Welle J III in der caudalen Brücke, Welle J IV der rostralen Brücke und Welle V kann dem Mittelhirn zugeordnet werden.

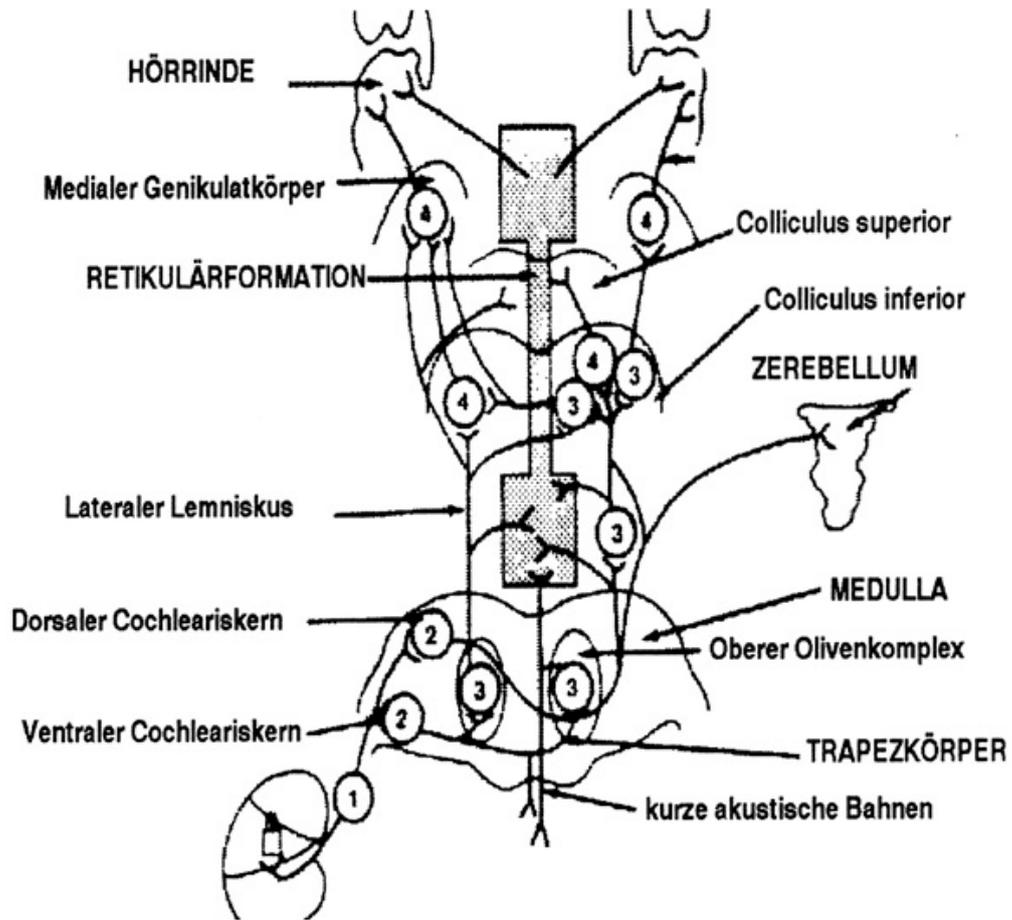


Abbildung 2: Schema der afferenten Hörbahn mit ihren Verbindungen zum Zerebellum und der Retikulärformation (aus: Guski, Rainer (1996): Wahrnehmen -ein Lehrbuch. Stuttgart: Kohlhammer

1.8 Problemstellung

Es existiert mit der BERA-Messung eine Methode, mit der Hörschäden bei Neugeborenen mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit aufgedeckt werden können. Bisher war diese Untersuchung kosten- und zeitintensiv. Um diese Methode beim Neugeborenen-Hörscreening einsetzen zu können, wurde das automatische BERA-Testsystem MAICO MB11 entwickelt.

Es stellt sich die Frage, ob ein Unterschied in den Ergebnissen zwischen konventioneller BERA-Messung und automatisierter BERA-Messung besteht.

Ein solches automatisiertes Meßsystem würde die Einführung eines flächendeckenden allgemeinen Hörscreenings ermöglichen.

1.9 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit war es, die Eignung des automatisierten Maico-MB 11 Testsystem beim allgemeinen Neugeborenen-Hörscreening auf der Basis eines bewährten Screeningmodells an der Universität Würzburg nachzuweisen.

Es sollte überprüft werden, ob die automatisierte BERA-Methode für das Hörscreening von Neugeborenen hinsichtlich Sensitivität, Spezifität, Reliabilität und Bedienbarkeit geeignet ist. Es war nachzuprüfen, ob die Ergebnisse des automatisierten BERAphon® vergleichbar zuverlässige Ergebnisse bei der Erkennung von Hörstörungen bei Neugeborenen erreichen, wie die Ergebnisse mit dem Standardverfahren der visuellen BERA-Auswertung. Wichtige Faktoren hierbei sind Personalkosten, zeitlicher Aufwand, Materialkosten und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

2 Material und Methoden

2.1 Probanden

Zwischen Dezember 2000 und Juni 2001 nahmen an der Universitäts-Frauenklinik Würzburg 368 Neugeborene am Hörscreening teil. In diesem Zeitraum wurde das Screening parallel mit zwei verschiedenen Auswertmethoden durchgeführt. Es handelte sich dabei um Kinder der Neugeborenenstationen sowie des Perinatalzentrums. Die Kinder wurden in der Reihenfolge ihres Zugangs auf die Station berücksichtigt und in diese Studie integriert. Den Hörtests ging eine Information der Eltern mittels einer Aufklärungsbroschüre (siehe Anhang 1 und 2) voraus. Die Zustimmung der Eltern zur Durchführung dieser Tests war obligatorisch. Die Daten der Neugeborenen wurden anhand eines standardisierten Formulars (Anhang 3) erfasst. Die wichtigsten persönlichen Daten der Neugeborenen wurden in die Computerdatenbank aufgenommen, um zur späteren Auswertung zur Verfügung zu stehen. Es wurde auch dokumentiert, dass 56 Kinder auf der Perinatalstation „Wolke“ betreut wurden, das entspricht 15,22% des Gesamtkollektives.

2.1.1 Altersverteilung

Bei der Untersuchung der Neugeborenen wurden Geburtsdatum und Untersuchungsdatum notiert (Abbildung 3: Altersverteilung bei Erstuntersuchung). Das Alter der Neugeborenen bei der Erstuntersuchung lag zwischen 24 Stunden und 17 Tagen. Bei 6 Neugeborenen fehlen Angaben über das Geburtsdatum. Der Hauptteil der Kinder (292 von 362) war zwischen 24 Stunden und 3 Tagen alt. 13 Neugeborene waren älter als 6 Tage, darunter befanden sich auch die Kinder des Perinatalzentrums, die erst zu einem späteren Zeitpunkt untersucht werden konnten.

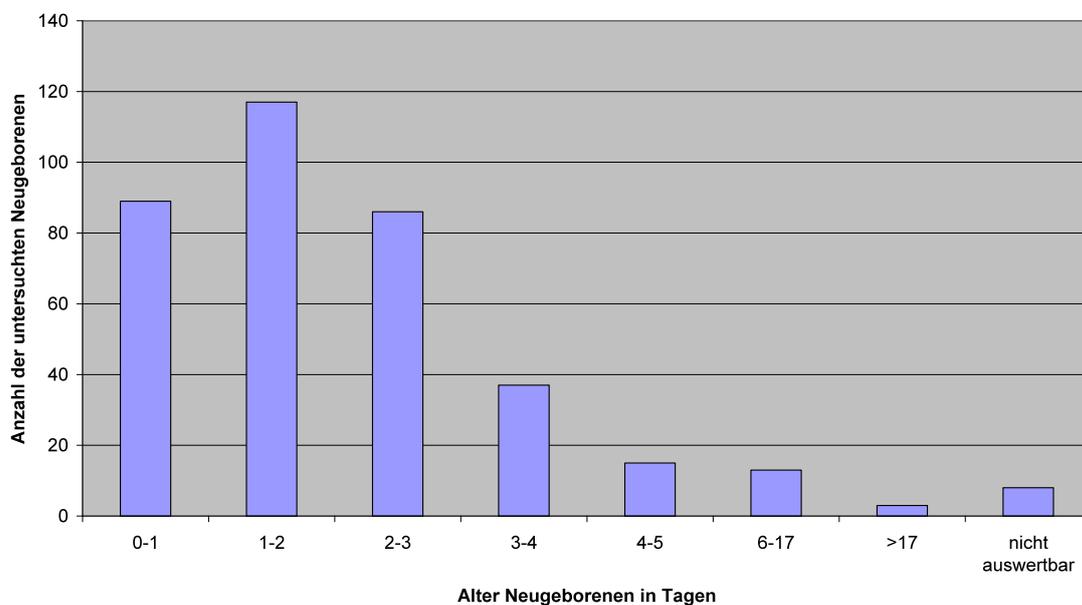


Abbildung 3: Altersverteilung bei Erstuntersuchung

Mit dem Hörscreening wurden 210 männliche und 158 weibliche Kinder untersucht, das entspricht einer prozentualen Geschlechterverteilung von 57,07% zu 42,93%.

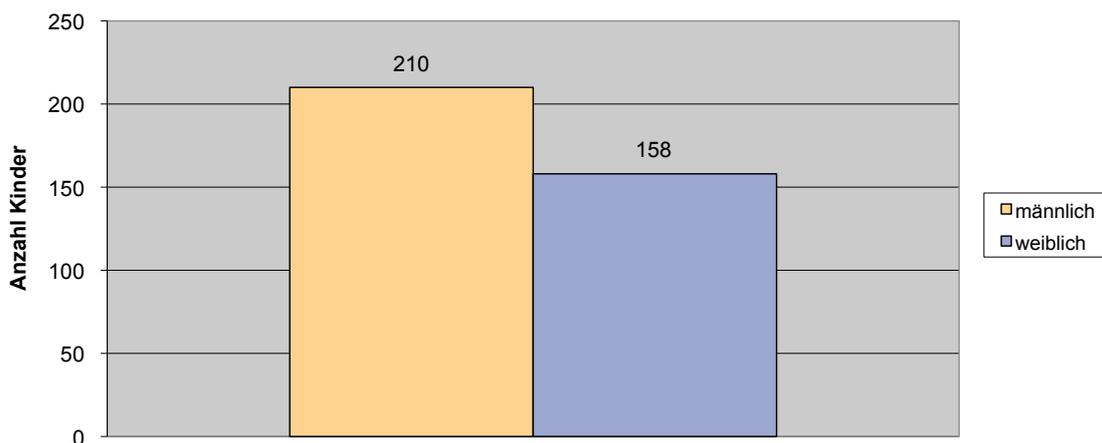


Abbildung 4: Geschlechterverteilung

2.1.2 Risikofaktoren

Die 368 untersuchten Neugeborenen wurden anhand von Risikofaktoren (Vgl. Liste 1) für Hörminderung in zwei Gruppen eingeteilt. Die Gruppe der Neugeborenen ohne Risikofaktoren für eine Hörminderung enthielt 339 Kinder, die Gruppe mit Risikofaktoren zählte 29 Kinder. Dies entspricht einer prozentualen Verteilung von 92,12% Nicht-Risikokindern und 7,88% Risikokindern. 28 der 29 Kinder mit Risikofaktoren wurden auf der Perinatalstation „Wolke“ der Universitätskinderklinik betreut. Eltern, deren Kinder Risikofaktoren für eine Hörminderung aufwiesen, wurden darüber informiert. Es wurde empfohlen bei diesen Neugeborenen nach 6 bis 12 Monaten einen erneuten Hörtest durchzuführen, um eine später auftretende oder eine mögliche progredient verlaufende Schwerhörigkeit frühzeitig auszuschließen.

2.2 Meßgeräte

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden zwei verschiedene BERA-Systeme verwendet.

Zum einen wurde konventionell mit der Westra ERA QS/04 von der Firma WESTRA Electronic GmbH, Wertingen, Deutschland, und dem BERAPHON® gemessen, welches sich auf die Messung der BERA unter Verwendung des Zeitangreizes stützt. Anschließend war eine visuelle Auswertung durch eine Fachperson erforderlich.

Zum anderen wurden Messungen mit der neuen BERA, dem Maico MB 11 von der Firma Maico- Diagnostics, ein weiterentwickeltes System mit automatischer Computerauswertung des objektiven Hörtest und dem BERAphon® durchgeführt.

Die Westra ERA QS/04 umfasst:

- einen IBM-kompatiblen PC mit Monitor
- einen Drucker
- eine PC-Einsteckkarte
- eine externe ERA-Einheit mit Netzteil (sog. BERA-Box)
- das BERAphon®

Die Darstellung der Messergebnisse erfolgte am Bildschirm, wurde im Computer abgespeichert und anschließend durch eine Fachperson interpretiert.

Demgegenüber verwendet die neue BERA MB11 Algorithmen, die eine automatische Interpretation der Meßergebnisse durchführen (siehe Kapitel 2.2.4.). Die Ergebnisse stehen direkt zur Verfügung.

Die BERA MB 11 besteht aus folgenden Teilen, die sich in einem gepolsterten Alukoffer befinden:

- Maico MB 11 Box: Messgerät für BERA
- PCMCIA- Schnittstellenkarte
- Externe BERAphon® Messeinheit mit Netzteil
- BERAphon® mit integriertem Vorverstärker, Kopfhörer, 3 Edelstahl-Elektroden, Ohrpolster
- Laptop auf Intel Pentium Basis

Das Maico MB 11 ist in eine graue Box in einem gepolsterten Messgeräte-Koffer eingebaut und wird mit dem ebenfalls im Koffer befindlichen Notebook-Computer betrieben. Das BERAphon® wird an das MB 11 angeschlossen.



Abbildung 5: BERAphon®

2.2.1 Das BERAphon®

Früher mussten Elektroden an den Kopf des Neugeborenen angeklebt werden um das EEG für die Hirnstammaudiometrie abzuleiten. Das patentierte BERAphon® nach Finkenzeller, mit einem Telefonhörer-ähnlichen Aussehen hat gefederte Edelstahl-Elektroden, eine Kopfhörerkapsel und einen integrierten Vorverstärker. Der Applikator ist ähnlich einem Telefonhörer zu handhaben und ist mit einem ringförmigen Kissen abgepolstert. Das Gerät wird an den Kopf des Neugeborenen gehalten, nachdem zuvor die Kontaktstellen am Kopf durch Auftragen von Elektrodengel leitfähiger gemacht worden sind. Eine ordnungsgemäße Messung des EEG erfordert einen niedrigen Haut-Elektroden-Widerstand (Elektrodenimpedanz). Wurde der Kopf des Säuglings an den Stellen des Elektrodenkontakts eingefettet bzw. mit fetthaltigen Hautpflegemitteln behandelt, so ist das Fett vor der weiteren Vorbereitung sorgfältig zu entfernen. An den Stellen des Elektrodenkontakts ist die Haut mit etwas Elektrodengel gründlich einzureiben, um die elektrischen Leiteigenschaften der obersten Hautschicht (Epidermis) zu verbessern. Die Kontaktstellen der Elektroden werden durch die Form des BERAphon® vorgegeben und entsprechen der für Babys optimalen Elektrodenkonfiguration.



Abbildung 6: An diesen Stellen wird das Elektrodengel in die Haut in Pfeilrichtung eingerieben.

Dabei wird automatisch der Elektrodenkontakt und die akustische Ankopplung des Signalwandlers an das Ohr hergestellt. Das zeitaufwändige Elektrodenkleben entfällt. Durch den Einsatz der integrierten Elektroden entfallen die Kosten für Einmal-Elektroden. Dies reduziert maßgeblich die Kosten je Messung. Es wird nur noch das Elektrodengel benötigt.



Abbildung 7: Aufsetzen des BERAphon®

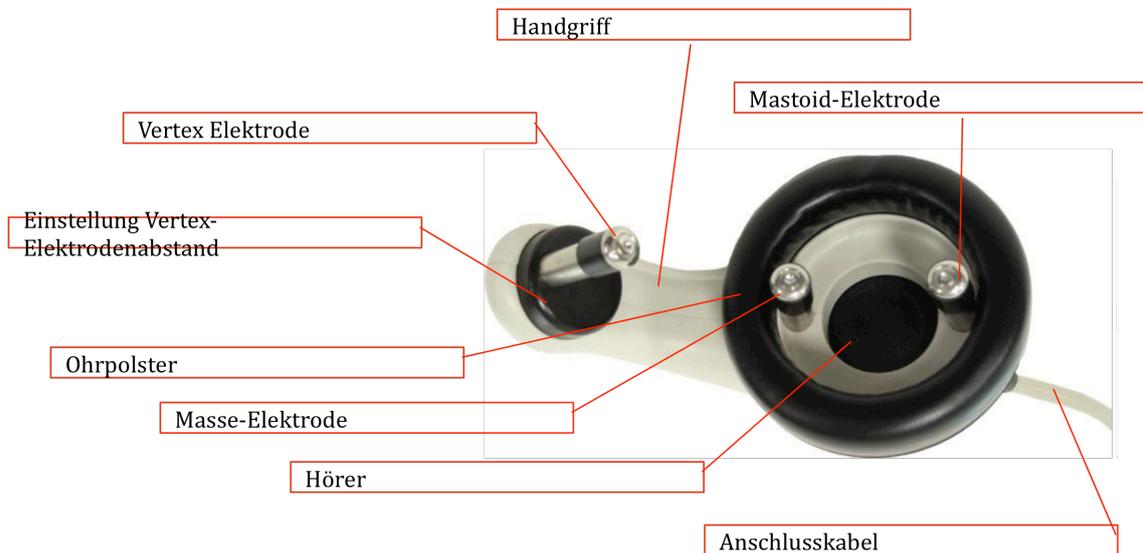


Abbildung 8: Aufbau des BERAphon® mit integrierten Elektroden und Mikrofon

2.2.2 Das Zeitgangverfahren

Der Stufenreiz der Zeitgang-BERA besteht aus jeweils sechs in fünf Millisekunden (ms) aufeinanderfolgenden Klicks. Die Intensität dieser Stimuli wird von Klick zu Klick um 10dB verringert, so dass die Gesamtdauer des Reizes 25 ms beträgt und Intensitäten von z.B. 10

dB bis 60 dB angeboten werden (Abbildung 7). Die komplexe Zusammensetzung des in nur 25 ms dargebotenen Klicks wird vom Hörer nicht bewusst wahrgenommen, jedoch vom Hirnstamm sehr zeitpräzise bearbeitet. Die Repetitionsrate beträgt 14 Sequenzen pro Sekunde (Finkenzeller, 1994) und besitzt eine alternierende Polarität (Abbildung 7). Zur Darstellung der akustisch evozierten Potentiale wird ein EEG abgeleitet. Dabei werden fünf bis sieben typische Wellen, die Jewett-Wellen I bis VII dargestellt. Vor allem werden die Wellen Jewett V, weniger die Wellen III, bei den Pegeln, die oberhalb der Hörschwelle liegen, aufgezeichnet, da sich bei der Zeitgang-BERA die Wellen I und V überlagern.

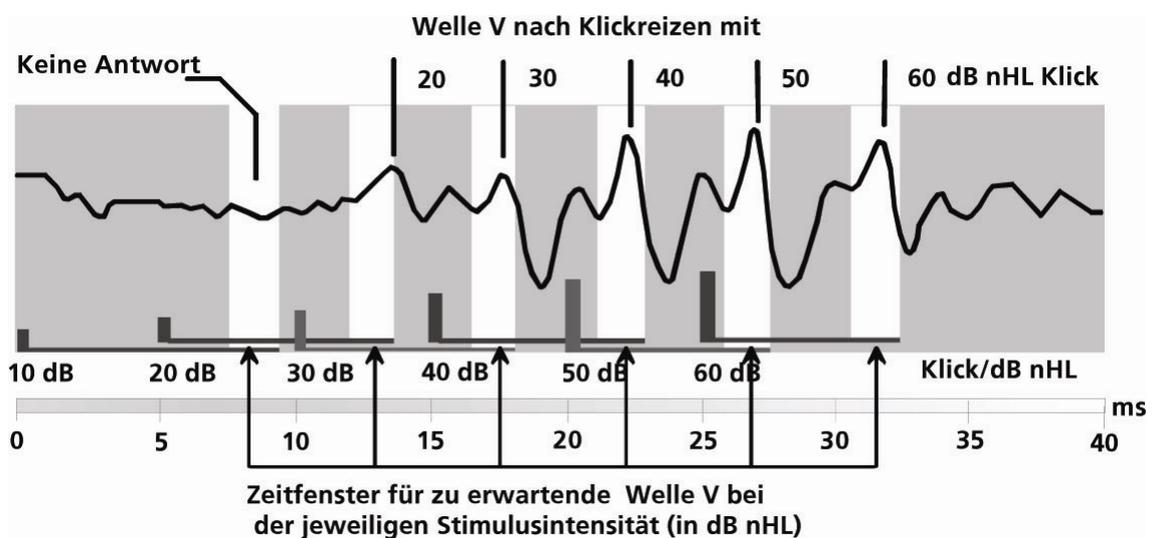


Abbildung 9: Typisches Zeitgang-BERA Muster

Der Abstand zwischen den Klicks von 5 ms erzeugt bei Neugeborenen sehr deutlich die Wellen III und V (Finkenzeller, 1994). Die Reizpegel, die unterhalb der Hörschwelle liegen erzeugen keine reproduzierbaren Wellenantworten. Die wirklich vorliegende Hörschwelle im 1-4 kHz-Bereich kann annähernd mit einer Genauigkeit von 5-10 dB HL (sog. BERA-Genauigkeit) bestimmt werden. Dabei wird derjenige Reizpegel herausgefunden, bei dem die Welle V gerade noch identifizierbar und reproduzierbar darstellbar ist (Shehata-Dieler et al., 2000).

2.2.3 Die visuelle Auswertung

Für das Hörscreening wurden Reizpegel von 10 dB bis 60 dB eingestellt. Nach dem das Neugeborene vorbereitet und die Messung gestartet wurde, wurde das BERAphon® am Kopf des Kindes platziert (siehe 2.2.1.). Die EEG-Abschnitte pro Zeitgangreiz (sogenannte Sweeps) wurden in einem Zeitfenster von 40 ms verstärkt und gefiltert, was anhand der Aufzeichnung am Computermonitor verfolgt werden konnte. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden bis zu 2000 Summationen gemittelt. Waren die Antworten klar und reproduzierbar, d.h. deutliche Wellenkomplexe sichtbar, wurde die Messung nach 500 Summationen abgebrochen. Bei undeutlichen und niedrigen BERA-Amplituden wurde eine zweite Messung durchgeführt. Signale, die durch Störungen (z.B. Muskelpotentiale) hervorgerufen wurden, konnten durch Filterung und Artefaktunterdrückung ausgeschlossen werden.

Die visuelle Auswertung beruhte auf dem Erkennen von Veränderungen im EEG, die auf dem Monitor nach Reizgabe als typische Muster zu erkennen waren. Dabei waren wie in 2.2.2 beschrieben nicht alle typischen Wellen Jewett I-V deutlich zu erkennen. Durch Überlagerung der einzelnen Wellen pro Pegelstufe entstehen aufeinander folgende III-V Komplexe, die eine typische Morphologie und bestimmte Latenzzeiten aufweisen. Für das Erkennen der Amplitudenmuster benötigt die testende Untersucherperson ein geschultes Auge und Erfahrung. Für die Auswertung der Messergebnisse werden nicht nur die Identifizierbarkeit, Aussehen und Reproduzierbarkeit der Antworten genutzt, sondern auch ihre Latenzen innerhalb eines EEG-Abschnittes. Die aufeinander folgenden III-V-Komplexe treten mit bestimmten Latenzen auf, die um so kürzer sind, je höher der Pegelreiz ist.

Die genaue Auswertung fand dabei in der HNO-Klinik statt. In einem Auswertprogramm wurde aus den bei den Messungen entstandenen Summenkurven eine Mittelwertkurve gebildet, darauf wurden die Wellen V mit den Reizpegeln 60dB bis zur vermuteten Hörschwelle markiert. Danach wurde die Auswertung gespeichert, ausgedruckt und dem Audiologen zur Endbeurteilung vorgelegt.

Ein unauffälliges Testergebnis („Pass“) benötigt folgende Kriterien:

- Vorhandensein der Welle V bei 40 dB

- Eine abnehmende Latenz bei steigendem Pegelreiz
- Reproduzierbarkeit in allen Messungen

2.2.4 Automatisierte Auswertung mit dem Maico MB11 Beraphon

Bei der Untersuchung wurde das automatisierte Maico BERAPHON MB11 verwendet. Die Untersuchung wurde mit einem externen transportablen Gerät durchgeführt, das an den drei Untersuchungstagen pro Woche in die Frauenklinik mitgebracht wurde. Dieses System nutzt ebenfalls den Zeitgangreiz und das BERAPHON®. Das nachfolgend beschriebene Verfahren einer automatischen Messkurvenanalyse folgt direkt den Kriterien einer visuellen Bewertung durch einen erfahrenen Untersucher. Nach geeigneter Tiefpassfilterung werden die BERA-Kurven auf Maxima für die jeweilige Welle V untersucht. Für jede Reizstärke des Stufenreizes wird ein Zeitfenster für die Welle V angenommen, das mit der Norm-Latenzzeit von Erwachsenen beginnt und 2,3ms breit ist. Wie auch bei der visuellen Auswertung wird genaugenommen nicht nach Maxima gesucht, sondern nach der Stelle des Beginns des steilen Abfalls der Kurve. Sind diese Werte für die Welle V bei 40, 50 und 60dB nicht vollständig vorhanden, gilt dies als „Fail“. Sind alle 3 Werte im vorgegebenen Bereich identifizierbar, sollten sie idealerweise auf der normalen Latenz-Pegel-Kennlinie bzw. dazu parallelverschoben liegen. Um die Erfüllung dieses Kriteriums zu überprüfen, wird von den erhaltenen Latenzwerten der Welle V für 40 und 50dB der „normale“ Latenzanstieg gegenüber 60dB abgezogen. Die dadurch gewonnenen „relativen“ Latenzwerte für die untersuchten Reizstärken sollten nun konstant sein. Dies lässt sich durch die Bestimmung der Varianz des Mittelwertes dieser relativen Latenzen quantifizieren. Für ein „Pass“ muss die Varianz kleiner als 0,4ms sein und weiter muss eine Mindestamplitude für die 40 und 50dB Maxima gegeben sein. Das BERA-Messergebnis wird stets als Mittelwert eines A- und B-Puffers erhalten. Eine hinreichende Übereinstimmung des Gesamtergebnisses mit den A- und B-Puffern wird zusätzlich gefordert und gilt als gegeben, wenn auch hier die Wellen V in den Zeitfenstern identifizierbar sind, ohne jedoch die Erfüllung des Varianzkriteriums zu fordern. Zur Vermeidung eines sich zufällig richtig ergebenden Kurvenverlaufes, z.B. ohne jede Stimulation, dürfen die zur Mittelung kommenden EEG-Abschnitte spontane Wellen nur bis zu einer bestimmten Amplitude aufweisen. Der mögliche Einfluss eines periodisch technischen Artefakts, auch geringer Amplitude, muss geprüft werden.

Die Teilsummen nach je 250 Mittelungsschritten werden zusätzlich festgehalten und auf Konstanz ihres Beitrages zum Gesamtergebnis untersucht.

Genügen die Messkurven nach einer Mittelung von 750 Reizen den angegebenen Kriterien nicht, so wird die Mittelung zur Verbesserung des Signal/Störverhältnisses fortgesetzt, mit der Möglichkeit die Teilsummen auf einer breiteren Grundlage auf Konstanz hin untersuchen zu können. Wird auch dabei das Pass-Kriterium nicht voll erreicht, so kann eine Messung mit Stufenhöhe 0dB, also z.B. 6x 40dB angeschlossen und entsprechend bewertet werden.

Die Voreinstellung gibt als höchsten Pegel 60 dB vor. Dieser maximale Stufenreiz kann jedoch auf 70 dB erhöht oder bei sehr empfindlichen Neugeborenen auf 50 dB herabgesetzt werden. Im Startmenü wird „Start“ angeklickt, der Messbildschirm erscheint. Die Messung beginnt, nachdem das BERAphon® ordnungsgemäß platziert wurde.

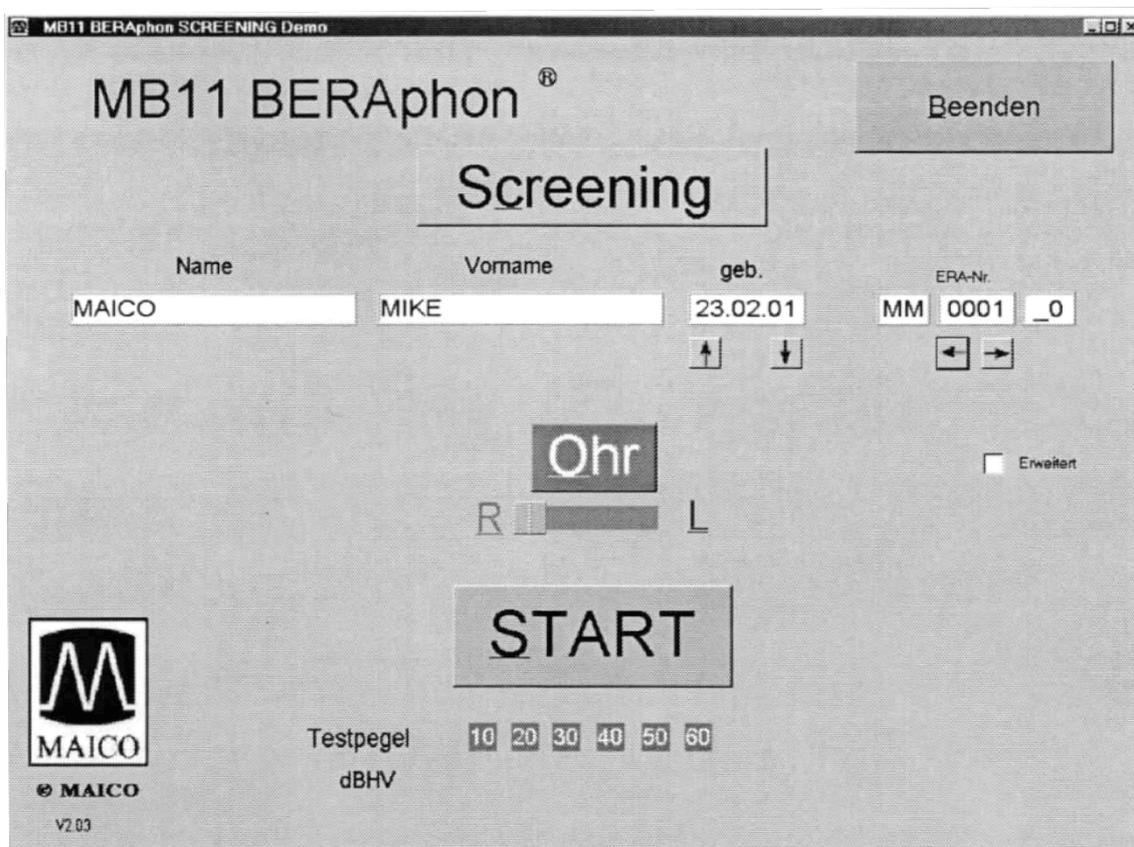


Abbildung 10: MB 11 Startbildschirm

Auf dem Bildschirm erscheint im rechten Fenster der Status „Messen“. Darunter werden ständig die momentanen Auswertergebnisse angezeigt. Es handelt sich dabei um den Mittelwert der Latenzzeiten bei verschiedenen Pegeln, die Standardabweichung sowie die jeweiligen Mittelwerte Latenzzeiten für den A- und B-Buffer. In einer weiteren Funktion des Programmes kann die EEG-Qualität beurteilt werden. Diese visuelle Darstellung der EEG-Qualität erlaubt eine Kontrolle der korrekten Elektrodenpositionierung und beeinflusst die Dauer der Messung positiv.

Für das Hörscreening bei Neugeborenen ist in der BERAphon MB11-Software als Kriterium für eine unauffällige Messung der Nachweis der Welle V bei 40 dB oder besser hinterlegt. Im oberen Drittel des Messbildschirmes wird das EEG dargestellt. Aus dem EEG-Abschnitt wird der kleinste und der größte Wert ermittelt und als aktuelle Schwankung angezeigt. Bei Bewegungen des Probanden werden durch die Muskelpotentiale größere „Störungen“ beobachtet, diese „Störwellen“ gelangen nicht zur Mittelung, da sie die Mittelungskurve stark beeinträchtigen. Dafür wird eine maximale Schwankung von 150 vorgegeben, dies entspricht den beiden Linien über und unter der EEG-Kurve. Erscheint die EEG-Kurve innerhalb dieses Feldes, so erfolgt eine Messung und wird als Messung gezählt. Überschreitet die „aktuelle Schwankung“ eines EEG-Abschnittes die „max. Schwankung“, so wird dieser Abschnitt nicht mit in die Messung einbezogen, sondern als Artefakt gezählt.

Bei ruhigen und tief schlafenden Kindern kann der Wert der „maximalen Schwankung“ auch von der Grundeinstellung 150 auf 100 herabgesetzt werden. Die „aktuelle Schwankung“ der zur Mittelung einbezogenen EEG-Abschnitte wird ebenfalls gemittelt und unter „EEG-Qualität“ angezeigt. Dieser Wert verdeutlicht in einer Scala die Qualität und wird „sehr gut“ bis „mässig“ zugeordnet.

Die maximale Messzeit ist auf sechs Minuten festgelegt. In dieser Periode können bis zu fünf Messungen durchgeführt werden. Bei einer größeren „Störung“, bei der die Messung nicht reproduzierbar ist, wird automatisch eine neue Messung gestartet, bis ein Ergebnis auf dem Monitor erscheint, „unauffällig“ oder „Kontrolle“.

Die zugehörigen BERA-Kurven werden auf dem Messbildschirm angezeigt. Die Welle-V-Antworten sollten im Bereich der weißen Streifen auftauchen. Das Messfenster beträgt 40ms. Die sechs Klicks sind als kleine blaue Balken bei 0, 5, 10, 15, 20 und 25ms markiert.

2.2.4.1 Testergebnis „Unauffällig“

Entspricht die Messung den festgelegten Kriterien bei 40 dB, so wird die Mittelung nach 750 Meßdurchgängen abgebrochen und im Ergebnisfenster rechts erscheint grün hinterlegt „Unauffällig“. Das gemessene Ohr wird damit als „Unauffällig“ beurteilt. Danach wird das Ergebnis gespeichert.

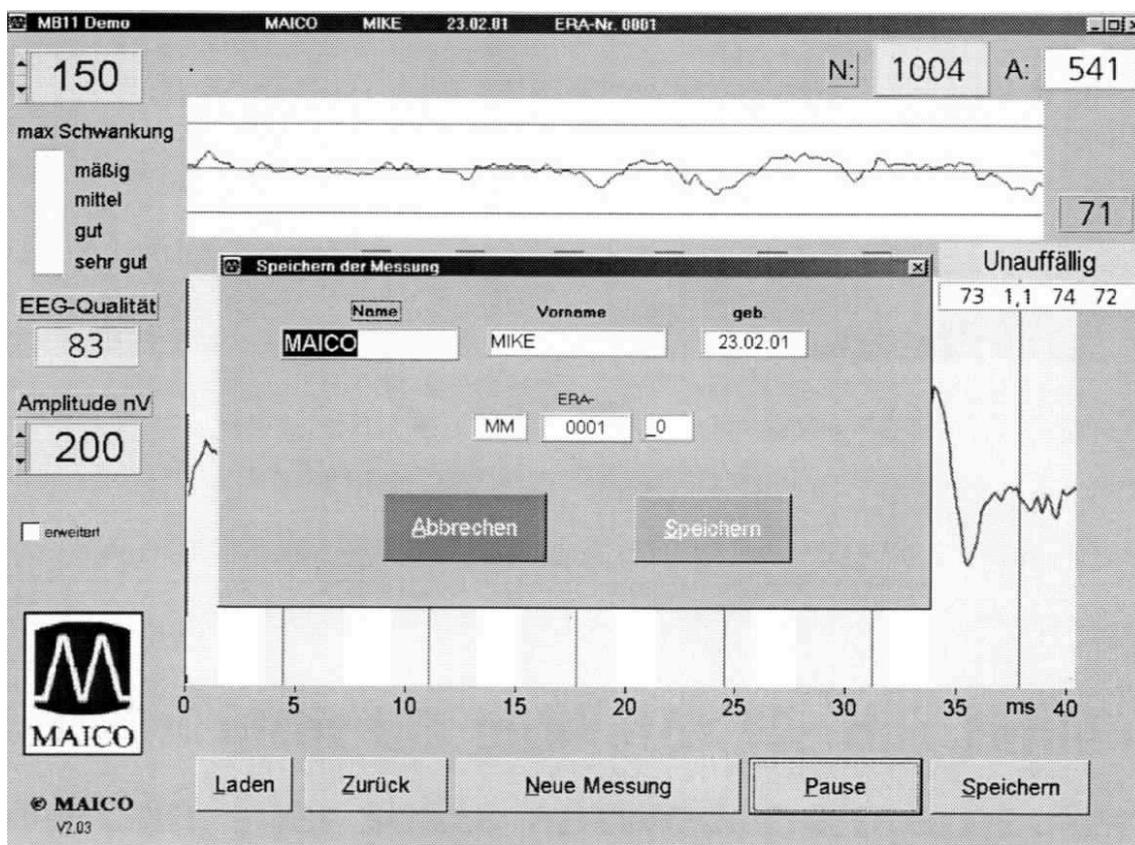


Abbildung 11: Testergebnis "Unauffällig"

Wurde das Ergebnis „Unauffällig“ nach 750 Mittelungen nicht erreicht, so wird bis 1004 Messungen weiter getestet. Werden die festgelegten Kriterien nach 1004 Messungen erreicht, erscheint ebenfalls das Ergebnis „Unauffällig“, es kann abgespeichert werden.

2.2.5 Testergebnis „Kontrolle“

Wurden die festgelegten Kriterien für 40 dB nicht erreicht, erscheint auf dem Bildschirm das Testergebnis „Kontrolle“. Das „Kontrolle“-Ergebnis kann nicht als Indikator für das Fehlen der Hörfunktion gewertet werden. In diesem Fall sollte ein erneuter Test durchgeführt werden und im Wiederholungsfalle das gespeicherte Testergebnis vom Audiologen visuell ausgewertet werden. Dieses Ergebnis wurde in der Auswertung zunächst als „Fail“ ausgewertet, da eine weitere Testung durchgeführt wurde.

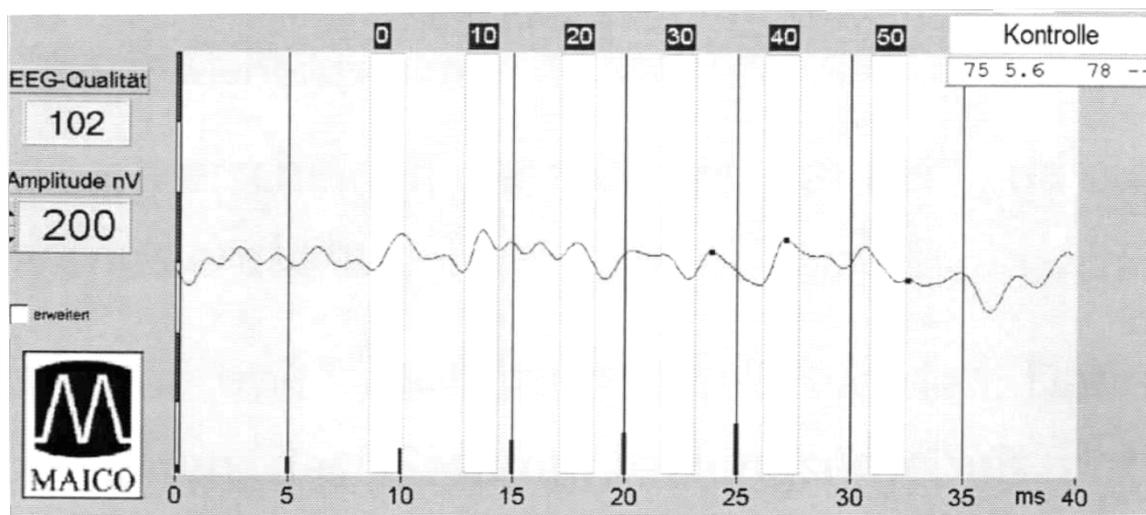


Abbildung 12: Testergebnis "Kontrolle"

2.3 Methoden

2.3.1 Untersuchungsprotokoll

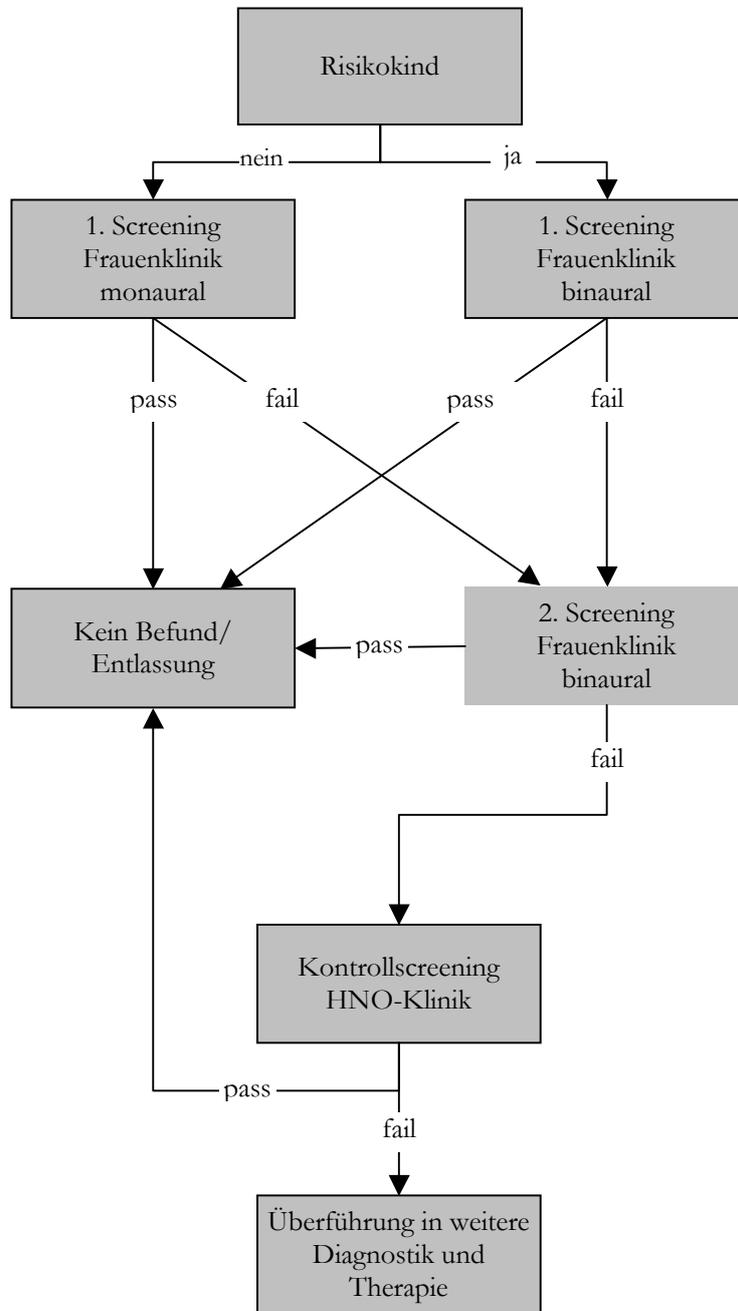


Abbildung 13: Organigramm Untersuchungsprotokoll

Die Hörscreening-Untersuchungen folgten einem zweistufigen Untersuchungsprotokoll (s.Abb.11). Die erste Messung wurde bei den Neugeborenen auf der Neugeborenenstation der Frauenklinik durchgeführt. Wurde der Hörtest nicht bestanden („Fail“ oder „Kontrolle“), erfolgte wenn möglich vor der Entlassung der Kinder eine binaurale Kontrolluntersuchung in der Frauenklinik. War das Testergebnis wiederum „Fail“ oder „Kontrolle“, erfolgte eine weitere Kontrolluntersuchung mit gleicher Methode in einer für elektromagnetische Einstrahlung abgeschirmten und schallisolierten Untersuchungskabine (schallarmer Raum nach DIN ISO 8253, Abschnitt 11: IAC, Niederkrüchten, Deutschland) in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen und Ohrenkranke der Universität Würzburg. Hier wurden auch die Fremdkinder untersucht.

Dieses Vorgehen dient dazu, die Anzahl der Kinder, bei denen eine weiterführende pädaudiologische Untersuchung durchgeführt werden müsste, zu verringern, die Zahl der sogenannten „Drop-outs“ zu minimieren und die Gesamtkosten für die Untersuchung gering zu halten. Bei Neugeborenen mit der Bezeichnung „Drop-outs“ handelt es sich um die Kinder, bei denen nach Klinikentlassung keine weiteren Nachuntersuchungen mehr durchgeführt werden konnten (z.B. mangelnde Compliance, zu lange Anreise).

War beim Kontrollhörscreening in der HNO-Klinik wiederum keine eindeutig positiven BERA-Antworten zu erhalten, wurde in einer zweiten Untersuchungsstufe um den dritten Lebensmonat herum eine ausführliche pädaudiologische Diagnostik veranlasst, um einen zügigen Beginn der Behandlung bei einer möglicherweise vorliegenden Schwerhörigkeit innerhalb der ersten sechs Lebensmonate zu realisieren.

Die diagnostischen Evaluationen umfassten verhaltensaudiometrische Beobachtungen, die Impedanzmessung sowie die Aufzeichnung der evozierten OAE und der BERA, gegebenenfalls in Sedierung oder Narkose.

Bei jedem Neugeborenen wurden mögliche Risikofaktoren für kongenitale oder prä- bzw. perinatale Hörstörungen dokumentiert. Kinder mit Risikofaktoren, die unauffällige Untersuchungsergebnisse beim initialen Hörscreening aufwiesen, wurden dennoch innerhalb des ersten Lebensjahres einer Kontrolluntersuchung unterzogen. Damit soll eine später einsetzende oder langsam progrediente Schwerhörigkeit, wie z.B. bei Kernikterus, HIV, PAIDS (pediatric acquired immunodeficiency syndrome) oder retrolentaler Fibrose, ausgeschlossen werden. Zusätzlich wurden Daten erfasst, die bei der Auswertung und

Interpretation der Ergebnisse erforderlich sind, insbesondere der Wachheitsgrad eines Kindes während der Untersuchung.

2.3.2 Durchführung der Hörscreening-Untersuchungen

Die Messungen mit beiden BERAphon®-systemen wurden während des stationären Aufenthaltes der Neugeborenen in der Frauenklinik durchgeführt und wurden sowohl auf dem Untersuchungsbogen (Anhang 3), wie auch im Untersuchungsheft für Kinder dokumentiert. Um möglichst alle Neugeborenen zu erfassen, wurden die Messungen jeweils an drei Tagen in der Woche (Montag, Mittwoch, Freitag) durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass die Untersuchungsumgebung so ruhig wie möglich war, so dass keine zusätzlichen Störfaktoren auftraten. Das Alter der Kinder betrug zwischen 24 Stunden und 17 Tagen. Das Hörscreening wurde in postprandialen Schlafphasen auf der Neugeborenenstation durchgeführt. Es wurde zunächst monaural konventionell mit dem BERAphon® unter Verwendung des Zeitgangreizes gemessen. Im Anschluss an diese Untersuchung erfolgten die Messungen unter Verwendung der automatisierten neuen BERA. Diese Messungen wurden mit einem externen Gerät durchgeführt, welches an den Untersuchungstagen in einem Alukoffer aus der HNO-Klinik in die Frauenklinik mitgebracht wurde.

Jedes Neugeborene wurde zusätzlich zur konventionellen Zeitgang-BERA mit visueller Auswertung auch mit der neuen BERA gemessen. Die Messreihenfolge wurde in regelmäßigen Abständen geändert, so dass die Messungen einmal mit der konventionellen BERA und einmal mit der neuen automatisierten BERA begonnen wurden. Weiterhin wurden Messzeiten, aufgetretene Besonderheiten, wie zum Beispiel Störungen der Messung, Vigilanz (Wachheit) des Kindes etc. während der Untersuchung auf dem Untersuchungsbogen dokumentiert.

Kinder, die bei der Messung in der Frauenklinik eine zu hohe Vigilanz aufwiesen, wurden zum Rescreening in die HNO-Klinik einbestellt.

Die Messung mit der konventionellen Zeitgang BERA mit visueller Bewertung galt als Referenz und wurde bei nicht eindeutigen Reizantworten bei 40dB, durch bis zu drei zusätzliche OAE-Messungen ergänzt. Bei Auffälligkeiten und vorliegenden Risikofaktoren wurde eine binaurale Untersuchung vorgenommen. Die visuelle Auswertung der

Zeitgangmessung erfolgte im Anschluss an die Messungen in der HNO-Klinik. Dabei wurden die Latenzzeiten bei 30dB, 40dB, 50dB und 60 dB bestimmt.

Wurde bei der Auswertung durch den Audiologen eine Auffälligkeit („Fail“) beim 1. Screening-Frauenklinik festgestellt, so erfolgte bei dem nächsten Untersuchungstermin, 2. Screening-Frauenklinik eine binaurale Untersuchung. In der Regel beträgt der Aufenthalt der Neugeborenen auf der Station fünf Tage, so dass ein 2. Screening-Frauenklinik binaural durchgeführt werden konnte.

Das Ergebnis der Screeninguntersuchung richtete sich nach der Beurteilung des konventionellen Auswertungsverfahrens. Es wurde durch einen Audiologen bewertet und schriftlich auf dem Untersuchungsbogen dokumentiert.

Neugeborene, die nach dem 1. Screening-Frauenklinik ein unauffälliges Ergebnis („Pass“) aufwiesen, wurden nach ihrer Entlassung nicht erneut kontrolliert und als gesund eingestuft. Es erfolgte keine schriftliche Mitteilung an die Eltern.

Bei Kindern der Perinatalstation oder bei Kindern mit einem auffälligen Testergebnis („Fail“) wurden die Eltern grundsätzlich informiert (Anhang 5).

Jedes Kind, bei dem beim 1. und 2. Screening-Frauenklinik ein auffälliges Testergebnis („Fail“) gemessen wurde, wurde nochmals in der HNO-Klinik (Kontrollscreening HNO) nachuntersucht. Die Terminabsprachen wurden von einem Mitarbeiter der Abteilung Elektrophysiologie koordiniert. Dieser Test wurde in einer für elektromagnetische Strahlung abgeschirmten und schallisolierten Untersuchungskabine (schallarmer Raum nach DIN ISO 8253, Abschnitt 11; IAC Niederkrüchten, Deutschland) durchgeführt. Auch hier kamen beide BERASysteme zum Einsatz. Die Auswertung der BERA erfolgte durch einen Audiologen visuell, aber auch mit Hilfe der automatischen neuen BERA und wurde ebenfalls auf dem Untersuchungsbogen notiert.

Je nach Testergebnis wurde das Kind in eine weitergehende Diagnostik und Therapie überführt.

2.3.3 Erfassung von Sensitivität und Spezifität

Die Sensitivität dieser Testmethode wurde durch die Untersuchung zufällig ausgesuchter Kinder in der HNO-Klinik bestimmt. Durch diese Tests bestätigte oder widerlegte sich das Messergebnis der BERAphon®-Untersuchung.

Um eine Aussage über die Spezifität machen zu können, wurden alle Kinder mit einem auffälligen Testergebnis weiter abgeklärt und herausgefunden, ob sich der Verdacht auf eine Hörminderung als richtig oder falsch herausstellte.

2.4 Statistische Verarbeitung der Daten

Für die statistische Auswertung dienten die Daten, die während des Hörscreenings auf dem Untersuchungsprotokoll dokumentiert wurden. Die Untersuchungsergebnisse wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft® Excel gespeichert, ausgewertet und graphisch dargestellt. Bei der statistischen Auswertung der Daten wurde der Chi-Quadrat-Test angewandt. Ergebnisse der statistischen Analyse mit einem p-Wert kleiner als 5% wurden als statistisch signifikant interpretiert.

3 Ergebnisse

Zwischen Dezember 2000 und Juni 2001 wurden an der Universitäts-Frauenklinik Würzburg bzw. Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke der Universität Würzburg bei 368 Neugeborenen Hörscreening-Untersuchungen mit zwei verschiedenen BERA-Systemen durchgeführt.

Beim 1. Screening Frauenklinik (Screen 1) erfolgte zunächst das Screening konventionell mit der Zeitgang-BERA (Referenzmessung) mit Verwendung des BERAphons®. Bei einem nicht eindeutigen Testergebnis bei 40 dB, erfolgte eine zusätzliche OAE-Messung. Diese wurde bis zu dreimal wiederholt. Danach wurde eine zweite Messung mit der automatisierten neuen BERA Maico MB11 durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass die Messreihenfolge regelmässig gewechselt wurde.

Entscheidend ist, dass beim Neugeborenen screening keine Kooperation der Kinder erwartet werden kann. Daher kommt es regelmässig zu Wiederholungsmessungen, die durch Reaktionen des untersuchten Kindes bedingt sind.

Zum Teil mussten Messungen wegen zu hoher Vigilanz des Probanden oder ausserplanmäßiger ärztlicher Untersuchungen abgebrochen werden und zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden. In wenigen Fällen mussten Messungen wegen Problemen, wie Störungen, Programmabbruch oder hohem Artefaktaufkommen unterbrochen und neu gestartet werden

Die Aufzeichnungen von Risikofaktoren, Alter der Neugeborenen und Vigilanz bei Durchführung des Hörtests wurden genauer betrachtet und ausgewertet. Darüber hinaus wurde eine differenzierte Berechnung von „Pass“- und „Fail“-Raten (Anteile unauffälliger und auffälliger Untersuchungsbefunde) vorgenommen.

3.1 Ergebnisse visuelle BERA Westra ERA QS/04 (Referenzmessung)

Bei dieser Erhebung wurde nach patientenbezogenen Ergebnissen und messungsbezogenen Ergebnissen unterschieden. Dabei wurden mit der neuen BERA bei

vielen Probanden mehrere Messungen pro Patient durchgeführt. So konnten jedem Patient nicht nur eine Messung zugeordnet werden.

3.1.1 Probandenbezogene Auswertung Screening Frauenklinik (Screen 1 und 2)

Im Zeitraum von Dezember 2000 bis Juni 2001 wurden 368 Kinder in der Universitätsklinik Würzburg untersucht. Bei 5 von den 368 untersuchten Neugeborenen konnte kein abschließender Befund erhoben werden. Sie wurden in der Universitäts-Frauenklinik erfasst, konnten aber dort aus verschiedenen Gründen nicht untersucht werden. Es fehlte die Compliance der Eltern für eine Nachuntersuchung in der HNO-Klinik (z.B. zu weite Anfahrt, mangelnde Zeit, kein Interesse an einer Abklärung). Diese Kinder wurden als „Drop-outs“ bezeichnet und entsprechen 1,36 % der 368 untersuchten Kinder. Die Erfassungsrate betrug damit 98,64 %. Bei 29 Probanden wurden Risikofaktoren für eine Hörminderung dokumentiert, ansonsten wurden alle Neugeborenen monaural getestet.

Probanden die bei der Untersuchung in der Frauenklinik (Screen 1 und 2) als Testergebnis ein „Fail“ erhalten hatten, hatten entweder auf einem oder beiden Ohren das Ergebnis „Fail“. Neugeborene, bei denen sich bei Screen 1 und 2 in der Frauenklinik ein unauffälliges Testergebnis „Pass“ zeigte, hörten demnach mindestens auf einem Ohr normal. Kinder, bei denen nach der Messung auf einem Ohr das Ergebnis „Pass“ angezeigt wurde und auf dem anderen Ohr der auffällige Befund „Fail“, wurden wenn möglich in der HNO-Klinik (Screen-HNO) weiter untersucht. Bei allen Kindern mit Risikofaktoren für Hörstörungen wurde nochmals ein HNO-Screen durchgeführt, um eine progrediente Hörminderung auszuschließen.

3.1.1.1 Auswertung Screen (1) (1.Screening Frauenklinik)

Bei 335 der 363 Neugeborenen (92,29 %) ergab sich im 1. Screening in der Frauenklinik (Screen1) die gewünschte Reizantwort auf 40dB „Pass“, bei 28 zeigte sich das auffällige Ergebnis „Fail“, das entspricht 7,71%.

3.1.1.2 Auswertung Screen (2) (2.Screening Frauenklinik)

Bei 19 der 28 Neugeborenen mit einem auffälligen Untersuchungsergebnis konnte ein 2. Screening in der Frauenklinik stattfinden. 9 Kinder waren entweder schon entlassen oder

waren in andere Krankenhäuser verlegt worden und wurden zu einem späteren Zeitpunkt in der HNO-Klinik getestet. 14 der 19 Kinder, die sich einem 2. Screening in der Frauenklinik unterzogen, zeigten die gewünschten Reizantworten. Bei 5 Kindern persistierten die auffälligen Antworten.

3.1.1.3 Auswertung Screen (1) und (2) (Screening Frauenklinik)

Von den insgesamt 363 untersuchten Kindern wiesen nach Screen 1 und 2 in der Frauenklinik 349 Neugeborene das Testergebnis „Pass“ auf. Bei 5 Probanden wurde das Ergebnis „Fail“ ermittelt. Das entspricht einer „Pass“-Rate von 96,14 % und einer „Fail“-Rate von 1,38%. 9 Kinder waren schon entlassen oder verlegt, das entspricht 2,48 %.

3.1.1.4 Auswertung Screen-HNO

14 Probanden, darunter befanden sich 9 Kinder, die nach Screen 1 bereits aus der Frauenklinik entlassen waren, und 5 Kinder, die zur Nachuntersuchung nach Screen2 erschienen, konnten in der HNO-Klinik nachuntersucht werden und zeigten dort die gewünschten Reizantworten. Ein bereits nach Screen 1 entlassenes Kind mit auffälligem Ergebnis wurde durch den behandelnden Kinderarzt untersucht und stellte sich als normalhörend „Pass“ heraus.

3.1.1.5 Gesamtauswertung

Nach dem Screen 3 in der HNO-Klinik galten 363 der 363 Kinder, d.h. 100 % als normalhörend, dabei wurde 1 „Pass“-Befund vom Kinderarzt nachgereicht. Es wurde kein Kind mit einer Hörstörung entdeckt.

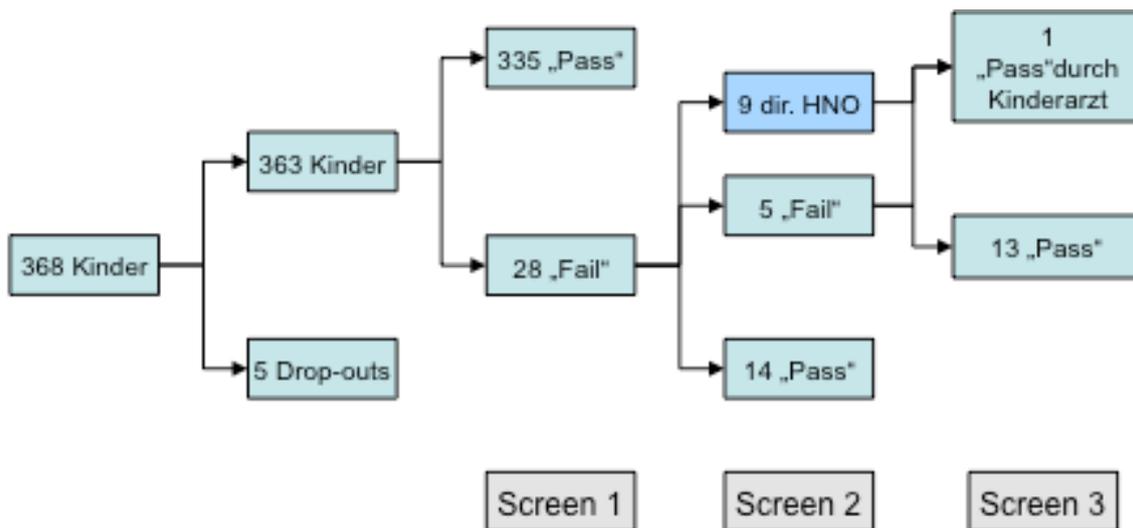


Abbildung 14: Organigramm der patientenbezogenen Auswertung mit der visuellen BERA

Das lässt sich wie folgt berechnen:

$$(14 \text{ pass HNO} + 349 \text{ pass FK}) / (368 - 5 \text{ drop-outs} - 1 \text{ Kontrolle durch KA}) = 363 / 362 = 1,003$$

Die „false positive“ Rate beträgt 0 %. Es wurde kein Kind mit einer Schwerhörigkeit („true positive“) diagnostiziert.

3.1.2 Messungsbezogene Auswertung Screening Frauenklinik (Screen1 und 2)

Im Screen 1 und 2 in der Frauenklinik wurden insgesamt 439 Messungen mit der visuellen BERA durchgeführt. Unterstützend dazu wurden 415 OAE-Tests gemessen. Als Referenzmessung für die Ergebnisauswertung „Pass“ oder „Fail“ dient die visuelle BERA, d.h. dass nur bei nicht eindeutigen Messergebnissen die OAE-Messung entscheidend für ein unauffälliges Ergebnis „Pass“ war.

3.1.2.1 Auswertung Screen (1)

Bei den 405 durchgeführten Messungen in Screen 1 wurden 375 mit dem Ergebnis „Pass“ und 30 Messungen mit „Fail“ abgeschlossen.

3.1.2.2 Auswertung Screen (2)

In Screen 2 wurden bei den Kindern, die in Screen 1 auffällige Ergebnisse zeigten, nochmals 34 Messungen durchgeführt. 27 Messungen wiesen „Pass“ und 7 Messungen „Fail“ auf.

3.1.2.3 Auswertung Screen (1) und (2)

Bei den 439 Messungen, die mit der visuellen BERA durchgeführt wurden, ergab sich in Screen (1) und (2) bei 402 Messungen das Ergebnis „Pass“ und bei 37 „Fail“. Das entspricht einer „Pass“-Rate von 91,57% nach Abschluss des Screenings in der Frauenklinik.

3.1.2.4 Auswertung Screen (3)

In Screen 3 wurden in der HNO-Klinik weitere 14 Messungen durchgeführt. Alle 14 durchgeführten Messungen wiesen das Ergebnis „Pass“ auf. Bei 2 Kindern konnten keine erneuten Messungen in der HNO durchgeführt werden, sie wurden damit zu „Drop-outs“. Das entspricht einer „Pass“-Rate von 91,83% nach Abschluss der Untersuchungen in der HNO Klinik.

3.2 Ergebnisse neue BERA Maico MB11

3.2.1 Probandenbezogene Auswertung Screening Frauenklinik (Screen 1 und 2)

Zwischen Dezember 2000 und Juni 2001 wurden die Messergebnisse von 368 Neugeborenen erfasst. Wie schon beschrieben, konnten bei 5 Kindern keine Untersuchungen durchgeführt werden, diese wurden als „Drop outs“ gewertet. 363 Neugeborene wurden mit der neuen BERA untersucht.

3.2.1.1 Auswertung Screen (1)

Bei den untersuchten 363 Neugeborenen ergaben sich 310 Normalbefunde (85,4%), d.h. deutliche Reizantworten bei 40dB. 53 der 363 Neugeborenen wiesen beim Screening in der Frauenklinik auffällige Ergebnisse (14,6%) auf.

3.2.1.2 Auswertung Screen (2)

Von den 53 Kinder, die in Screen (1) mit der neuen BERA das Ergebnis „Fail“ hatten, wurden in Screen (2) 18 Neugeborene nochmals mit der neuen BERA untersucht. Bei 35 Kindern wurde keine erneute Messung mit der neuen BERA durchgeführt, da die Referenzmessungen mit der visuellen BERA unauffällige Ergebnisse gezeigt hatten.

Bei den 18 erneut gemessenen Kindern ergab sich in 15 Fällen das Ergebnis „Pass“ und in 3 Fällen erneut ein auffälliges Ergebnis.

3.2.1.3 Auswertung Screen (1) und (2)

Nach Screen (1) und (2) konnten mit der neuen BERA 325 unauffällige Neugeborene ermittelt werden. Das entspricht eine „Pass“-Rate von 89,53%.

3.2.1.4 Auswertung Screen (3)

In der HNO-Klinik wurden die 3 Kinder mit „Fail“ nach Screen (2) erneut gemessen, alle erreichten dabei das Ergebnis „Pass“.

3.2.1.5 Gesamtauswertung

Nach Screen (3) ergab sich bei 328 Kindern das Ergebnis „Pass“, auch mit der neuen BERA zeigten sich unauffällige Ergebnisse beim Hörscreening. 35 Kinder, die in Screen (1) das Ergebnis „Fail“ oder „Kontrolle“ mit der neuen BERA erreichten, wurden in Screen (2) nicht nachuntersucht, da sie bei der Referenzmessung visuelle BERA unauffällige Screeningergebnisse hatten. Nach Screen (3) ergab sich damit eine „Pass“-Rate von 100 %.

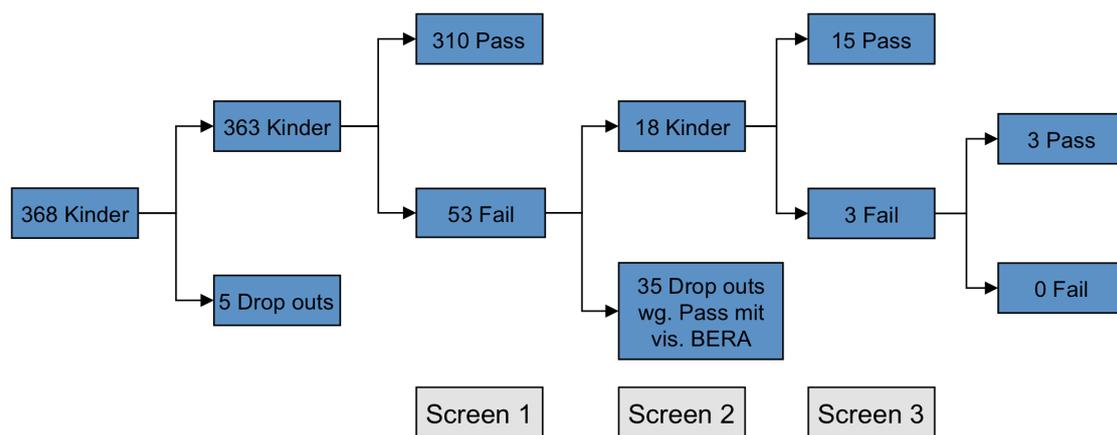


Abbildung 15: Organigramm patientenbezogene Auswertung mit der BERA MB 11

3.2.2 Messungsbezogene Auswertung Screening Frauenklinik (Screen 1 und 2)

In Screen (1) und (2) wurden insgesamt 803 Messungen mit der neuen BERA MB11 durchgeführt. Die hohe Anzahl der Messungen kommt daher, dass bei vielen Kindern Mehrfachmessungen mit der neuen BERA durchgeführt wurden. Vor allem bei Risikokindern wurde wiederholt gemessen. Es wurden bis zu 4 Messungen pro Ohr durchgeführt.

3.2.2.1 Auswertung Screen (1)

Von den 798 Messungen zeigten 515 das Ergebnis „Pass“. In 283 Messungen forderte die neue BERA dazu auf, den Test zu wiederholen und gab als Ergebnis „Kontrolle“.

3.2.2.2 Auswertung Screen (2)

In Screen (2) konnten bei Kindern, die auch mit der Referenzmessung ein auffälliges Ergebnis zeigten, 44 weitere Messungen durchgeführt werden. Dabei ergaben 29 Messungen ein „Pass“, bei 15 Messungen war das Ergebnis „Kontrolle“.

3.2.2.3 Auswertung Screen (1) und (2)

Nach 798 Messungen in Screen (1) und (2) ergaben 544 Messungen das Ergebnis „Pass“, bei 254 Messungen erschien das Ergebnis „Kontrolle“. Nach Sreen (2) liegt die „Pass“-Rate bei 68,17%.

3.2.2.4 Auswertung Screen (3)

In der HNO-Klinik wurden keine Messungen mit der neuen BERA durchgeführt.

3.3 Vergleichende Auswertung zwischen den Ergebnissen der visuellen BERA Westra ERA QS/04 und der neuen BERA Maico MB11

Bei 363 Probanden wurden die Untersuchungsergebnisse der visuellen BERA Westra ERA QS/04 (Referenzmessung) mit den Ergebnissen der neuen BERA Maico MB11 verglichen.

Von den 335 Neugeborenen, die mit der visuellen BERA unauffällige Ergebnisse zeigten, konnten 304 auch mit der neuen BERA Maico MB11 die geforderten Reizantworten nachweisen. Bei 31 Neugeborenen ergaben sich keine übereinstimmenden Ergebnisse. Diese 31 Kinder erreichten das Ergebnis „Fail“ mit der neuen BERA. Gründe für ein „Fail“ lagen an der Korrelation, oder es war keine ausreichende Reizantwort bei 60dB zu sehen.

Ergebnisse neue Bera bei alte Bera "Pass"

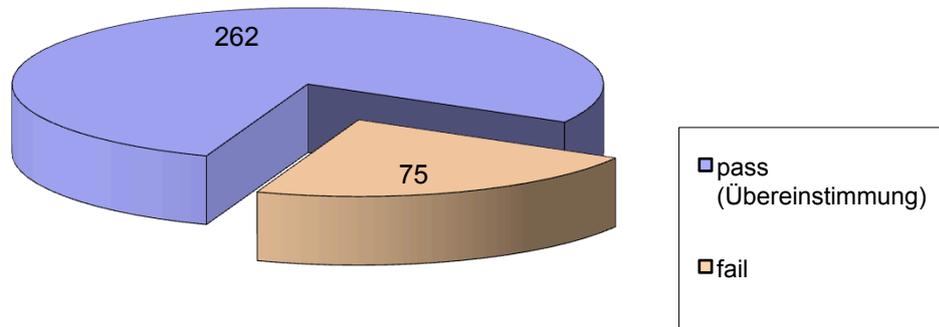


Abbildung 16: Ergebnisse der BERA MB 11 bei visuellem BERA-Ergebnis "Pass"

Von den 28 Kindern, die mit der visuellen BERA auffällige Ergebnisse auf mindestens einem Ohr hatten, zeigten 22 auch mit der neuen BERA Maico MB11 kontrollbedürftige Befunde. 6 Kinder hatten bei der Untersuchung mit der neuen BERA unauffällige Antworten. 1 Kind hatte auch bei Screen (2) in der Frauenklinik mit der visuellen BERA unauffällige Reizantworten, 4 bestanden einen Hörtest mit der visuellen BERA bei Screen (3) in der HNO-Klinik. Das Screeningergebnis eines Kindes wurde durch den Kinderarzt als „Pass“ übermittelt. Das heißt diese 6 Kinder wurden mit der neuen BERA in Screen (1) bereits als „Pass“ erkannt. Erst in Screen (2) und (3) konnte die visuelle BERA (Referenzmessung) das von der neuen BERA ermittelte Ergebnis bestätigen.

Ergebnisse neue BERA bei alte BERA "Fail"

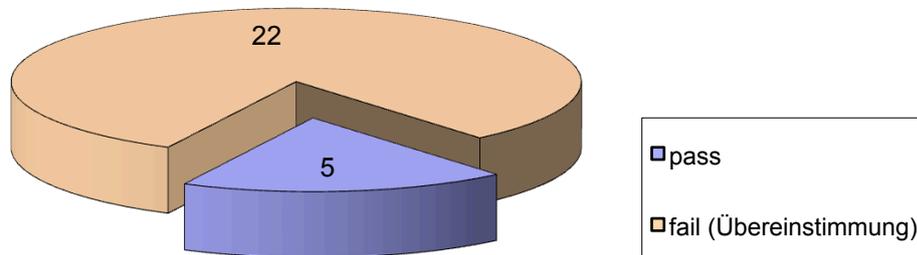


Abbildung 17: Ergebnisse der MB 11 bei visuellem BERA-Ergebniss "Fail"

In der Relation zur Gesamtmessung liegt eine Übereinstimmung der „Pass“ und „Fail“-Rate von 89,81% vor. Von 363 Neugeborenen wurden in Screen (1) 304 Kinder übereinstimmend als „Pass“ und 22 übereinstimmend als „Fail“ bestimmt. Nach Screen (2) lag die Übereinstimmungsrate bei 90,36%, da 2 Kinder erneut mit der neuen BERA in der Frauenklinik gemessen werden konnten und sich nach Screen (2) die übereinstimmende „Pass“-Rate auf 306 Kinder erhöht hatte. Die Berechnung des Chi.Quadrat P-Value ergab einen Wert von 0,8038 und ist damit nicht signifikant.

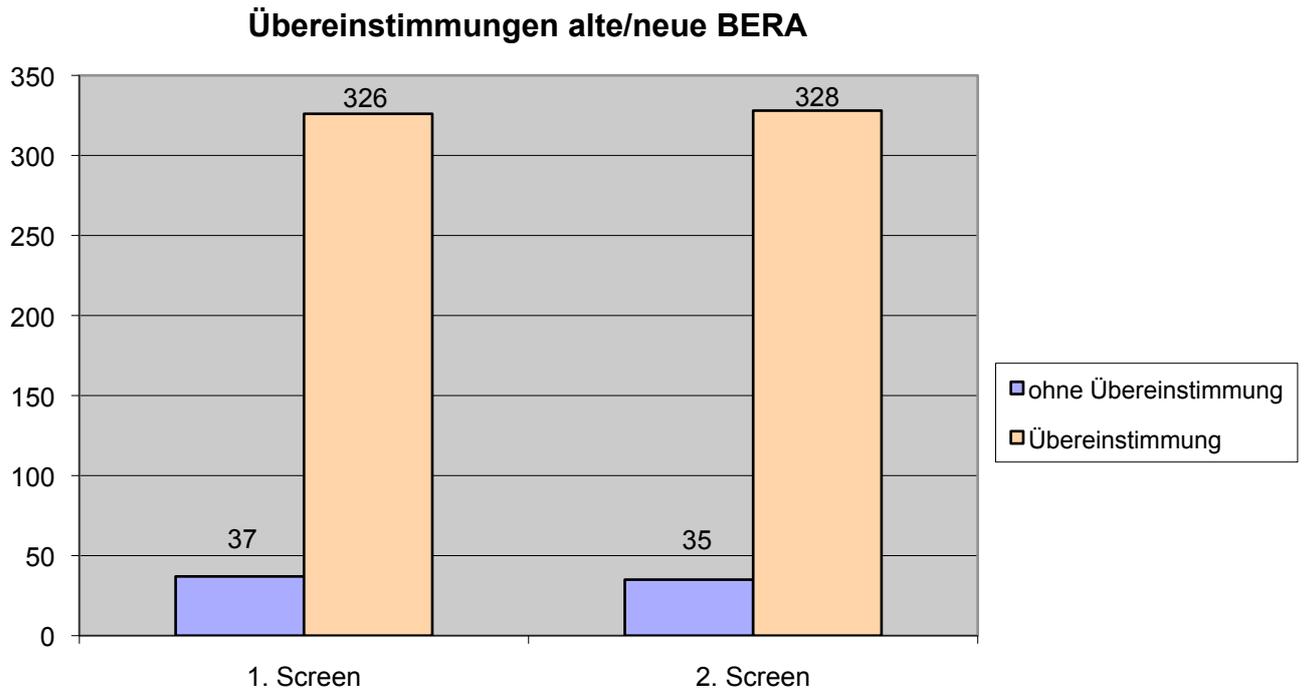


Abbildung 18: Übereinstimmung der Ergebnisse visuelle BERA
und neue BERA MB11

3.4 Messzeiten bei Untersuchung mit der neuen BERA

Bei 156 Messungen wurde die Messzeit dokumentiert und ausgewertet. Die Messzeiten lagen zwischen 64 und 524 Sekunden (Abbildung 19). Dies ergibt einen Mittelwert von 136,35 Sekunden.

Meßzeitenverteilung

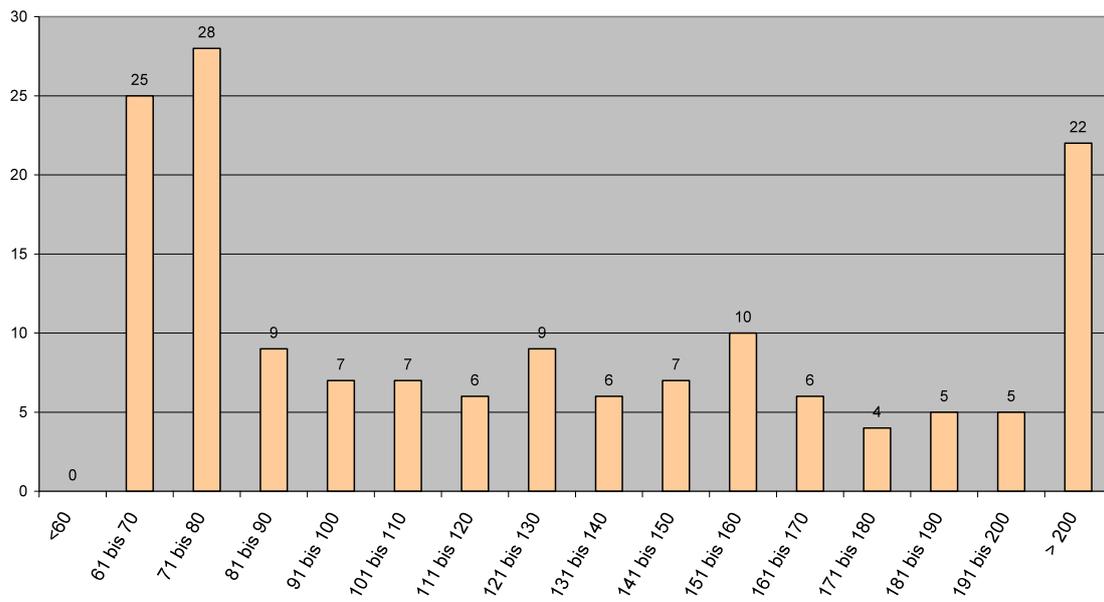


Abbildung 19: Messzeitenverteilung bei Messung mit der neuen BERA MB11

3.5 Vigilanzmessung bei Erstuntersuchung

Die Messung der Vigilanz wurde bei 156 von 363 Neugeborenen vorgenommen. 49 Kinder

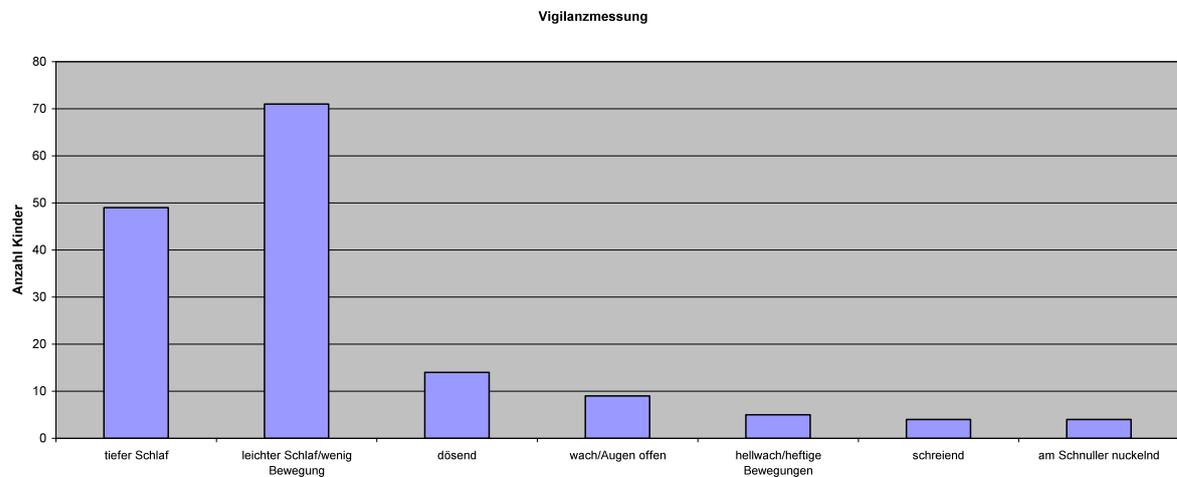


Abbildung 20: Vigilanzmessung

befanden sich während der Messung im Tiefschlaf. Bei 70 Neugeborenen wurde ein leichter Schlaf mit leichten Bewegungen festgestellt. In einem dösenden Zustand waren 14 und wach mit offenen Augen waren 8 Kinder beim Hörtest. 5 Kinder zeigten hellwach Verhalten und bewegten sich stark, jeweils 4 Kinder schrien oder nuckelten am Schnuller.

3.6 Überprüfung des Zusammenhanges zwischen Vigilanz und Screeningergebnis bei Erstuntersuchung

Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Vigilanz der Neugeborenen bei Erstuntersuchung in der Frauenklinik und dem Screeningergebnis bestand. Es wurde untersucht, ob die „Fail“-Rate und die Übereinstimmung zwischen beiden Screeningsystemen durch die Vigilanz der Kinder beeinflusst wurde.

Es wurde die Gruppe von 156 Neugeborenen herangezogen, bei denen in der Frauenklinik das erste Hörscreening und eine Vigilanzmessung durchgeführt wurde.

In der Gruppe der tief schlafenden Kinder wurden mit beiden BERA-Methoden 48 von 49 übereinstimmende Ergebnisse gefunden, dabei fanden sich 44 übereinstimmende „Pass“-

Ergebnisse und 4 übereinstimmende „Fail“-Ergebnisse in dieser Gruppe. Ein Ergebnis war nicht übereinstimmend und ergab mit der alten BERA ein unauffälliges Ergebnis und mit der neuen BERA ein auffälliges Ergebnis. Bei der Messung mit der alten BERA ergab sich dementsprechend bei 45 Probanden (91,8%) ein unauffälliges und bei 4 (8,2%) ein auffälliges Ergebnis. Bei der Messung mit der neuen BERA zeigten 44 Neugeborene (89,8%) ein unauffälliges und 5 (10,2%) ein auffälliges Resultat.

Schliefen die Probanden leicht und bewegten sich nur wenig, fanden wir eine Übereinstimmung der Ergebnisse bei der Messung mit beiden Methoden bei 64 von 70 Kindern. Bei 63 Neugeborenen gab es übereinstimmend das Ergebnis unauffällig, bei 7 Kindern bestand keine Übereinstimmung. Die alte BERA ergab ein unauffälliges und die neue BERA ein auffälliges Ergebnis. Die Messung in dieser Gruppe ergab mit der alten BERA bei 70 Probanden (100%) ein unauffälliges Ergebnis, bei der Messung mit der neuen BERA fand sich bei 63 Neugeborenen (90%) ein unauffälliges und bei 7 (10%) ein auffälliges Ergebnis.

Waren die Neugeborenen im Zustand „dösend“ gab es 11 von 14 übereinstimmende Ergebnisse. Dabei waren mit beiden Methoden 10 Kinder übereinstimmend unauffällig und 1 Neugeborenes übereinstimmend auffällig. Bei 3 Kindern fand sich keine Übereinstimmung, die alte BERA gab das Ergebnis unauffällig und die neue BERA das Ergebnis auffällig an. Die Messung mit der alten BERA ergab in dieser Gruppe bei 13 (92,9%) von 14 Probanden ein unauffälliges Resultat. Die Messung mit der neuen BERA zeigte bei 10 (71,4%) von 14 Neugeborenen ein unauffälliges Resultat.

Im Zustand „wach“ ergaben die Messungen mit beiden Methoden volle Übereinstimmung, alle 8 Kinder (100%) zeigten ein unauffälliges Ergebnis.

Im Zustand „hellwach“ mit heftigen Bewegungen ergaben die Messungen bei 4 von 5 Kindern übereinstimmende Ergebnisse, 3 Ergebnisse waren übereinstimmend unauffällig, 1 Ergebnis übereinstimmend auffällig. Ein Ergebnis war nicht übereinstimmend und zeigte bei der Messung mit der alten BERA ein unauffälliges Ergebnis und bei Messung mit der neuen BERA ein auffälliges Ergebnis. Bei der Messung mit der alten BERA konnten in dieser

Gruppe bei 4 (80%) von 5 Probanden unauffällige Ergebnisse dokumentiert werden. Mit der neuen BERA waren 3 (60%) der Ergebnisse unauffällig.

In der Gruppe der schreienden Kinder zeigten bei der Messung mit beiden Methoden 3 (75%) ein unauffälliges und ein Neugeborenes (25%) ein auffälliges Ergebnis.

In der Gruppe der am Schnuller nuckelnden Kindern waren alle 4 Untersuchungsergebnisse (100%) übereinstimmend unauffällig.

3.7 Prüfung des Zusammenhangs zwischen Messergebnis und Zeitpunkt der Messung

Die Abbildungen 21 und 22 zeigen die Altersverteilung der Probanden bei der Messung mit der visuellen BERA und der neuen BERA und dazu korrelierend das Messergebnis durch das jeweilige System. Dabei wurden die Ergebnisse in „Pass“ und „Fail“ unterschieden.

Die Abbildungen zeigen, dass die meisten Neugeborenen während der ersten drei Lebenstage untersucht wurden. Bei der neuen BERA fiel auf, dass bei Messungen in den ersten drei Tagen die „Fail“-Rate erhöht war. Jedoch konnte aufgrund der zu geringen Datenmenge keine Aussage über den am besten geeigneten Zeitpunkt für die Messung gemacht werden.

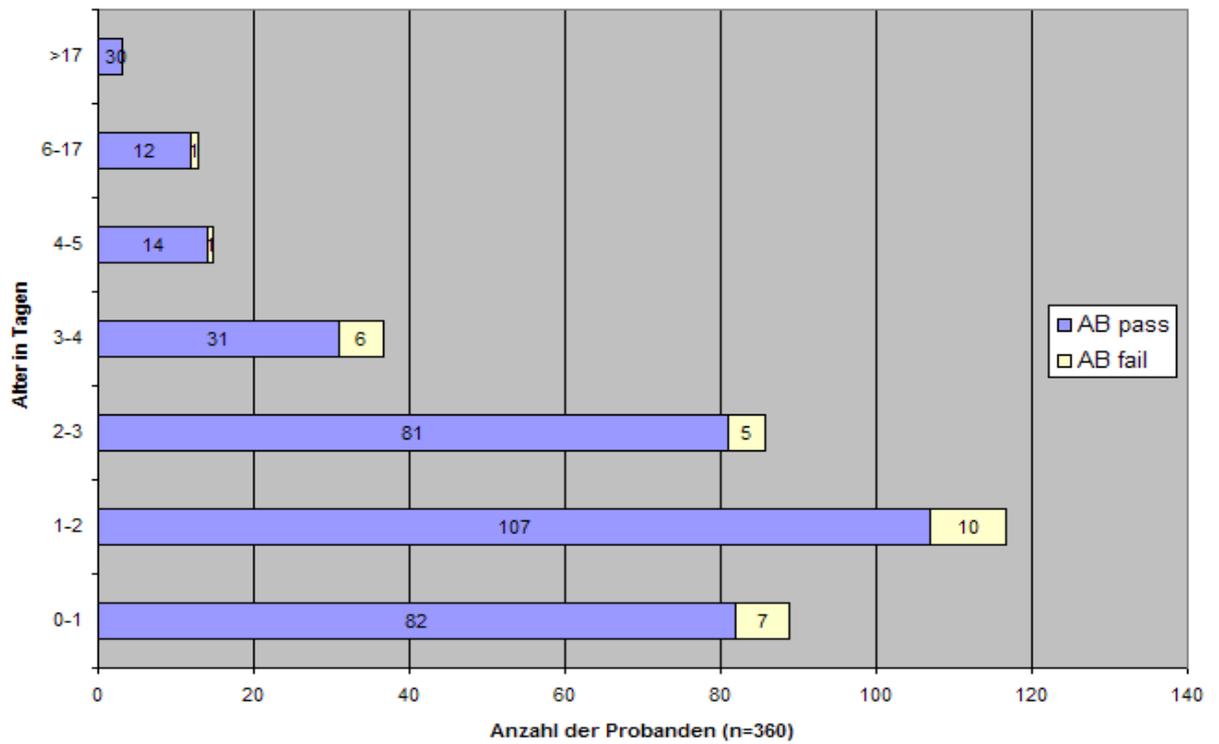


Abbildung 21: Verteilung der "Pass"- und "Fail"-Raten in Altersabhängigkeit mit der konventionellen BERA

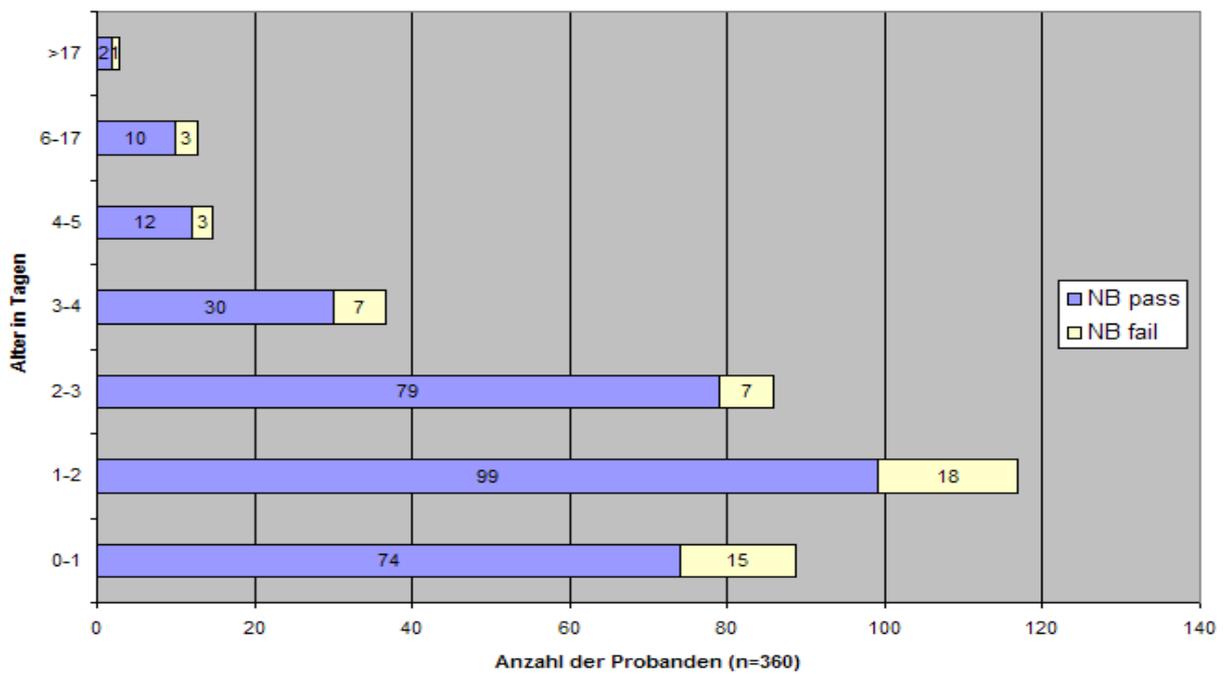


Abbildung 22: Verteilung der "Pass"- und "Fail"-Rate in Altersabhängigkeit mit der neuen BERA

3.8 Kosten des automatisierten Screeningverfahrens Maico MB 11

Für die Aufstellung der Kosten des automatisierten Screeningverfahrens wurden folgende Größen für die Berechnung herangezogen:

1. Personalkosten
2. Materialkosten für Notebook, MB11 Screener, BERAPHON®, Kosten für Verbrauchsmaterialien

Diese beiden Kostenpunkte sind für die Einschätzung der Gesamtkosten wesentlich und werden im Weiteren genauer betrachtet.

3.8.1 Die Personalkosten

Die jährlich anfallenden Personalkosten wurden aus dem Bundesangestelltentarif BAT entnommen und für Medizinisch-technische Assistenten (MTA) und Pflegehelfer/-in berechnet.

Entsprechend dieser Untersuchung, die von Dezember 2000 bis Juli 2001 lief, wurde die Probandenzahl auf 1 Jahr hochgerechnet. Das heißt, dass jährlich ca. 700 Neugeborene an der Frauenklinik Würzburg untersucht wurden. Die Untersuchungen fanden dreimal wöchentlich über ein Jahr (52 Wochen) statt. Das ergibt 156 Untersuchungstage. Pro Untersuchungstag wurden durchschnittlich 5 Neugeborenen gescreent. Die Messzeit pro Kind betrug im Mittelwert 136 Sekunden. Daraus ergaben sich reine Messzeiten pro Tag von ca. 11 Minuten für die neue BERA. Zusätzliche Zeit wurde für die Datenerfassung, Ausfüllen des Untersuchungsbogen, Dokumentation im Untersuchungsheft, die Vorbereitung des Kindes (Auftragen des Elektrodengel) und anschließende Säuberung des Probanden eingerechnet. Dafür wurden pro Untersuchung ca. 3 Minuten benötigt, das bedeutete ca. 15 Minuten pro Untersuchungstag. Die Zeit für Aufbau und Hochfahren des Systems, sowie Abbau und Verstauen der Gerätschaften wurde mit ca. 5 Minuten eingerechnet. Daraus ergab sich eine tägliche Messzeit beim Screening von 5 Kindern von 31 Minuten.

Daraus ergab sich eine wöchentliche Messzeit von 93 Minuten mit der neuen BERA.

Die wöchentliche Arbeitszeit im öffentlichen Dienst beträgt 38,5 Wochenstunden gemäß Bundesangestelltentarifvertrag (BAT). Bei der neuen BERA wurden 4,03% der wöchentlichen Arbeitszeit für die Durchführung des Hörscreenings verwendet.

Das durchschnittliche Jahreseinkommen für eine MTA betrug ca. 37 000 Euro und für eine/n Pflegehelfer/-in ca. 30 000 Euro.

Anteilig ergaben sich jährliche Personalkosten für die neue BERA von 1468,90 Euro, wenn die Untersuchung von einer MTA durchgeführt wurde, und 1191,00 Euro bei Durchführung des Screenings durch eine/n Pflegehelfer/-in.

Im Vergleich zeigte die BERA mit visueller Auswertung deutlich höhere Werte. Früher durchgeführte Erhebungen (Kaufmann 2001) ergaben bei einem wöchentlichen Untersuchungsaufwand von 4,5 Stunden einen jährlichen Kostenaufwand von 4422,72 Euro bei Durchführung der Untersuchung durch eine MTA und 3621,50 Euro durch eine/n Pflegehelfer/-in.

3.8.2 Die Materialkosten

Die Anschaffungskosten für das Screeningsystem (inklusive Notebook, MB11 Screener und BERAPHON®) beliefen sich auf ca. 7000 Euro. Verteilt auf einen Abschreibungszeitraum von 3 Jahren, ergaben sich jährliche Kosten für das Screeningsystem von ca. 2333 Euro.

Die Kosten für Verbrauchsmaterialien wie Feuchttücher, Elektrodengel, Desinfektionsmittel wurden mit 0,30 Euro pro Kind angenommen.

Für das Würzburger Hörscreening ergaben sich Untersuchungskosten für die neue BERA pro Kind bei der Durchführung der Untersuchung durch eine MTA in Höhe von 5,73 Euro, bei Durchführung durch ein/n Pflegehelfer/-in 5,33 Euro.

Für die visuelle BERA ergaben die vorliegenden Zahlen Kosten in Höhe von 13,28 Euro bei Screening durch eine MTA und 12,13 Euro bei Durchführung der Untersuchung durch eine/n Pflegehelfer/-in. Die eingerechneten Gerätekosten von ca. 14000 Euro beliefen sich auf den doppelten Betrag, da zwei Messgeräte, ein stationäres für die Frauenklinik sowie ein Gerät für die HNO-Klinik angeschafft werden mussten. Der wöchentliche Arbeitsaufwand

betrug bei der visuellen BERA ca. dreimal mehr als bei der automatisierten BERA, die daraus resultierenden höheren Personalkosten lagen bei einer MTA bei 4422,72 Euro und bei einem Pflegehelfer/-in bei 3621,50 Euro pro Jahr. Die Kosten für Einmalartikel und Verbrauchsmaterialien waren gleich hoch und lagen bei 0,30 Euro pro Kind.

4 Diskussion

Im folgenden Kapitel stehen die Untersuchungsergebnisse einer automatisierten Screeningmethode im Vergleich zur Referenzmessung mit der visuellen BERA zur Diskussion. Außerdem werden Screeningmodell und -methode diskutiert. Besonders zu beurteilen sind dabei die Praktikabilität, der Zeit- und Kostenaufwand sowie die Validität des Verfahrens.

4.1 Die Wahl der Methode, zeitlicher und finanzieller Aufwand

Objektive Untersuchungsmethoden erwiesen sich in der Durchführung von Neugeborenen-Hörscreenings als besonders geeignet (Joint Committee on Infant Hearing 2002), subjektive Methoden werden heutzutage wegen ihrer ungenügenden Sensitivität und Spezifität nicht mehr für ein Neugeborenen-Hörscreening in Betracht gezogen (Feinmesser et al 1976; Jacobson et al. 1984).

Für die Diagnostik von Hörstörungen bei Neugeborenen und zur Hörschwellendiagnostik werden vor allem zwei objektive und nicht-invasive Verfahren angewandt: die OAE und die Hirnstammaudiometrie (BERA) (Gesellschaft für Neonatologie und pediatriische Intensivmedizin 2002). Diese Verfahren haben sich bei Hörtests von Neugeborenen als besonders geeignet erwiesen, da sie keiner Mitarbeit des Probanden bedürfen und auch während des Schlafes durchgeführt werden können. Trotz der hohen Sensitivität, Spezifität und Validität dieser objektiven Methoden konnten sie bislang für ein generelles Hörscreening bei Neugeborenen aufgrund der sehr hohen apparativen, personellen und zeitlichen Kosten nur beschränkt eingesetzt werden. Erst der Entwicklung automatisierter BERA-Verfahren in den 80er Jahren ist es zu verdanken, dass es für die BERA-Methode einen Durchbruch als Screeningmethode gab (Jacobson et al. 1990). Sowohl für die Hirnstammaudiometrie als auch für die OAE gibt es heute einfach anwendbare und schnell durchführbare automatisierte Verfahren.

Nach wie vor einschränkende Voraussetzung für die Anwendung der OAE beim Screening sind ein freier Gehörgang und ein freies Mittelohr. Sehr oft sind diese nach der Geburt mit Fruchtwasser oder Vernix caseosa (Käseschmiere) verstopft, was zu hohen Fail-Raten und somit zu vielen Wiederholungsmessungen führt. Es gibt Empfehlungen von Autoren von

OAE-Studien, die Messungen erst im Alter von zwei (Welzl- Müller et al 1997) bis drei (Reuter et al 1998) Tagen durchzuführen.

Im Gegensatz dazu zeigen sich akustisch evozierten Potentiale als relativ unempfindlich gegenüber Fruchtwasser oder Vernix caseosa. Außerdem erfolgt die Reizgebung nicht über eine Sonde, die verstopfen kann sondern über einen Kopfhörer (Mc Nellis et al 1997).

Seit 1997 wird in Würzburg das BERAphon® beim Hörcreening eingesetzt. Frühere Untersuchungen zeigten, dass das BERAphon® eine praktikable und effektive Methode für die Durchführung des Neugeborenen-Hörscreenings ist (Shehata-Dieler et al. 2002), da kein umständliches und zeitaufwändiges Kleben von Ableiteelektroden notwendig ist. Durch die Entwicklung des BERAphon® und die Anwendung des Zeitgangreizes (Finkenzeller 1994) konnten die Nachteile der BERA-Untersuchungen bezüglich des zeitlichen und technischen Aufwandes verringert werden.

Ein weiterer Vorteil des BERAphon® besteht in der Möglichkeit, die Funktionsfähigkeit der akustischen Bahn bis zum Hirnstamm zu überprüfen. Damit können auch Kinder mit einer auditorischen Neuropathie oder einer retrocochleären Läsion ausreichend sicher diagnostiziert werden (Shehata-Dieler et al. 2006).

Durch das Verzichten auf Elektroden und das Vermeiden von Einmalartikeln konnten zusätzlich Kosten gespart werden, die Messzeit konnte ebenfalls verkürzt werden. Trotz der verbesserten Effektivität erwies sich der hohe Personalaufwand als nachteilig. Für die Screeninguntersuchung musste kostenintensives Fachpersonal eingesetzt werden, da die Entscheidung, ob eine Messung abgeschlossen werden kann, vom Untersucher getroffen werden musste. Es bestanden also erhebliche Anforderungen an den Untersucher und setzte viel Erfahrung beim Hörscreening voraus. Weiterhin wurde die Auswertung der Messkurven am Computer vorgenommen. Nach Rücksprache mit einem Audiologen konnte ein abschließendes Screeningergebnis erzielt werden. Zu diesem Zeitpunkt stellte sich dann heraus, ob eine „unauffällige“ Messung vorlag oder ob das Screening wiederholt werden musste, was einen erneuten Zeit- und Kostenaufwand bedeutete.

So war es das Ziel, eine automatisierte Methode zu entwickeln, um den Ablauf und die Auswertung der Messung zu vereinfachen.

Ab Dezember 2000 wurde in Würzburg das Hörscreening zusätzlich mit einem automatisierten BERA-Verfahren durchgeführt, wobei ein Computerprogramm mit Hilfe von klar festgelegten Algorithmen während der Messung die Auswertung der

Screeninguntersuchung vornahm. Sofort nach Beendigung der Screeninguntersuchung stand ein Ergebnis fest („unauffällig“ oder „Kontrolle empfohlen“). Durch diese Automatisierung konnte die Messzeit auf 136,5 Sekunden (Mittelwert) reduziert werden. Im Vergleich dazu benötigte man für die Referenzmessung bei einer vorangegangenen Studie 246 Sekunden reiner Messzeit für die Untersuchung. Das bedeutet, dass aufgrund der Reduktion der Messzeit um 44% ein erheblicher Zeitgewinn durch die automatisierte Untersuchungsmethode erreicht werden konnte.

In weiteren Untersuchungen mit automatisierten Verfahren wurden mittlere Messzeiten von 1500 Sekunden (van Straaten 1996), 900 Sekunden (Mason und Herrmann 1998) und 426 Sekunden (Stewart et al. 2000) genannt. Allerdings ist die Vergleichbarkeit bedingt durch die Nutzung unterschiedlicher Untersuchungsmethoden eingeschränkt. Man bekommt jedoch einen Eindruck, wie die Messzeiten in der vorliegenden Untersuchung einzuordnen sind.

Der durchschnittliche Zeitaufwand pro Kind bei Verwendung des ALGO I beträgt noch 1440 Sekunden (van Straaten et al. 1996; Doyle et al 1997), konnte aber durch Verbesserungen beim ALGO II auf durchschnittlich 360 Sekunden gesenkt werden (Doyle et al 1998). Automatisierte Verfahren stellen demnach eine deutliche Verbesserung dar.

Durch die automatische Auswertung werden auch die mit dem Screening betrauten Audiologen bei der Interpretation der Messkurven entlastet. Sie müssen nicht mehr jedes Untersuchung im Einzelnen bewerten, um ein Screeningergebnis zu fällen.

Auch die Eltern der Neugeborenen profitieren vom schnellen Auswertungsmodus der automatisierten BERA. So wissen sie direkt nach dem Hörtest, ob ihr Kind ein unauffälliges oder auffälliges Ergebnis beim Hörtest aufweist, und haben schnell Gewissheit über das Hörvermögen ihres Kindes.

Mit Hilfe der automatisierten Auswertung reduzieren sich die Anforderungen an den Untersucher, da die Untersuchung nicht mehr durch Fachpersonal, sondern durch angelernte Hilfskräfte oder auch trainiertes Stationspersonal absolviert werden kann. Bei der Durchführung des Screenings muss lediglich das Computerprogramm gestartet, die Patientendaten und Untersuchungsdaten notiert, und das Kind für die Untersuchung mit dem BERAPHON® vorbereitet werden. Dabei muss das Elektrodengel auf die Ableitungspunkte der Haut des Kindes aufgetragen werden, danach folgt das Aufsetzen des BERAPHONS®, das Starten der Messung und die Anzeige des Messergebnisses. Am Ende wird

das Kind vom Elektrodengel gereinigt. Alle Ergebnisse werden im Untersuchungsprotokoll notiert, und die Screeninguntersuchung ist abgeschlossen.

Durch das automatisierte Verfahren reduzieren sich nicht nur die Anforderungen an die untersuchende Person, sondern auch die damit in Verbindung stehenden Personalkosten.

Der Untersucher kann selbstständig die beste Untersuchungszeit festlegen, vorzugsweise am tief schlafenden Kind. Damit lässt sich das Screening besser in den Stationsablauf integrieren und flexibel gestalten.

Das in dieser Untersuchung verwendete automatisierte Meßsystem befindet sich in einem tragbaren Koffer und kann flexibel eingesetzt werden. Dies ermöglicht ein ortsunabhängiges Screening, ohne viel Aufwand kann auf verschiedenen Stationen und im Perinatalzentrum die Untersuchung durchgeführt werden. Diese Standortunabhängigkeit ermöglicht eine Mehrfachnutzung des Screeninggerätes. Dies kann mit höherer Auslastung in mehreren Kliniken verwendet werden. Das hält die Anschaffungskosten für das Gerät niedrig und entspricht damit den ökonomischen Anforderungen im Gesundheitssystem.

Mit der Einführung eines automatisierten Screeningsystems werden nicht nur die Anforderungen an den Untersucher reduziert, auch die daraus entstehenden Personalkosten können reduziert werden, indem MTA's oder Pflegepersonal eingesetzt werden können. Die Kosten werden zusätzlich durch die verkürzte Untersuchungszeit auf 4,03 % der Wochenarbeitszeit reduziert. Vergleichend dazu benötigt die Untersuchung mit der visuellen BERA kostenintensiveres Fachpersonal. Zusätzlich ist mit 11,7% die Wochenarbeitszeit beim Screening diese ca. dreimal höher als beim automatisierten Verfahren.

Pro untersuchtem Kind belaufen sich die anfallenden Kosten beim automatisierten BERASystem auf 5,73 Euro bei der visuellen BERA auf 13,28 Euro bei der Durchführung des Screenings durch eine MTA und können bei der Untersuchung durch eine/n Pfleger/-in auf 5,33 Euro (neue BERA) und 12,13 Euro (visuelle BERA) reduziert werden.

Andere Studien mit automatisierten BERA-Verfahren geben einen finanziellen Aufwand zwischen 20 USDollar und 50 USDollar an (Robinette MS 1998). In einer Studie aus den USA bei der das Screening mit der ALGO I durchgeführt wurde, fielen Kosten pro Kind in Höhe von 17 USDollar (Mason et al. 1998) an.

Die niedrigeren Kosten für das Screening mit dem automatisierten BERA-Verfahren mit BERAPHON sind weiterhin auf die niedrigeren Anschaffungskosten für Notebook, MB11

Screeener und BERAPHON zurückzuführen. Da das automatisierte Verfahren mit einem transportablen, flexiblen Gerät arbeitet, werden die Kosten für die Anschaffung eines zweiten stationären Screeninggerätes eingespart.

Das automatisierte BERA-Verfahren Maico MB11 hat sich als eine effektive Methode zur Durchführung eines universellen Neugeborenen-Hörscreening erwiesen. Die Einschränkungen, die in der Literatur beschrieben wurden mit zu langen Messzeiten, einem hohen personellen und apparativen Aufwand, konnten mit dieser Untersuchung widerlegt werden. Allerdings zeigen die hohen initialen „Fail“-Raten, dass die definierten Algorithmen zum Erkennen der spezifischen Wellenkomplexe überprüft und besser angepasst werden müssen.

4.2 Das Screeningmodell

Beim Würzburger Neugeborenen Hörscreening wurde ein zweistufiges Screeningmodell genutzt. Um eine hohe Erfassungsrate zu erreichen, soll das Hörscreening in den ersten Tagen nach der Geburt noch in der Frauenklinik durchgeführt werden. Dies ist durch ein dreimal wöchentlich stattfindendes Screening gewährleistet. Die Erfassungsrate lag bei 98,38% und liegt damit über den 95% die durch das 2002 verabschiedete deutsche Konsensuspapier 4.0 gefordert wurden. In der HNO-Klinik finden Nachuntersuchungen, die weitere Abklärung oder das Screening von frühzeitig entlassenen Kindern oder Fremdkindern statt. Beim Würzburger Neugeborenen-Hörscreening wird ein BERA-Verfahren mit hoher Sensitivität und Spezifität (höher als 96%) verwendet. Damit entspricht das Screening den aktuellen Forderungen.

Das Hörscreening Screen (1) wurde durch Mitarbeiter der Hals-,Nasen- und Ohrenklinik Würzburg stationär in der Frauenklinik durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse wurden wie vom Konsensuspapier 4.0 gefordert im Untersuchungsprotokoll und im Untersuchungsheft dokumentiert. Bei Bedarf konnte noch in der Frauenklinik eine Wiederholungsmessung Screen (2) vollzogen werden. Dadurch wurde die Pass-Rate nach dem Screening in der Frauenklinik von Screen (1) mit 92,58% auf 96,15% erhöht. Nach Screen (3) in der HNO lag die Pass-Rate in der vorliegenden Studie bei 100%. Die

Überwachung des Screenings und die abschließende Beurteilung der Untersuchungsergebnisse führt im Rahmen der Qualitätssicherung eine Audiologin durch.

Alle beim Screening auffälligen Kinder werden ab dem Diagnosezeitpunkt in der HNO-Klinik versorgt und betreut. Die Forderung nach Diagnosesicherung für auffällige Kinder bis zum 3. Lebensmonat und Therapieeinleitung bis zum 6. Lebensmonat kann in Würzburg durch zentrale Steuerung gewährleistet werden.

In Würzburg findet demnach ein wie durch das Konsensuspapier 4.0 gefordertes universelles Neugeborenen-Hörscreening im Rahmen eines qualitätsgesicherten Screening-Programms statt. Dieses Screeningprogramm wird zentral von der HNO-Klinik koordiniert und sichert die Versorgung vom ersten Screening bis zur anschließenden Versorgung der entdeckten hörgeschädigten Kinder.

Für den Erfolg eines universellen Neugeborenen-Hörscreenings (NHS) ist eine vertrauensvolle, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Fachbereichen Gynäkologie, Geburtshilfe, Pädiatrie und HNO unabdingbar.

Weiterhin ist eine ausführliche Aufklärung und Information der Eltern über Notwendigkeit, Möglichkeiten und Grenzen eines durchgeführten Hörtests, z.B. in Form von Informationsbroschüren, sehr wichtig. Nur durch die Mitarbeit der Eltern kann eine hohe Erfassungsrate, eine schnelle Aufdeckung einer Hörstörung und die frühe Zuführung zur weiterführenden Therapie gewährleistet werden.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden an der Universität Würzburg 368 Neugeborene mit zwei verschiedenen BERA-Systemen untersucht und die Ergebnisse miteinander verglichen und ausgewertet. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde zwischen der patientenbezogenen und der messungsbezogenen Auswertung unterschieden. Bei binauralem Screening oder Mehrfachuntersuchungen können einem Patienten mehrere Messungen zugeordnet werden. Die Aufteilung nach patienten- und messungsbezogenen Ergebnissen dient daher der Übersichtlichkeit.

4.3.1 Vergleich der Pass/Fail-Raten

Die Bewertung eines effizienten Hörscreenings erfolgt unter anderem nach Angabe der initialen „Pass“-Rate, der falsch-positiv Rate und falsch-negativ Rate. Diese beiden Raten sagen etwas über die Patienten aus, die gesund sind, aber als krank eingestuft wurden oder die krank sind und als gesund eingestuft wurden.

Sensitivität: $22/28 = 0,756$, d.h. 75,6% mit 95% Vertrauensintervallen nach Wilson (CI) (60%,90%)

Spezifität: $304/335 = 0,907$, d.h. 90,7% mit 95% CI (87%,94%)

Pos Pred Val= Anteil der Nichthörenden von denjenigen, die von der neuen BERA erkannt wurden.

$22/53 = 0,415$, d.h. 41,5% mit 95% CI (29%,55%)

Neg Pred Val= Anteil der Hörenden, welche von der neuen BERA als hörend erkannt wurden.

$304/310 = 0,981$, d.h. 98,1% mit 95% CI (95%,99%)

Aufgrund der geringen Probandenzahl in dieser Erhebung, in Europa wird die durchschnittliche Prävalenz für das Vorliegen einer Hörstörung mit 0,8 - 2,3 Kinder pro Tausend Neugeborenen angegeben, muss dieser Aspekt bei der Betrachtung der Ergebnisse für Sensitivität und Spezifität berücksichtigt werden.

4.3.2 Vergleich der Pass/ Fail-Raten, patientenbezogene Auswertung

Das automatisierte BERA-Verfahren Maico MB 11 wurde im Screen (1) parallel zur konventionellen BERA (Referenzmessung) eingesetzt. Die patientenbezogene Auswertung mit der konventionellen BERA ergab eine initiale „Pass“-Rate von 92,29% nach Screen (1), die der automatisierten BERA ergab nach Screen (1) 85,4%. Von den 53 Kindern mit auffälligen Testergebnissen bei der automatisierten BERA konnten in Screen (2) 18 erneut untersucht werden. Bei 35 Kindern wurde keine erneute Messung mit der automatisierten BERA durchgeführt, da die Referenzmessung mit der neuen BERA unauffällige Ergebnisse

aufwies und diese Kinder nicht erneut nur von der neuen BERA untersucht wurden. Nach Screen (1)+(2) in der Frauenklinik erhöhte sich die „Pass“-Rate auf 89,53%. Im Vergleich zu anderen Studien ist die „Pass“-Rate in der vorliegenden Untersuchung mit der automatisierten BERA nach Screen (1) sehr niedrig.

Im Gesamtvergleich erreicht die visuelle BERA mit 98% die höchste „Pass“-Rate nach nur einem Hörtest (Mc Nellis et al., 1997).

Sehr gute Screeningergebnisse zeigten in der Vergangenheit andere automatisierte BERA-Verfahren. Bei einer Untersuchung in den Niederlanden mit dem ALGO I konnten nach einem einmaligen Hörtest bereits 92% der Probanden als normalhörend eingestuft werden (Straaten HLMv et al., 1996). Andere Erhebungen mit dem Algo I und II ergaben nach einem Screeningdurchgang 88,5% (Doyle KJ, 1997) und 92% (Doyle KJ, 1998) unauffällige Ohren.

4.3.2.1 Vergleich Pass/Fail-Raten, messungsbezogene Auswertung

Die messungsbezogene Auswertung zeigt bei der bisherigen BERA eine initiale „Pass“-Rate von 92,59% und unterscheidet sich damit nur unwesentlich von der patientenbezogenen initialen „Pass“-Rate von 92,29%. Im Gegensatz dazu zeigt die neue automatisierte BERA bei der messungsbezogenen Auswertung eine initiale „Pass“-Rate von 64,13% und weicht damit um 8,95% von der patientenbezogenen Auswertung ab.

Dies ergibt sich aus der Anzahl der durchgeführten Messungen, die z.B. bei mehrfach gescreenten Risikokindern stärker ins Gewicht fallen und so für eine schlechtere initiale „Pass“-Rate sorgen. Zusätzlich fällt auf, dass die neue automatisierte BERA im Vergleich zur BERA ohne automatische Auswertung zusätzliche Messungen erfordert. Dies deutet darauf hin, dass die Spezifität der neuen BERA geringer einzuschätzen ist.

4.3.3 Übereinstimmung der Screeningergebnisse

Zur Bewertung der Screeningmethode wird der direkte Vergleich mit einer bewährten Referenz (BERA mit visueller Auswertung) herangezogen. Bei 363 Kindern wurden die Ergebnisse der neuen BERA mit den Untersuchungsergebnissen der visuellen BERA verglichen. In der Relation zur Gesamtmessung liegt eine Übereinstimmung der „Pass“-

und „Fail“-Rate von 89,81% nach Screen (1) vor, nach Screen (2) lag die Übereinstimmungsrate bei 90,36%.

Da in Screen (2) nur die Kinder einer Wiederholungsmessung unterzogen wurden, die mit der BERA mit visueller Auswertung ein auffälliges Ergebnis aufwiesen, lässt erklären, warum die Übereinstimmungsrate nach Screen (2) nur leicht angehoben ist.

Es gab keinen Fall, bei dem die neue BERA als Ergebnis ein „Pass“ anzeigte und mit der konventionellen BERA nach abgeschlossenem Screening ein „Fail“-Ergebnis gemessen wurde. 4 Kinder zeigten bei Screen (1) mit der BERA mit visueller Auswertung auffällige Ergebnisse, die Messung mit der neuen BERA ergab unauffällige Ergebnisse. Nach Screen (2) zeigten 2 der 4 Kinder ebenfalls unauffällige Reizantworten. Die anderen 2 Probanden bestanden beim Screen (HNO) den Hörtest. Diese 4 Kinder wurden von der neuen BERA schon nach einem Hörtest als normalhörend erkannt, die konventionelle BERA benötigte für dieses Ergebnis noch Screen (2) und Screen (3).

Bei 75 Kindern zeigte die neue BERA ein auffälliges Ergebnis obwohl die Referenzmessung bereits nach einem Hörtest ein unauffälliges Testergebnis aufwies. Nach Wiederholungsmessungen am selben Screeningtag zeigte auch die neue BERA eine Übereinstimmung mit der Referenz. In die Auswertung wurde jedoch immer nur die erste Messung einbezogen.

Es zeigt sich, dass die neue BERA noch eine relativ hohe Wiederholungsrate aufweist, um ein übereinstimmendes Ergebnis mit der Referenzmessung zu erlangen. Durch das in Würzburg praktizierte zweistufige Screeningmodell, können notwendige Wiederholungsmessungen zur Verifizierung des ermittelten Ergebnisses zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden. Auch ist es möglich, durch eine Anpassung der Sensibilität des Algorithmus Veränderungen zu erreichen. Die Gründe für die abweichenden Ergebnisse von der Referenzmessung lagen hauptsächlich an der fehlenden Korrelation und an ungenügenden Antworten bei 60 dB. Bei 12 Kindern ergab eine visuelle Auswertung der Ergebnisse mit der neuen BERA ein unauffälliges Ergebnis.

Nach einer besseren Anpassung des Algorithmus und durch eine technische Weiterentwicklung kann möglicherweise dieses Problem reduziert werden.

4.3.4 Mögliche Ursachen für hohe initiale „Fail“-Raten

Für ein sicheres Untersuchungsergebnis sind vor allem das Herausfiltern von Artefakten und die Untersuchung in einer geräuscharmen Umgebung maßgebend. Für die Entstehung von Artefakten gilt vorhandene Muskelaktivität als größter Störfaktor. Daher ist ein Screening bei schlafenden Neugeborenen erstrebenswert, konnte jedoch nicht in allen Fällen eingehalten werden.

Bei auftretenden Störungen unterscheidet man äußere und innere Störfaktoren. Als innere Störfaktoren beeinflussen die Aufmerksamkeit des Kindes, die mangelnde Synchronisation der evozierten Potentiale, das Aufkommen von Muskelpotentialen die evozierten Potentiale. Externe akustische Einflüsse, Schwitzen, Netzrauschen und eine veränderte Elektrodenauflagefläche kommen als äußere Störfaktoren dazu.

Durch den Einfluss dieser Störungen kommt es zu Latenzschwankungen, Amplituden- und Potentialänderungen. Diese verursachen mit steigender Mittelung eine Potentialverkleinerung und damit eine erschwerte Identifikation.

Durch die bei der automatisierten, neuen BERA eingesetzten statistischen Modelle erfolgt eine automatische Artefaktunterdrückung. Bei einem zu hohen Auftreten von Artefakten startet die Messung erneut.

Bei der neuen BERA übernimmt ein statistisches Programm anhand von definierten Algorithmen das Erkennen spezifischer Wellenkomplexe. Die visuelle Auswertung von 12 Messergebnissen der neuen BERA die zuvor als automatisches Ergebnis „Fail“ oder „Kontrolle“ aufwiesen, ergaben bei der visuellen Bewertung durch einen Untersucher ein unauffälliges Testergebnis. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Kriterien für das Erkennen der typischen Wellenkomplexe bei der automatischen Auswertung zu streng gewählt sind.

Seit 2003 wird in Würzburg ein automatisiertes Screening mit dem Frankfurter Algorithmus durchgeführt und basiert auf der Aufzeichnung von Steady State Hirnstammpotentialen (SSP) bei 40 dB. Der objektive statistische Nachweis (modifizierter Q-sample-Test nach

Stürzebecher et al. 1999) erfolgt nach Transformation dieser streng periodischen Zeitfunktion in dem Frequenzbereich.

4.3.5 Altersverteilung zum Messzeitpunkt

Eine Erfassungsrate von 98,64 % zeigt, dass ein dreimaliges Screening pro Woche ausreichend ist. Bei den Ergebnissen der neuen BERA fällt auf, dass bei Messungen in den ersten drei Tagen die „Fail“-Rate deutlich erhöht ist. Jedoch kann aufgrund der zu geringen Datenmenge keine Aussage über den am besten geeigneten Zeitpunkt für die Messung gemacht werden. Es könnte jedoch ein Hinweis dafür sein, dass das System bei der Beurteilung dieser Gruppe besonders empfindlich eingestellt ist und eher eine Kontrollmessung fordert.

Die Empfehlung, das Hörscreening erst nach 24 Stunden nach der Geburt durchzuführen, wurde in dieser Untersuchung berücksichtigt.

5 Zusammenfassung

Von Dezember 2000 bis Juni 2001 wurden in Würzburg 368 Neugeborene mit einem bewährten zweistufigen Neugeborenen-Hörscreening (NHS) erfasst und parallel mit der BERA ohne automatische Auswertung und BERAPHON® und einem automatisierten BERA-Verfahren gescreent.

Das automatisierte BERA-Verfahren beruht auf einem statistischen Verfahren unter Verwendung des Zeitgangreizes und des BERAPHONS®, das auf den Kriterien der visuellen Auswertung basiert.

Die initiale „Pass“-Rate lag bei der automatisierten BERA bei 85,4% und bei der Referenz bei 92,29%. Die „Pass“-Rate konnte nach einem 2. Screen in der Frauenklinik auf 89,53% und auf 96,14% erhöht werden. Die automatische Auswertmethode stimmt nur in 89,81% der Ergebnisse mit der Referenz überein.

Die Messzeit konnte gegenüber der Referenz um 44% auf einen Mittelwert von 136,5 Sekunden gesenkt werden.

Die Kosten für die Durchführung des Neugeborenen-Hörscreenings konnten durch die Anwendung der automatisierten BERA auf 5,73 Euro gesenkt werden.

Es konnte gezeigt werden, dass das automatisierte BERA-Verfahren den apparativen, personellen und zeitlichen Aufwand gegenüber der Referenz deutlich senkt.

Bevor die Kriterien für die automatisierte Auswertung nicht zuverlässiger sind und die geringe initiale „Pass“-Rate nicht erhöht werden kann, sollte ein alleiniges Neugeborenen_Hörscreening mit diesem automatischen BERA-Verfahren nur bedingt empfohlen werden.

Seit 2003 wird in Würzburg ein automatisiertes Screening mit dem Beraphon® (MB11) durchgeführt, das SSP Potentiale mit dem Q-Sample-Test auswertet (Stürzebecher et al. 1999). Seitdem werden sehr hohe Pass-Raten von 96,0 % erreicht.

Universitätsklinikum Würzburg
 Zentrum der Augustinen Julius-Maximilians-Universität
 Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
 Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. J. Helms



Wie wichtig ist eine normale Hörentwicklung für Ihr Kind ?



Informationsbroschüre



Wenn Sie Fragen haben oder mehr Informationen zum Thema Hören, Hörentwicklung und Hörminderung wünschen, wenden Sie sich bitte an:

Julius-Maximilians-Universität
 Klinik und Poliklinik für
 Hals-Nasen-Ohrenkrankheiten
 Audiologie, Pädaudiologie/Phoniatrie
 Josef-Schneider-Str. 11
 D-97080 Würzburg

**Audiologie/Elektrophysiologie/
 Pädaudiologie/Phoniatrie**
 Frau PD Dr. W. E. Shehata-Dieler
 Tel.: (0931) 201-21 372
 FAX: (0931) 201-21 301

Einen Termin für einen Hörtest können Sie von Montag bis Donnerstag von 13.00 Uhr bis 15.00 Uhr vereinbaren:
 Tel.: (0931) 201-21740
 FAX: (0931) 201-21369

Wie entwickelt sich das Gehör Ihres Kindes ?

Im Alter von...

...bis zu drei Monaten nach der Geburt:
 Aufschrecken bei einem lauten Geräusch

...drei bis sechs Monaten:
 Blick in Richtung Schallquelle, scheint zu lauschen

...sechs bis zwölf Monaten:
 Kopfdrehen in Richtung leiser Geräusche, versteht z.B. „nein“ und „winke winke“, imitiert Sprechlaute, wie z.B. „mama...dada...gaga...“

...zwölf Monaten:
 Sprechen erster Wörter, versteht viele Wörter

...achtzehn Monaten:
 Benutzen vieler Wörter

Was können Sie tun ?

Wenn Sie den Verdacht haben, dass Ihr Kind nicht normal hört, verlangen Sie, dass bei ihm ein gründlicher Hörtest durch einen HNO-Arzt/Pädaudiologen durchgeführt wird.

Exakte Hörtests können in jedem Alter durchgeführt werden. Die Auswahl der Tests ist altersabhängig.

Wenn eine Hörminderung festgestellt wird, steht Ihnen jederzeit unsere Hilfe zur Verfügung.

**Schieben Sie nichts auf !
 Es ist nie zu früh, das Gehör
 Ihres Kindes zu prüfen !**

Liebe Eltern,

nach der Geburt Ihres Kindes, zu der wir Ihnen recht herzlich gratulieren, werden Sie mit vielen Vorsorgeuntersuchungen konfrontiert, die das Ziel haben, Krankheiten so früh wie möglich aufzudecken. Mit dieser Broschüre würden wir Sie gerne über die Durchführung der Hörtests sowie die "Hörentwicklung" Ihres Kindes informieren.

Wußten Sie,...

... dass, obwohl nur sehr wenige Neugeborene taub sind, schätzungsweise zwei bis drei von tausend gesunden Neugeborenen mit einer Hörminderung zur Welt kommen ?

... dass ohne ein Neugeborenen-¹ "Hörscreening" eine vorhandene Hörstörung gewöhnlich nicht vor dem 2. bis 3. Lebensjahr festgestellt wird ?

... dass ein spätes Erkennen von Hörstörungen eine gestörte Sprachentwicklung und Lernstörungen verursachen kann ?

Um eine Hörminderung früh zu erkennen,...

... werden alle Neugeborenen, die in der Universitätsfrauenklinik Würzburg zur Welt kommen, auf eine Hörminderung hin untersucht.

Durchführung des "Hörscreenings"

Das Hörvermögen Ihres Kindes wird durch eine BERA²-Messung untersucht. Der Test wird auf der Neugeborenenstation, in der Kinder- oder HNO-Klinik durchgeführt.

Aus dem BERAphon[®], einer Kombination aus Lautsprecher und drei Ableitetroden, das mit einem weichen Kissen auf das Ohr des Kindes aufgesetzt wird, hört das Baby ein leises Klicken. Gleichzeitig wird die Antwort des Hörnerven abgeleitet.

Die Untersuchung wird im natürlichen Schlaf des Kindes vorgenommen, ohne dass es dadurch gestört wird. Eine Schädigung Ihres Kindes durch die Hörtests ist sicher ausgeschlossen.

Die Untersuchung wird durch Mitarbeiter der Audiologie, Phoniatrie/Pädaudiologie der Univ.-HNO-Klinik durchgeführt und ausgewertet. Ein auffälliger Befund wird den Eltern schriftlich mitgeteilt.

Wenn Ihr Kind beim Hörtest auffällt, ...

... heißt dies nicht unbedingt, dass Ihr Kind eine Hörminderung hat, sondern es bedeutet, dass der Hörtest wiederholt werden muß. Manche Kinder z.B. fallen lediglich deshalb bei diesem Test auf, weil sich noch Flüssigkeit im Mittelohr oder im Gehörgang befindet.

Wenn eine Testwiederholung nötig ist, ...

... so findet diese zwei Tage später noch einmal in der Frauen- oder Kinderklinik statt.

Auch wenn der Hörtest unauffällig ist, ...

... ist eine Nachsorge nötig! Auch später kann bei Kindern noch eine Innenohrschwerhörigkeit auftreten. Eine Hörminderung kann außerdem durch Flüssigkeitsansammlung im Mittelohr entstehen.

Auch bei leichten Hörschädigungen ist eine Beeinträchtigung der Sprachentwicklung und evtl. der Schulleistungen bei Ihrem Kind möglich !!!

¹ "Screening Evoked Response Auditory"
² "Screening evoked Response" in einem speziellen Hörtonband (EEG)

Untersuchungsprotokoll für Neugeborenenhörscreening

Von den Eltern auszufüllen !

Persönliche Daten des Kindes:

Nachname:
Vorname:
Geschlecht: m/w
Geburtsdatum /-zeit:
exaktes Geburtsgewicht:
errechneter Geburtstermin:
Schwangerschaftswoche:

der Eltern:

Nachname/n:
Vorname/n:
Strasse:
PLZ:
Wohnort:
Telefon-Nr.:

Gibt es Fälle von Hörminderung in der Familie ? nein ja, und zwar: _____
Liegt das Geburtsgewicht unter 1500g ? nein ja

Nur vom Untersucher auszufüllen !

Ngb.-Nr.: _____

Weitere Angaben:

Apgar-Score: ___/___/___

- ototoxische Medikation der Mutter während der Schwangerschaft Kopfumfang: ___
- ototoxische Medikation bei Frühgeborenen (z.B. Lasix [Furosemid]) pH-Wert: _____
- Neugeboreneninfektion (Binotal Refobacin)
- mit Hörverlust assoziierte Syndrome _____
- Hyperbilirubinämie _____
- kongenitale Infektionen (Toxoplasmose Röteln CMV Lues HSV o.ä.)
- kraniofaziale Anomalie (Lippen-Kiefer-Gaumenspalte)
- >5 Tage beatmet
- Sonstiges:

Erstes Hörscreening Frauenklinik: Untersucher: _____

am ___/___/2002

BERA-Untersuchung: OPS 1-208.1

Anzahl der Mittelungen: _____

mittlere Schwankungen: _____

OAE	BERA	Zustand	Qs.d.M
		tief schlafend, keine Bewegung, normale Atmung	1
		leichter Schlaf, Augen geschlossen, wenig Bewegung	2
		dösend, Augen auf und zu, bzw. starke Mimik	3
		wach, Augen offen, minimale Bewegungen	4
		hellwach, heftige Bewegungen	5
		schreiend	6
		am Schnuller nuckelnd	

Ergebnis:

Schwelle in dB	20	30	40	50	60	OAE: OPS 1-208.8
rechts						
links						

Unterschrift des/der Audiologen/-in: _____

Kontrollhörscreening Frauenklinik: Untersucher: _____

am ___/___/2002

BERA-Untersuchung: OPS 1-208.1

Anzahl der Mittelungen: _____

mittlere Schwankungen: _____

OAE	BERA	Zustand	Qu. d.M.
		tief schlafend, keine Bewegung, normale Atmung	1
		leichter Schlaf, Augen geschlossen, wenig Bewegung	2
		dösend, Augen auf und zu, bzw. starke Mimik	3
		wach, Augen offen, minimale Bewegungen	4
		hellwach, heftige Bewegungen	5
		schreiend	6
		am Schnuller nuckelnd	

Ergebnis:

Schwelle in dB	20	30	40	50	60	OAE: OPS 1-208.8
rechts						
links						

Unterschrift des/der Audiologen/-in: _____

Kontrollhörscreening HNO: Untersucher: _____

am ___/___/2002

BERA-Untersuchung: OPS 1-208.1

Anzahl der Mittelungen: _____

mittlere Schwankungen: _____

OAE	BERA	Zustand	Qu. d.M.
		tief schlafend, keine Bewegung, normale Atmung	1
		leichter Schlaf, Augen geschlossen, wenig Bewegung	2
		dösend, Augen auf und zu, bzw. starke Mimik	3
		wach, Augen offen, minimale Bewegungen	4
		hellwach, heftige Bewegungen	5
		schreiend	6
		am Schnuller nuckelnd	

Ergebnis:

Schwelle in dB	20	30	40	50	60	OAE: OPS 1-208.8
rechts						
links						

Unterschrift des/der Audiologen/-in: _____

JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
KLINIK UND POLIKLINIK FÜR
HALS-, NASEN- UND OHRENKRANKE
DIREKTOR: Univ. PROF. DR. MED. J. HELMS

Elektrophysiologie und Audiologie

Univ.-Hals-Nasen-Ohrenklinik + Kopfklinik • D-97080 Würzburg



D-97080 WÜRZBURG
KOPFKLINIK
JOSEF-SCHNEIDER-STR. 11

Tel. Zentrale: (0931) 201 0
Tel. Poliklinik: (0931) 201 21 704
Fax: (0931) 201 21 394

Anmeldung nach Terminvereinbarung

Elektrophysiologie:
Tel.: (0931) 201 21 740
Fax: (0931) 201 21 369

Audiologie:
Tel.: (0931) 201 21 378

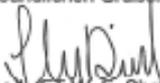
Sehr geehrte Eltern,
Sehr geehrte! Frau Kollegin / Herr Kollege,

es wurde bei _____, geboren am ___/___/20___ ein
Hörtest durchgeführt. Den Befund dieser Untersuchung möchten wir Ihnen hier
mitteilen.

Hörscreening bei Neugeborenen und Kleinkindern			
Messung:			
Rechts:	<input type="checkbox"/> OAE	<input type="checkbox"/> BERA	
	<input type="checkbox"/> auffällig	<input type="checkbox"/> auffällig	
	<input type="checkbox"/> unauffällig	<input type="checkbox"/> unauffällig	
Links:	<input type="checkbox"/> OAE	<input type="checkbox"/> BERA	
	<input type="checkbox"/> auffällig	<input type="checkbox"/> auffällig	
	<input type="checkbox"/> unauffällig	<input type="checkbox"/> unauffällig	

Ein auffälliges Untersuchungsergebnis bedeutet nicht, dass Ihr Kind sicher schlecht hört, aber weitere Hörkontrollen zum Ausschluss einer Hörstörung sind dann notwendig. Im Falle eines auffälligen Befundes bitten wir deshalb um erneute Vorstellung in unserer Klinik.

Mit freundlichen Grüßen


Dr. med. ET W. E. Shenata-Dieler
Leitende Ärztin für Audiologie

KKO-Klinik: Diagnostik, Intervention und ätiologische Mitarbeit, Hör- und Sprachtherapie, Audiologie mit Hörgärtchenprüfung, Neuro-Otologie, Allergologie, plastisch-rekonstruktive Chirurgie

7 Literaturverzeichnis

Albegger KW. Gibt es kritische Perioden in der kindlichen Sprachentwicklung? HNO 1998; 46: 2-6

Allen MC, Schubert-Sudia SE. Prevention of prelingual hearing impairment. Semin Hear 1990; 11: 134-149

Anchor LJ, Starr A. Auditory brainstem responses in the cat. II. Effect of lesions. Electroenceph Clinical Neurophysiol 1980; 48: 174-190

Bantock HM, Crosson S. Universal hearing screening using transient otoacoustic emissions in a community health clinic. Arch Dis Child 1998; 78: 249-252

Batoshuk AK. Human neonatal cardiac acceleration to sound: habituation and dishabituation. Percept Mot Skills 1962; 15: 15-27

Becker W , Naumann H, Pfaltz C. Hals - Nasen - Ohren - Heilkunde,4.Auflage, Thieme, Stuttgart 1989, S.1-60 und S. 566-569

Bekesy G.v. Über die Schwingungen der Schneckentrennwand beim Präparat und Ohrmodell 1942. Akust. Z., 7, 173

Bekesy G.v. Experiments in hearing. 1960 McGraw-Hill, New York

Bennett MJ. Trials with auditory response cradle: I. Neonatal responses to auditory stimuli. Br J Audiol 1979; 13:125-134

Biesakski P, Frank F. Phoniatrie-Pädaudiologie.; Bd.2: Thieme, Stuttgart 1994 S. 48-137

Böhme G , Welzl - Müller K. Audiometrie: Hörprüfungen im Erwachsenen und Kindesalter, 2.Auflage, Verlag Hans Huber, Bern, 1988 S.11-140, S.175-203,S.211ff

Böhme G, Welzl-Müller K: Audiometrie-Hörprüfungen im Erwachsenen- und Kindesalter, 4., überarbeitete und ergänzte Auflage, Verlag Hans Huber, Bern, 1998 S. 215

Buchwald JS, Huang C. Far-field acoustic response: origins in the cat. *Science* 1975; 189: 382-384

Davis A, Wood S. The epidemiology of childhood hearing impairment: factor relevant to planning of services. *Br J Audiol* 1992; 26: 77-90

Diller G, Graser P, Schmalbrock C. Early natural auditory-verbal education of children with profound hearing impairments in the Federal Republic of Germany: results of a 4 year study. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2001; 60: 219-26

Downs MP, Sterritt GM. Identification audiometry for neonates: a preliminary report. *J Audiol Res* 1964, 4: 69-80

Downs MP, Hemenway WG. Report on the hearing screening of 17000 neonates. *Int Audiol* 1969; 8: 72-76

Doyle KJ, Burggraaff B, Fujikawa S, Kim J. Newborn hearing screening by otoacoustic emissions and automated auditory brainstem response. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 1997; 41: 111-119

Doyle KJ, Fujikawa S, Rogers P, Newman E. Comparison of newborn hearing screening by transient otoacoustic emissions and auditory brainstem response using ALGO-2. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 1998;43: 207-211

Durieux-Smith A, Jacobson JT. Comparison of auditory brainstem response and behavioral screening in neonates. *J Otolaryngol Suppl* 1985; 14: 47-53

Eavey RD, Pinto LE, Thornton AR, Herrmann BS, do Carmo Berteo M, Saenz A. Early hearing testing of still critically ill neonates. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1996; 122: 298-93

Elliott GB, Elliott KA. Some pathological, radiological and clinical implications of the precocious development of the human ear. *Laryngoscope* 1964; 74: 1160-1171

Feinmesser M, Tell L. Evaluation of methods for detecting hearing impairment in infancy and early childhood. In: Mencher G (Hrsg.). Early Identification of Hearing Loss. Karger, Basel 1976, S. 102-113

Feinmesser M, Tell L. Neonatal screening for detection of deafness. Arch Otolaryngol 1976; 102: 297-299

Feneis H. Anatomisches Bildwörterbuch, 7. Auflage, Thieme, Stuttgart, 1992 S. 370 - 389

Finckh-Krämer U, Spormann-Lagodzinski M-E, Nubel K, Hess M, Gross M. Wird die Diagnose bei persistierenden kindlichen Hörstörungen immer noch zu spät gestellt? HNO 1998; 46: 598-602

Finkenzeller P, Kammermeier-Blessing C, Leithäuser D. Zeitgang-BERA und Beraphon. HNO-Nachrichten 1998; 28 (3): 49-50

Finkenzeller P. Zeitgang-BERA: Der schnelle Stufenreiz zur Schwellenbestimmung. In: Gross M (Hrsg.). Aktuelle phoniatische-pädaudiologische Aspekte Bd.2.rgv-Verlag, Berlin 1994, S.17-19

Finkenzeller P, Kammermeier-Blessing C. Gerät zur Ableitung akustisch evozierter Großhirnpotentiale. Patentschrift DE 196 36 478, 1996

Finkenzeller P, Kammermeier-Blessing C. Gerät zur Ableitung akustisch evozierter Großhirnpotentiale. Patentschrift DE 197 36 856 A1, 1997

Frick H, Leonhardt H, Starck D. Spezielle Anatomie, Bd.II, 4. Auflage, Thieme, Stuttgart 1992, S.413-430 und S.577

Galambos R, Hicks GE, Wilson MJ. The auditory brainstem response reliability predicts hearing loss of a tertiary intensive care nursery. Ear Hear 1984; 5: 254-260

Gerber SE. Review of a high risk register for congenital or early-onset deafness. Br J Audiol 1990; 24 : 347-356

Graham FK, Clifton RK, Hatton HM. Habituation of heart rate response to repeated auditory stimulation during the first five days of life. *Child Devel* 1968; 39:35-52

Grandori F, Lutman ME. Neonatal hearing screening programs in Europe: a consensus development conference. *Audiology* 1996, 35: 291-296

Gravel JS, Tocci LL. Setting the stage for universal newborn hearing screening. In: Spivak LG (Hrsg.). *Universal Newborn Hearing Screening*. Thieme, New York 1998, S.1-27

Gray H. *Gray's Anatomy*, Running Press, 29. Auflage, Philadelphia 1973, S.848-867

Hartmann H, Hartmann K. „Früh“erkennung? Memorandum zur Früherkennung und Frühförderung hörgeschädigter Kinder. Bundesgemeinschaft der Eltern und Freunde hörgeschädigter Kinder e.V.Hamburg (Hrsg.), 1993

Hartmann K. Memorandum zum Stand der Erkennung und Förderung schwerhöriger Kleinkinder in der Bundesrepublik Deutschland. Hrsg.: Bundesgemeinschaft der Eltern und Freunde schwerhöriger Kinder e.V., 1981

Hecox K, Galambos R. Brainstem auditory evoked responses in human infants and adults. *Arch Otolaryngol* 1974; 99: 30-33

Heinemann M. Notwendigkeit der Ätiologieforschung bei Hörschäden im Kindesalter. *HNO* 1998, 46:563-568

Herrmann BS, Thornton AR, Joseph JM. Automated infant hearing screening using the ABR: development and validation. *Am J Audiol* 1995; 4: 6-14

Himmelfarb MZ, Shanon E, Popelka G, et al. Acoustic reflex evaluation in neonates. In: Gerber SE, Mencher GT (Hrsg.). *Early Diagnosis Of Hearing Loss*. Grune & Stratton, New York 1978, S.109-119

Hoth S, Lenarz T. *Elektrische Reaktions-Audiometrie*. Springer Verlag 1994, Berlin Heidelberg New York, S.23-25

- Jacobson JT, Moorehouse CR. A comparison of an auditory brainstem response and behavioural screening in high risk and normal newborn infants. *Ear Hear* 1984; 5: 247-253
- Jacobson JT, Jacobson CA, Spahr RC. Automated and conventional ABR screening techniques in high-risk infants. *J Am Acad Audiol* 1990; 1: 187-195
- Jansen T. Otoakustische Emissionen (OAE). In: Lehnhardt E (Hrsg.). *Praxis der Audiometrie*. Thieme, Stuttgart 1996; 7: S.83-112
- Jewett D, Romano M, Williston I. Human auditory evoked potentials: Possible brainstem components detected on the scalp. *Science* 1970 167: 1517 – 1518
- Jewett DL, Williston JS. Auditory-evoked far fields averaged from the scalp of humans. *Brain* 1971; 94: 681-696
- Johansson B, Wedenberg E, Westin B. Measurement of tone response by the human foetus. *Acta Otolaryngol (Stockholm)* 1964; 57: 188-192
- Joint Committee. 1970 statement on neonatal screening for hearing impairment. In: Mencher G (Hrsg.). *Early Identification of Hearing Loss*. Karger, Basel 1976, S.5
- Joint Committee on Infant Hearing. 1982 Position statement. *Pediatrics* 1982; 70:496-497
- Joint Committee on Infant Hearing. 1990 Position statement. *ASHA* 1991; 33 (Suppl.5): 3-6
- Joint Committee on Infant Hearing. 1994 Position statement. *Pediatrics* 1995; 100: 152-156
- Junqueira L, Carneiro I. *Histologie*, 3. Auflage, Springer, Berlin, 1991 S.681 – 692
- Kahle W, Leonhardt H, Platzer W. *Taschenatlas der Anatomie*, Band III: Nervensystem und Sinnesorgane, 6. Auflage, Thieme, Stuttgart, 1991 S. 338 – 359
- Kemp DT. Stimulated acoustic emission from within the human auditory system. *J Acoust Soc Am* 1978; 64: 1386-1391
- Kileny P. ALGO-I automated infant hearing screener: preliminary results. *Semin Hear* 1987; 8: 125-131

Lenhardt E, Janssen T, Kießling J. Praxis der Audiometrie. 7. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 1996 S.251-289 und 313-319

Lutman ME, Davis AC, Fortnum HM, Wood S. Field sensitivity of targeted neonatal hearing screening by transient-evoked otoacoustic emissions. Ear Hear 1997; 18: 265-276

Marcellino GR. The crib-o-gram in neonatal hearing screening. In: Swigart ET (Hrsg.). Neonatal Hearing screening. College-Hill Press, San Diego CA 1986: S. 47-66

Maico Diagnostic GmbH. Gebrauchsanweisung Maico MB 11, Version 06/2002, Berlin, 2002

Mason JA, Herrmann KR. Field sensitivity of targeted neonatal hearing screening using the Nottingham ABR Screener. Ear Hear 1998; 19: 91-102

Mason JA, Herrmann KR. Universal infant hearing screening by automated auditory brainstem response measurement. Pediatrics 1998; 101: 221-228

Matschke RG, Stenzel C, Plath P. Anatomische und elektrophysiologische Befunde der Hörbahnreifung des Menschen. Arch Otorhinolaryngol 1991, Suppl. II: 147-149

Mattschke RG. Früherkennung von Hörstörungen. Laryng Rhino Otol 1993; 72: 295-300

Mauk GW, White KR, Mprtensen LB, Behrens TR. The effectiveness of screening programs based on high-risked characteristics in early identification of hearing impairment. Ear Hear 1991; 12: 312-319

Maurer K., Leitner H, Schäfer E. Akustisch evozierte Potentiale: Methode und klinische Anwendung., Enke Verlag, Stuttgart 1982; S.9-11

Maurer K. Akustisch evozierte Potentiale und topographische Diagnostik im Zentralnervensystem. EEG-EMG 1985; 16(3): 148-154

Maurer K. Akustisch evozierte Potentiale und topische Diagnostik im Zentralnervensystem. EEG-EMG, 1985;16(3), S.148-154

Maxon AB, White KR, Behrens TR, Vohr BR. Referral rates and cost efficiency in a universal newborn hearing screening program using transient evoked otoacoustic emissions. *J Am Acad Audiol* 1995; 6: 271-277

McNellis EL, Klein AJ. Pass/fail rates for repeated click evoked otoacoustic emissions and auditory brain stem response screening in newborns. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1997; 116: 431-437

Miller K, Simmons FB. A retrospective and update on the Crib-o-gram neonatal hearing screening audiometer. *Semin Hear* 1984; 5: 49-56

Mott A., Emond A.. What is the role of the distraction test of hearing? *Arch Dis Child* 1994; 70: 10-13

National Institutes of Health. Early identification of hearing impairment in young children. In: NIH Consensus Statement. Bethesda: Office of medical Application of Research, National Institutes of Health, 1993; S. 1-24

Northern JL, Downs MP. Hearing in children. Williams&Wilkins Company, Baltimore 1978 (2), S.113-124

Northern JL, Downs MP. Hearing in children. 3rd Edn. Baltimore 1984, S.8 ff., TheWilliams and Wilkins Company

Poock K. Neurologie, 9. Auflage, Springer, Berlin, 1994, S. 38-47

Ptok M. Neugeborenen-Hörscreening: Europäisches Konsensuspapier verabschiedet. *HNO aktuell* 1998; 6: 229-230

Ptok M. Early diagnosis of hearing impairment in children. *Z Arztl Fortbil Qualitätsich*, 2004, 98: 265- 270

Reuter G, Bördgen F, Dressler F, Schäfer S, Hemmanouil I, Schönweiler R, Lenarz T. Neugeborenenhörscreening mit dem automatisierten Messgerät Echosensor für otoakustische Emissionen. *HNO* 1998, 46: 932-941

- Robinette MS. Methods of infant screening. In: Abstractband der European Consensus Development Conference on Neonatal Hearing Screening, Milan, May 15-16, 1998, S. 24-35
- Rohen I, Yokochi. Anatomie des Menschen, 3.Auflage, Schattauer, Stuttgart,1993, S. 118 – 126
- Salcher RB, Teschner M, Lenarz T, Lesinski-Schiedat. Cochlea-Implantationen bei familiärer perisynaptischer Audiopathie / auditiver Neuropathie – ein klinischer Fallbericht über zwei Geschwister, 2007
- Schachter J, Williams TA, Khachaturian Z, Tobin M, Kruger R, Kerr J. Heart rate responses to auditory clicks in neonates. *Psychophysiology* 1971; 8: 163-179
- Scherg M, von Cramon D. A new interpretation of the generators of BAEP waves I-V: results of a spatio-temporal dipole model. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1985; 62: 290-299
- Schulze-Gattermann H, Ilg A, Lesinski-Schiedat A, Schoenermark M, Bertram B, Lenarz T. Pediatric cost-benefit analysis. *Laryngo-rhinotol*, 2003; 82: 322-329
- Shehata-Dieler WE, Dieler R, Keim R, Finkenzeller P, Dietl J, Helms J. Universelle Hörscreening-Untersuchungen bei Neugeborenen mit dem BERAphon. *Laryngo-Rhino-Otol* 2000, 79: 69-76
- Shehata-Dieler WE, Dieler R, Wenzel G, Keim R, Singer D, von Deuster C. Das Würzburger Hörscreening-Programm bei Neugeborenen. Erfahrungen bei mehr als 4000 Säuglingen- Einfluss nichtpathologischer Faktoren auf die Messergebnisse. *Laryngo-Rhino-Otol* 2002, 81(3): 204-210
- Silbernagel S, Despopoulos A. Taschenatlas der Physiologie, 4.Auflage, Thieme, Stuttgart, 1991 S. 316-323
- Simmons FB. Automated hearing screening test for newborns: the Crib-o-gram. In: Mencher G (Hrsg.). *Early Identification of Hearing Loss*. Karger, Basel 1976, S.171-180

Straaten HLMv, Groote ME, Oudesluys-Murphy AM. Evaluation of an automated auditory brainstem response infant hearing screening method in at risk neonates. Eur J pediatr 1996, 155: 702-705

Watson DR, McClelland RJ, Adams DA. Auditory brainstem response screening for hearing loss in high risk neonates. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 1996; 36: 147-183

Wedel H von, Schauseil-Zipf U, Döring WH. Hörscreening bei Neugeborenen und Säuglingen mittels Ableitung akustisch evozierter Hirnstammpotentiale. Laryngo-Rhinol-Otol 1988; 67: 307-311

Welzl-Müller K, Böheim K, Stephan K, Schlögel H, Stadlmann A, Nekahm D. Optimierung des Hörscreenings mittels transient evozierten otoakustischer Emissionen (TEOAE) bei Neugeborenen. HNO 1997; 45:227-232

Welzl-Müller K. Neugeborenen-Hörscreening: Siebtest nach Hörstörungen bei Neugeborenen. HNO 1998; 46: 704-707

Yoshinaga-Itano C. Benefits of early intervention for children with hearing loss. Otolaryngol Clin North Am 1999; 32: 1089-1102

Zenner HP. Frühdiagnostik und Therapie von Hörstörungen beim Säugling und Kleinkind; 21. Interdisziplinäres Forum der Bundesärztekammer „Fortschritt und Fortbildung in der Medizin“ vom 27.- 30. November 1996, Köln. Dt Ärztebl, 1997; 94: B1016-B1019

Danksagung

Ich bedanke mich bei meiner Familie, ganz besonders bei meiner Mutter und meinem Ehemann, die mich unterstützt, immer wieder motiviert und mich mit vielen wertvollen Tipps geholfen haben.

Besonders möchte ich mich bei meiner Betreuerin Professor Wafaa Shehata-Dieler bedanken, die mir sehr viel Geduld entgegengebracht hat.

Lebenslauf

Name: Tensing, geb. Kleine

Vorname: Ulrike

Geburtsdatum: 14.11.1975

Geburtsort: Dresden

Familienstand: verheiratet

Kinder: Franz Leonard Tensing, geb. 4.02.2006
Tom Ferdinand Tensing, geb. 30.09.2008

Anschrift: Stifelwis 10, 8132 Egg bei Zürich

Eltern: Dr. Gisela Kleine, geb. Feig
Dr. Werner Kleine

Schulbildung: 1982-1990 Polytechnische Oberschule (Dresden)
1990-1993 Gymnasium Herkenrath (Bergisch Gladbach)
1993-1995 Gymnasium Vogelsang (Solingen)
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Hochschulausbildung: 1995-1996 Zahnmedizinstudium an der Martin-Luther-
Universität zu Halle-Wittenberg
1996-2000 Zahnmedizinstudium an der Julius-
Maximilians-Universität zu Würzburg
1999-2000 Erasmusaustauschprogramm mit der Universität

Umea, Schweden

2000 Abschluss: Staatsexamen Zahnmedizin

Berufstätigkeit:

Juli 2001 - Dez. 2001 Hospitation an der University of California at Los Angeles (UCLA), Abteilung für Implantologie

Jan. 2002 - März 2002 Anstellung als Assistenz Zahnärztin in der Praxis Dr.Kleine, Solingen

April 2002 - Dez 2003 Zahnärztin in der Schulzahnklinik Schaffhausen

Seit Januar 2004 selbstständige Zahnärztin