

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten  
der Universität Würzburg  
Direktor: Prof. Dr. med. J. Helms

---

Ein Vergleich von zwei automatisierten BERAphon<sup>®</sup>  
Untersuchungsmethoden beim Neugeborenen-Hörscreening

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

vorgelegt von  
Johanna Maria Grygiel  
aus Eichenzell

Würzburg, September 2005

Referent: Prof. Dr. med. J. Helms

Koreferent: Prof. Dr. med. R. Dieler

Dekan: Prof. Dr. med. G. Ertl

Tag der mündlichen Prüfung: 24.02.2006

Die Promovendin ist Zahnärztin

Meinen lieben Eltern  
Ludwig und Margarete

---

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.1.1	Epidemiologie	2
1.1.2	Risikofaktoren	4
1.2	Das universelle Hörscreening	5
1.3	Die Folgen von unbehandelten Hörstörungen	9
1.4	Überblick über die Untersuchungsmethoden	10
1.4.1	Allgemeines	10
1.4.2	Die Evozierten Otoakustischen Emissionen – OAE	12
1.4.3	Die Brainstem Evoked Response Audiometry – BERA	13
1.5	Das Neugeborenen-Hörscreening-Programm in Würzburg	17
1.6	Angestrebte Ziele	18
2	Material und Methode	19
2.1	Das Screeningmodell	19
2.1.1	Die erste Stufe des universellen Neugeborenen-Hörscreenings	20
2.1.2	Die zweite Stufe des universellen Neugeborenen-Hörscreenings	23
2.1.3	Weiteres Procedere	24
2.2	Geräte	24
2.2.1	Grundlagen	24
2.2.2	Visuelle Auswertung	25
2.2.3	Automatisierte Auswertalgorithmen	27
2.2.4	Frankfurter Algorithmus	27
2.2.5	Die neue BERA	29
2.3	Ablauf der Untersuchung mit dem MB11 und den automatisierten Auswertverfahren	31
2.4	Die Probanden	32
2.5	Methoden der Statistik	33
3	Ergebnisse	35
3.1	Auswertung visuelle BERA mit OAE-Messung	36
3.1.1	Patientenbezogene Auswertung visuelle BERA mit OAE-Messung (Referenz) in Stufe I (Screen 1 + 2)	36
3.1.1.1	Ergebnisse Screen 1	36

---

	Seite	
3.1.1.2	Ergebnisse Screen 2	37
3.1.1.3	Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)	37
3.1.1.4	Gesamtergebnis Stufe II	38
3.1.2	Messungsbezogene Auswertung Stufe I (Screen 1 + 2)	38
3.1.2.1	Ergebnisse Screen 1	39
3.1.2.2	Ergebnisse Screen 2	39
3.1.2.3	Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)	39
3.1.2.4	Gesamtergebnis Stufe II	40
3.2	Auswertung Frankfurter Algorithmus (Steady State Potentials – SSP)	40
3.2.1	Patientenbezogene Ergebnisse Frankfurter Algorithmus (Steady State Potentials – SSP) in Stufe I (Screen 1 + 2)	40
3.2.1.1	Ergebnisse Screen 1	41
3.2.1.2	Ergebnisse Screen 2	41
3.2.1.3	Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)	41
3.2.1.4	Gesamtergebnis Stufe II	42
3.2.2	Messungsbezogene Ergebnisse Frankfurter Algorithmus (Steady State Potentials – SSP) in Stufe I (Screen 1 + 2)	43
3.2.2.1	Ergebnisse Screen 1	43
3.2.2.2	Ergebnisse Screen 2	43
3.2.2.3	Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)	43
3.2.2.4	Gesamtergebnis Stufe II	44
3.3	Auswertung neue BERA	44
3.3.1	Patientenbezogene Ergebnisse neue BERA in Stufe I (Screen 1 + 2)	44
3.3.1.1	Ergebnisse Screen 1	45
3.3.1.2	Ergebnisse Screen 2	45
3.3.1.3	Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)	45
3.3.2	Messungsbezogene Ergebnisse neue BERA in Stufe I (Screen 1 + 2)	46
3.3.2.1	Ergebnisse Screen 1	47
3.3.2.2	Ergebnisse Screen 2	47

---

	Seite	
3.3.2.3	Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)	47
3.3.2.4	Gesamtergebnis Stufe II	48
3.4	Messzeitenvergleich für Frankfurter Algorithmus (SSP) und neue BERA	48
3.4.1	Messzeit Frankfurter Algorithmus (SSP)	48
3.4.2	Messzeit neue BERA	49
3.5	Altersverteilung der Kinder zum Zeitpunkt der Messung	50
3.6	Vergleichende Untersuchung der Ergebnisse der beiden automatisierten Auswertverfahren gegenüber der Referenzmessung	52
3.6.1	Vergleich des Frankfurter Algorithmus (SSP) mit der Referenzmessung (visuelle BERA mit OAE-Messung)	52
3.6.2	Vergleich der neuen BERA mit der Referenzmessung (visuelle BERA mit OAE-Messung)	53
3.7	Kosten der automatisierten Screeningverfahren	54
4	Diskussion	59
4.1	Diskussion der Ergebnisse	59
4.1.1	Vergleich von „PASS“ und „FAIL“-Raten der automatisierten Auswertung (Frankfurter Algorithmus (SSP), neue BERA) mit der Referenz	59
4.1.1.1	„PASS“ und „FAIL“-Raten	59
4.1.1.2	Übereinstimmung der Screeningergebnisse	62
4.1.2	Altersverteilung zum Zeitpunkt der Messung	63
4.2	Die Wahl der Untersuchungsmethode (BERA)	64
4.3	Ansatzpunkte bei der Entwicklung der automatisierten BERA	65
4.4	Möglichkeiten und Grenzen der Methode	69
4.5	Das Screeningmodell	72
5	Zusammenfassung	74
6	Anhang	75
7	Literaturverzeichnis	80
	Curriculum Vitae	
	Danksagung	

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die Notwendigkeit eines universellen Hörscreening-Programms bei Neugeborenen wird in der Fachliteratur (Zenner 1997, Delb et al. 1998) kaum noch bezweifelt. Je früher ein permanent behandlungsbedürftiger Hörschaden therapiert wird, desto geringer sind die Störungen von Hören, Sprache und sozialer Entwicklung des betroffenen Kindes (Northern, Downs 1991). Nach den Empfehlungen des „Joint Committee on Infant Hearing“ (2000) soll die Diagnose eines hörgeschädigten Kindes mit spätestens drei Monaten gestellt und die Therapie im Alter von sechs Monaten begonnen worden sein. Das Durchschnittsalter der Erkennung einer Hörstörung beträgt 22 Monate. Die Versorgung mit einem Hörgerät erfolgt durchschnittlich erst im Alter von 36 Monaten (Finckh-Krämer et al. 1998); zu diesem Zeitpunkt ist die Entwicklung der Hörbahn im Allgemeinen abgeschlossen. Wenn die Therapie einer Hörstörung bis zu diesem Zeitpunkt nicht eingeleitet wurde, wird jede weitere Entwicklung von Hören und Sprache hörgeschädigter Kinder rückständig bleiben (Klinke 1999, Lenarz 1997, Walger 2000).

In Deutschland arbeiten verschiedene Universitäten, unter anderem München (Baumann, Schorn 2001), Hamburg (Bretschneider et al. 2001), Frankfurt/Main (Neumann et al. 2001, Stürzebecher et al. 2001), Homburg/Saar (Plinkert, Delb 2001), Erlangen-Nürnberg (Finkenzeller 1994), Hannover (Reuter et al. 1998), Köln (Schauseil-Zipf, v. Wedel 1988) und Würzburg (Shehata-Dieler et al. 2000, 2002) an dem Aufbau, der Etablierung und Entwicklung eines Hörscreening-Programms bei Neugeborenen. Dabei ist es von großem Interesse eine repräsentative Datenmenge zu sammeln und unterschiedliche Verfahren anhand von gesammelten Daten zu bewerten. Ferner sollen bestehende Untersuchungsmethoden weiterentwickelt und deren Effektivität verbessert werden.

### 1.1.1 Epidemiologie

Die Zahlen über das Vorkommen einer kongenitalen Hörstörung weichen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Faktoren deutlich voneinander ab. Die Gründe dafür werden von der European Consensus Development Conference (ECDC) genannt und liegen bis zum gemeinsamen Konsens in Mailand im Mai 1998 darin begründet, dass es lange Zeit keine einheitlichen Definitionen, fehlendes Wissen über den Zeitpunkt der Erstmanifestation und keine Grenzwerte von Frequenz und Hörschwelle gab. Ferner wurden die früheren Angaben weder nach Lokalisation, Ätiologie noch nach Schweregrad differenziert dokumentiert.

Die Prävalenz von frühkindlichen Hörstörungen liegt nach Schätzungen bei 1,5 bis 6 pro Eintausend Lebendgeburten (Watkin et al. 1991, White et al. 1993, Joint Committee on Infant Hearing 1994). Aktuellere Zahlen für das Vorliegen einer Hörstörung in Europa werden mit 0,8 bis 2,3 Kindern pro Eintausend Neugeborene angegeben, wobei die Prävalenz mit zunehmendem Grad der Hörstörung abnimmt (Welz-Müller 1998).

In Deutschland werden im Jahr ca. 1800 bis 2400 Kinder mit einer beidseitigen Hörschädigung geboren. Insgesamt treten angeborene, versorgungsbedürftige Hörschäden häufiger auf, als alle anderen angeborenen Erkrankungen, für die bereits Neugeborenen-Screeningprogramme bestehen (Strategie-Papier zum Joint Committee 2003). Es ist hinzuzufügen, dass Kinder mit einer progredienten Hörstörung in diesen Angaben unberücksichtigt bleiben.

Neben angeborenen Herzfehlern (0,6% bis 1%), Hüftluxationen (0,2% bis 0,3%) und Klumpfüßen (0,1% bis 0,2%) stellen Hörstörungen somit eine der häufigsten angeborenen Fehlbildungen dar (Pschyrembel 1998).

Die Zahl der Neugeborenen, die mit einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Hörstörung geboren werden, wird in den USA jedes Jahr mit ca. 5000 Neugeborenen angegeben (Thompson et al. 2001). Anhand der Angabe dieser absoluten Zahl wird die weltweite Größenordnung der von einer Hörschädigung betroffenen Neugeborenen deutlich.



---

Hörstörungen werden nach Ätiologie, Lokalisation oder nach Schweregrad eingeteilt. Die Einteilung nach Wendler et al. (1996) erfolgt je nach Lokalisation in drei großen Gruppen:

1. Schalleitungsschwerhörigkeit
2. Innenohrschwerhörigkeit
3. Retrocochleäre, zentrale Schwer- und Fehlhörigkeit

Nach ihrer Ätiologie werden diese Hauptgruppen in weitere Untergruppen unterteilt, die hier aber unerwähnt bleiben.

Seit 1994 registriert das Deutsche Zentralregister für kindliche Hörstörungen die in Deutschland gemeldeten Kinder mit zentralen, peripheren, kombinierten und sensorineuralen Störungen. Dabei werden die Fälle nach unterschiedlichen Schweregraden, je nach Hörverlust (HL) in Dezibel in vier Gruppen aufgeteilt. Für 1436 beidseitig hörgestörte Patienten wurden folgende Prozentzahlen ermittelt (Gross et al. 1999):

- 19% leichte Hörminderung – kleiner gleich 40 dB [HL]
- 30% mittelgradige Hörminderung – im Bereich zwischen 40 dB [HL] bis 69 dB [HL]
- 17% hochgradige Hörminderung – im Bereich zwischen 70 dB [HL] bis 94 dB [HL]
- 34% restliche Fälle sind entweder resthörig bzw. taub – größer/gleich 95 dB [HL]

Basierend auf dieser Statistik blieb die Ätiologie in 44,7% der Fälle unbekannt. In 22,2% der Fälle war die Ursache erworben, in 20,9 % der Fälle war sie genetisch bedingt, das heißt in nur 43,1% der Fälle konnte überhaupt eine Ursache zugeordnet werden. Dabei konnten weitere 12,3% in vermutlich erworbene Faktoren (2,5%) und in vermutlich genetische Faktoren (9,8%) aufgeteilt werden.

### 1.1.2 Risikofaktoren

Die von Simmons et al. (1979) und Welz-Müller (1998) publizierten Prävalenzen für eine Hörstörung in unterschiedlichen Gruppen deuten auf das Vorkommen von Risikofaktoren hin. Ende der 70er Jahre erkennt Simmons et al. (1979), dass die Häufigkeit von Taubheit bei gesunden Neugeborenen mit 1 : 329 niedriger liegt, als bei intensivmedizinisch betreuten Neugeborenen, die eine Hörstörung in 1 : 62 Fällen aufweisen.

Das in den USA 1970 gegründete „Joint Committee on Infant Hearing“ (JCIH) erstellte 1972 das „High Risk Register“, in dem seit 1994 zehn Risikofaktoren für das Vorkommen einer kongenitalen Schwerhörigkeit definiert sind. Diese Liste wird regelmäßig ergänzt und spezifiziert. Das aktuelle Register des JCIH (2002) hat hierzu für Neugeborene bis zum 28. Lebenstag folgenden Risikokatalog erarbeitet (Tabelle 1).

Die in diesem Katalog aufgelisteten Risikofaktoren dienten bis zur Einführung des universellen Hörscreening-Programms bei Neugeborenen als Grundlage für die Durchführung von Hörtests und zur weiteren Beobachtung des Risikokindes (Gravel, Tocci 1998).

- positive Familienanamnese bezüglich eines angeborenen Hörschadens
- intrauterine Virusinfektionen, z.B. Cytomegalievirus, Rubellavirus, Herpesvirus
- intrauterine Infektionen mit *Treponema pallidum* oder *Toxoplasma gondii*
- Geburtsgewicht von weniger als 1500 g
- Anomalien des Gesichtsschädels; besonders solche, die mit morphologischen Veränderungen des Gehörganges oder des Kiefers einhergehen (z.B. *Dysostosis mandibulofacialis*)
- angeborene Erkrankungen, die nachgewiesenermaßen mit Schalleitungs- oder Schallempfindungsstörungen einhergehen
- Hyperbilirubinämie mit Bilirubinwerten von mehr als 20 mg/dl
- Ototoxische Pharmaka: hier gelten Aminoglykosid-Antibiotika als besonderes Risiko, vor allem wenn sie für einen längeren Zeitraum und/oder in hoher Dosierung verabreicht wurden; darüber hinaus ist auch

für Schleifendiuretika (Furosemid, Tolbutamid, Etacrynsäure u.a.) die Ototoxizität bewiesen

- bakterielle Meningitis
- Hypoxie in der Schwangerschaft und unter der Geburt
- APGAR-Werte von 0 bis 4 in der ersten Minute und von 0 bis 6 nach fünf Minuten
- maschinelle Beatmung für länger als fünf Tage

Tabelle 1: Prädisponierende Risikofaktoren für frühkindliche Hörstörungen

Kountakis et al. (2002) veröffentlichen elf weitere Risikofaktoren, die sie mit einer Hörstörung in ihrer Population in Verbindung bringen. Es bleibt abzuwarten, ob diese Risikofaktoren in Zukunft denen des JCIH hinzugefügt werden.

Untersuchungen zeigen, dass beim alleinigen Screening von Risikokindern, im Gegensatz zum Screening aller Neugeborenen, nur ca. 50% der hörgeschädigten Kinder erfasst werden (Ptok 1998, Mehl, Thomson 1998, 2002). Diese Untersuchungen stellen heute die Grundlage für das universelle Neugeborenen-Hörscreening dar. Das rechtzeitige Erkennen der betroffenen Neugeborenen ermöglicht die Laut- und Sprachentwicklung entsprechend dem chronologischen Alter und der angeborenen kognitiven Fähigkeiten (Knott 2001).

Die Prognose für die intellektuelle, emotionale, Laut- und Sprachentwicklung bei hörgeschädigten Kindern wird verbessert, wenn die Diagnose früh gestellt und die Therapie vor dem Alter von sechs Monaten begonnen wird (Oudesluys-Murphy 1996).

## 1.2 Das universelle Hörscreening

In der Bundesrepublik Deutschland hat sich ein derartiges Hörscreening noch nicht einheitlich durchgesetzt. Bisher existiert nur eine grob orientierende audiologische Untersuchung im Rahmen der Vorsorgeuntersuchung U3, bestehend aus der Beobachtung des

Blinzelreflexes auf Händeklatschen im Alter von vier bis sechs Wochen. Ein regelrechter Hörtest ist erst im sechsten Lebensjahr bei der U9 vorgesehen. Trotz vieler Empfehlungen, ein universelles Hörscreening im deutschen Gesundheitssystem zu etablieren, steht es noch an seinem Anfang (Plinkert, Delb 2001). Im Gegensatz zu den bereits bestehenden endokrinologischen und metabolen Screenings, gibt es beispielsweise in Niedersachsen und Hessen Modellversuche eines universellen Neugeborenen-Hörscreenings (Reuter 2003). Diese müssen sich im Praxisalltag beweisen, um eine weit verbreitete Umsetzung in der gesamten Bundesrepublik zu erfahren.

Fakt ist, dass ein universelles Hörscreening das Erkennen der Kinder mit Hörverlust zu einem frühen Zeitpunkt ermöglicht und damit die Verbesserung von Hör-, Sprech-, Sprach- und Sozialkompetenz der Betroffenen gestattet (Stellungnahme der interdisziplinären Konsensuskonferenz Neugeborenen-Hörscreening-Standard of Care 2003). Die Notwendigkeit eines universellen Hörscreenings wird in der Literatur kaum noch bezweifelt (Delb et al. 1998). Die Forderungen, denen ein universelles Hörscreening entsprechen soll, sind in Stellungnahmen des Joint Committee on Infant Hearing (JCIH 2000) und auf der European Consensus Development Conference on Neonatal Hearing Screening (Mailand 1998) formuliert worden.

Das deutsche Konsensuspapier 4.0 wurde während des Kongresses (Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin) „Neugeborenen-Hörscreening“ im September 2002 in Hannover verabschiedet und schließt die vom JCIH ausgesprochenen Empfehlungen mit ein, die im folgenden aufgeführt sind:

1. Die Leitlinien des Europäischen Konsensus (Mailand 1998) werden uneingeschränkt anerkannt. Das Neugeborenen-Hörscreening wird als universelles Screening im Rahmen eines qualitätsgesicherten Screening-Programms durchgeführt. Die Programme müssen in die gesamte Versorgungskette von der Früherkennung über die Abklärungsdiagnostik bis zur Frühtherapie eingebettet sein.
2. Das universelle Neugeborenen-Hörscreening wird bei stationären Geburten stationär innerhalb der ersten Lebensstage durchgeführt, bei ambulanten oder Hausgeburten oder vorzeitig aus der stationären

---

Behandlung entlassenen Kindern erfolgt das Screening entweder in den hierzu qualifizierten stationären Einrichtungen, pädaudiologischen Einrichtungen oder bei niedergelassenen Ärzten mit nachgewiesener Qualifikation.

3. Ein universelles Neugeborenen-Hörscreening kann mit der notwendigen Sensitivität und Spezifität nur mit objektiven Hörprüfmethoden, z.B. TEOAE und/oder BERA durchgeführt werden.
4. Zurzeit ist folgendes Vorgehen sinnvoll:
  - a) Gesunde Neugeborene werden mit automatisierten Systemen zum Messen von TEOAE und/oder BERA untersucht.
  - b) Neugeborene in Perinatalzentren werden mit automatisierten Systemen zum Messen von TEOAE und/oder BERA untersucht.
  - c) Die Spezifität der angewandten Methoden sollte mindestens 96% betragen.
  - d) Anzustreben ist eine flächendeckende Erfassung aller Neugeborenen, die Erfassungsquote soll mindestens 95% betragen.
  - e) Die Diagnosesicherung für auffällige Kinder soll bis zum dritten Lebensmonat erreicht sein.
  - f) Bei allen Kindern mit Hörstörungen soll innerhalb der ersten sechs Lebensmonate eine interdisziplinär ausgerichtete Therapie eingeleitet sein.
5. Kinder, die nicht vom Screening erreicht werden, sollen im Rahmen der U3 Untersuchung erfasst und durch analog zu Punkt 2. qualifizierte Personen mittels TEOAE und/oder BERA untersucht werden. Die niedergelassenen Ärzte sind für die Früherkennung und -erfassung der in den nachfolgenden Lebensjahren auftretenden kindlichen Hörstörungen zuständig.
6. Nachgehende Untersuchungen der im Screening auffälligen Kinder sind zur Diagnosesicherung durch speziell qualifizierte HNO-Ärzte und/oder Phoniater/Pädaudiologen durchzuführen. Standardisierte Untersuchungsverfahren für auffällige Kinder sind innerhalb des Screeningprogramms zu definieren.

7. Die Dokumentation des Ergebnisses der Hörprüfung erfolgt im gelben Vorsorgeheft.
8. Qualitätssichernde Maßnahmen sind erforderlich. Dazu gehören eine zentrale Erfassung der Verdachtsfälle, ein Patiententracking sowie die Einhaltung der Qualitätskriterien zur rechtzeitigen Erfassung und Lösung auftretender technischer und organisatorischer Probleme. Die Qualifikation der das Screening durchführenden stationären und ambulanten Einrichtungen sowie die geeignete apparative und personelle Ausstattung müssen anhand geeigneter Kriterien nachgewiesen werden.
9. Die Versorgungswege für die diagnosesichernden Leistungen sowie die ggf. erforderlichen therapeutischen Leistungen müssen geregelt sein. Dabei sind von besonderer Bedeutung die Fachärzte für Phoniatrie und Pädaudiologie, die das fachmedizinische Spektrum der Diagnostik und Therapie angeborener und frühkindlich erworbener Hörstörungen abdecken.
10. Die Durchführung des Screenings wird als interdisziplinäre Aufgabe gesehen.

Die Zahlen von Yoshinaga-Itano et al. (2001) belegen die Effizienz des universellen Hörscreenings bei Neugeborenen. Die Erkennungsrate der Kinder mit einer kongenitalen Hörstörung in Colorado, welche in einem Krankenhaus mit universellen Hörscreening-Programm geboren werden, wird mit denen verglichen, die in einem Krankenhaus ohne ein solches Programm geboren werden. 84% der Kinder mit Hörstörung wurden im Krankenhaus mit Hörscreening-Programm vor dem Alter von sechs Monaten erkannt. Im Vergleich wurden nur 8% der hörgeschädigten Kinder in den Krankenhäusern ohne ein solches Programm erkannt.

Die Neugeborenen in der Screeninggruppe hatten einen durchschnittlichen Sprachquotienten von 82, während die Nichtscreeninggruppe zum Vergleich lediglich einen Quotienten von 62 aufwies. Außerdem konnte in den US-Bundesstaaten mit EDHI (Early Hearing Detection and Intervention) Programmen das Alter bei der Diagnose und Therapie in der Regel signifikant gesenkt werden (Hayes 2001).

### 1.3 Die Folgen von unbehandelten Hörstörungen

In Deutschland wird eine Hörstörung durchschnittlich im Alter von 22 Monaten vermutet (Finckh-Krämer et al. 1998). Angestrebt wird hingegen die Diagnosestellung bis zum dritten Lebensmonat, damit eine Therapie bis zum sechsten Lebensmonat begonnen werden kann (National Institutes of Health Consensus Statement 1993, Joint Committee on Infant Hearing Statement 1994). Daher fordern Pädaudiologen und Kinderärzte ein frühes universelles Hörscreening ungeachtet von Risikofaktoren (Tabelle 1).

Die Relevanz der frühzeitigen Diagnose einer Hörstörung im Säuglingsalter wird deutlich durch Betrachtung der auditiven Entwicklungsstörung bei einer unbehandelten Dysakusis.

Die Entwicklung der Organe des Gehörsinnes erfolgt nahezu vollständig pränatal. Das bedeutet, dass ein gesunder Fetus schon gegen Ende der Schwangerschaft über einen funktionierenden Gehörsinn verfügt. Er kann bereits akustische Reize, wie beispielsweise die Stimme der Mutter oder musikalische Klänge, wahrnehmen und verarbeiten (Matschke 1993). Diese Stimulierung fördert die weitere Ausreifung des Hörsinns. Beim Feten mit angeborener Hörstörung liegt der Beginn der Entwicklungsverzögerung also bereits vor der Geburt.

In den ersten Lebensmonaten zeigt sich diese Entwicklungsstörung in einer erschwerten Kontaktaufnahme zwischen Eltern und Kind. Das Kind reagiert kaum oder gar nicht auf Ansprache oder musikalische Stimuli. Wird zu diesem Zeitpunkt eine gravierende Hörstörung diagnostiziert, besteht die Gefahr, dass die Eltern die verbale Kommunikation mit dem Kind reduzieren. Dieses Verhalten kann sich ungünstig auf die weitere Entwicklung auswirken, da die zentralnervöse Weiterverarbeitung der Höreindrücke noch nicht ausgereift ist und die akustischen Reize dringend benötigt werden. Ab etwa einem Jahr zeigt sich, dass für eine reguläre Sprachentwicklung die Intaktheit des auditiven Systems unerlässlich ist (Betke et. al. 1991). Heute geht man davon aus, dass der kritische Zeitraum des Spracherwerbs bis zum Ende des zweiten Lebensjahrs reicht. Je nach Schweregrad der unvollständigen Reifung kommt es zur retardierten oder unvollständigen Ausbildung der Sprache (Albegger 1998). Eine absolute Taubheit kann bei totalem

Ausbleiben der Stimm- und Sprachentwicklung zur Surdomutitas führen. Das fehlerhafte oder fehlende Erlernen der Lautsprache stellt die gravierendste Folge einer Hörstörung dar, da die Lautsprache als wichtigstes Medium der zwischenmenschlichen Kommunikation gilt.

Durch ein frühzeitiges Screening aller Neugeborenen kann rechtzeitig eingegriffen werden, um die Nachreifung und Reorganisation des auditiven Systems zu fördern (Ptok 1998).

Abgesehen von ihrer Verwendung für den zwischenmenschlichen Kontakt besitzt die Sprache vor allem durch ihre semiotische Funktion auch eine große Bedeutung für die Entwicklung der Denkfähigkeit des Individuums. Sie steht in Beziehung zu vielen Erkenntnisprozessen und zur Bewusstseinsbildung. Durch ihren Ausfall werden sowohl die räumliche Orientierung, als auch das logisch-abstrakte Denken und der indirekte Wissens- und Kenntniserwerb beeinträchtigt (Lindner 1975).

Diese Ausführungen zeigen, dass das fehlende Sprachvermögen die gesamte geistige und gesellschaftliche Entwicklung eines Individuums stark beeinträchtigt.

Ferner ist der finanzielle Aspekt sowohl für die betroffenen Eltern als auch für das staatliche Gesundheitswesen nicht außer Acht zu lassen. Durch eine frühe Therapie mit einem Hörgerät oder einem Cochlea-Implantat lassen sich die Aufwendungen für eine Folgebehandlung mit Logopädie, Hör- und Sprachtraining sowie für den Besuch von Sonderschulen einsparen (Verkerk 1998).

## **1.4 Überblick über die Untersuchungsmethoden**

### **1.4.1 Allgemeines**

Die Methoden, die für ein Hörscreening-Programm bei Neugeborenen Anwendung finden, haben sich im Lauf der Zeit zu immer einfacheren, effizienteren und valideren Methoden entwickelt.

Bartoshuk (1962) verwendete die „Cardiovascular Response Audiometry“ zur Durchführung eines Hörtests. Es folgten verschiedene automatisierte



Verhaltenstests, wie das „Auditory Response Cradle“ (ARC) (Bennett 1979) und das Crib-o-Gram (COG) (Simmons 1974, Durieux-Smith et al. 1985). Ferner kam die Stapediusreflexmessung (Himmelfarb et al. 1978) beim Screening zur Anwendung.

Das ARC zeigt eine geringe Sensivität, sogar bei stark Hörgeschädigten und das COG zeichnet sich durch eine nicht akzeptable Spezifität aus (Davis, Parving 1993).

Einen Wendepunkt bei der Entwicklung des universellen Hörscreening-Programms bei Neugeborenen gab es auf der „European Consensus Development Conference on Neonatal Hearing Screening“ (Mailand 1998). Hier wurde ein Konsenspapier formuliert und verabschiedet, das den europaweiten einheitlichen Status quo für die Diagnose einer Hörstörung beim Neugeborenen-Hörscreening definiert.

Die Diagnose einer kindlichen Hörstörung wird gestellt, wenn eine beidseitige permanente Hörminderung über 40 dB, gemittelt über die Frequenzen 0,5 kHz, 1,0 kHz, 2,0 kHz und 4,0 kHz besteht. Daraus resultiert, dass nicht nur aus Gründen der Durchführbarkeit und Kosten-Nutzen-Relation das Screening zunächst eines Ohres ausreicht, sondern auch zur Differenzierung der Diagnose des beidseitigen permanenten Hörverlusts dient (Ptok 1998).

Heute haben sich im Wesentlichen zwei nicht invasive, objektive Untersuchungsmethoden zum universellen Hörscreening bei Neugeborenen durchgesetzt:

Die Messung der evozierten otoakustischen Emissionen (OAE) (Kemp 1978) und die Ableitung der frühen akustisch evozierten Potenziale (FAEP) (Jewett 1970, Hecox, Galambos 1974), die sogenannte Hirnstammaudiometrie, auch „Brainstem Evoked Response Audiometry“ (BERA) (Finkenzeller 1993, 1994, 1997, v. Wedel et al. 1988) genannt.

Diese Verfahren gehören neben der Impedanzaudiometrie zu den objektiven Untersuchungsmethoden, wobei keine Beeinflussung durch den Patienten möglich ist. Lediglich die Interpretation der Ergebnisse und teilweise deren Auswertung ist von subjektiven Faktoren, wie von der Erfahrung des Untersuchers und dessen Fähigkeit zur Mustererkennung, abhängig.

### 1.4.2 Die Evozierten Otoakustischen Emissionen – OAE

Otoakustische Emissionen sind definiert als Schall, der von den äußeren Haarzellen der Cochlea ausgesendet wird und mit einem Mikrofon im äußeren Gehörgang aufgezeichnet werden kann.

Auf Rhode Island (USA) wurde 1990 zum ersten Mal ein Hörscreening unter Verwendung der Messung der OAE eingeführt (White et al. 1993) und 1993 eine Empfehlung durch die „National Institutes of Health Consensus Development Conference“ für die Verwendung der OAE-Messung zum universellen Neugeborenen-Hörscreening ausgesprochen. Die Verwendung der OAE-Messungen für ein systematisches Hörscreening wird auch in Deutschland befürwortet. Insbesondere wird der Vorteil der automatischen Auswertung bei Messung der evozierten otoakustischen Emissionen hervorgehoben. Die Sensitivität dieses Verfahrens beträgt 98 - 100% bei einer Spezifität von 90% (Reuter et al. 1998, 2000)

Baumann und Schorn (2001) vergleichen in ihrer Studie visuelle und automatisierte Auswertungsverfahren. Sie sehen die Vorteile der OAE-Messung in der kurzen Testzeit, der Unabhängigkeit von der Vigilanz und der leichten Erlernbarkeit.

Als Nachteil ist zu bewerten, dass die Aufzeichnung der OAE von einem freien äußeren Gehörgang, sowie eines freien Mittelohrs abhängig ist. Bei der Messung werden Ohrsonden verwendet, die durch Vernix caseosa verstopfen können. Ferner verhindert auch die Ansammlung von noch vorhandenem Fruchtwasser im Mittelohr die Aufzeichnung einer Antwort.

Die Organisation des im Saarland durchgeführten universellen und interdisziplinären Hörscreenings wird von Plinkert und Delb (2001) beschrieben. Hierbei wird ein OAE-Messgerät verwendet, das auf Grund der gerätetypischen geringen Spezifität ein mehrstufiges Screeningmodell erfordert. Daher empfehlen andere Autoren wie Boshuizen et al. (2001) für das Screening mit einem OAE-Gerät ein dreistufiges Screeningmodell.

Das erste Screening wird auf der Entbindungsstation durchgeführt. Die Wiederholungsuntersuchungen erfolgen beim Pädiater und sind in der U3 und U4 Untersuchung enthalten, an der nahezu 100% aller Kinder in Deutschland teilnehmen. Der Vorteil dieser Screeningabfolge liegt darin,

---

dass die Kinder von der ersten Untersuchung bis zur Diagnose einer möglichen Hörminderung oder deren Ausschluss beobachtet werden können. Außerdem ist auf diese Weise eine frühzeitige Therapie möglich, was die psychische und soziale Belastung der Eltern senkt.

### **1.4.3 Die Brainstem Evoked Response Audiometry – BERA**

Bereits 1939 wurden Veränderungen im EEG durch akustische Reizungen (Davis et al. 1939) entdeckt. Keidel und Spreng 1963 und Davis et al. 1964 und 1966 erarbeiteten unabhängig voneinander Methoden zur Ableitung bioelektrischer Potentiale, wobei Davis erstmals eine Vertexelektrode benutzte. Beide erkannten die Möglichkeit der Nutzung dieser Potentiale für die klinische Audiometrie und standen somit am Beginn des diagnostischen Einsatzes der BERA. Im Jahr 1976 wurde die Abkürzung „ERA“ für die „Evoked Response Audiometry“ zum ersten Mal bei den Arbeiten von Keidel und Davis beschrieben.

Die Entdeckung der Ableitung von Potentialen mit Hilfe der Methode der Fernfeldtechnik, bei der mit Elektroden am Mastoid und am Vertex gearbeitet wird, wurde zum Meilenstein in der Entwicklung der ERA (Sohmer, Feinmesser 1967, Jewett 1970, Jewett, Williston 1971). Diese Potentiale konnten als Wellen definiert werden. Zunächst wurde nur eine Welle verifiziert, die aber anschließend durch vier weitere Wellen ergänzt wurde. Die Bezeichnung dieser Wellen nach Jewett mit römischen Ziffern ist bis heute die geläufigste (Abbildung 1).

Auch in Deutschland folgte man der Entwicklung der Evoked Response Audiometry. 1970 setzte Theissing die Methode zur Hörprüfung bei Kindern ein. Dabei konnten Wellen mit einer Latenzzeit nach Einsetzen des Reizes von 10 - 27 Millisekunden beobachtet werden. Gerull fand 1972 ein akustisch evoziertes Potential mit einer Latenz von 6 - 10 Millisekunden, dass sich am gesamten Schädel ableiten ließ (Welle Jewett V).

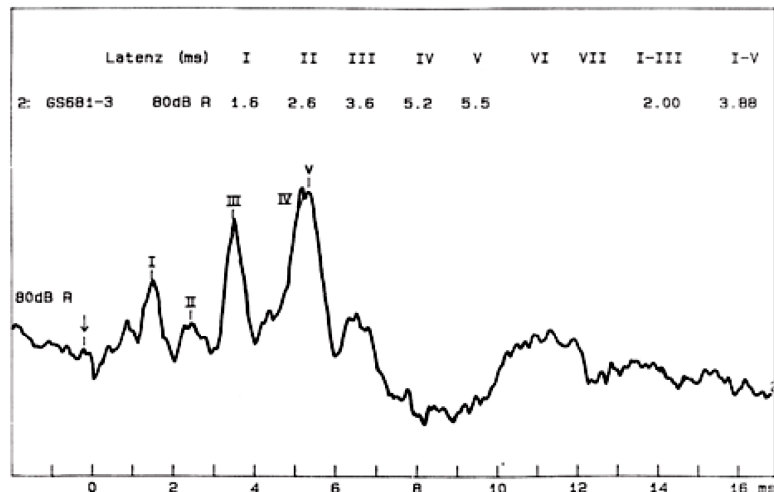


Abbildung 1: Beispiel einer BERA-Ableitung bei 80 dB mit Darstellung der Jewett-Wellen I bis V (Fa. Maico Diagnostic GmbH)

Seitdem finden sich in der englischen Literatur unter dem Begriff „BERA“ (Brainstem Evoked Response Audiometry) für die frühen Potentiale synonym gebrauchte Begriffe, wie BEAP (Brainstem Auditory Evoked Potentials), BAER (Brainstem Auditory Evoked Response), ABR (Auditory Brainstem Response) oder BEP (Brainstem Evoked Potentials).

Die Einteilung nach den einzelnen Potentialgruppen erfolgt sowohl nach der Latenzzeit der Potentiale, als auch nach dem vermuteten anatomischen Entstehungsort. Durchgesetzt hat sich im internationalen Sprachgebrauch, die Unterscheidung nach AEP abhängig von der Latenzzeit (Hoth und Lenarz 1994):

SFAEP (sehr frühe AEP)	0 – 10 ms
FAEP (frühe AEP)	0 – 10 ms
MAEP (mittlere AEP)	6 – 60 ms
SAEP (späte AEP)	50 – 300 ms
SSAEP (sehr späte AEP)	> 200 ms

Grundlage der Messungen sind elektrische Spannungsänderungen, welche durch Schallreiz ausgelöst werden. Bei dem Schallreiz handelt es sich um einen zeitlich definierten Reiz, beispielsweise einen Klickreiz. Dadurch

kommt es zu einer Synchronisation, die die Ableitung eines Summenaktionspotentials (SAP) an der Schädeloberfläche ermöglicht.

Die Messung der BERA (frühe Potentiale) hat sich bei der Untersuchung der Neugeborenen durchgesetzt, da es ein Verfahren mit hoher Spezifität und Sensivität ist. Ferner stellt es ein objektives Verfahren dar, bei der sich Art und Ort der Hörstörung differenzieren lässt. Dies bietet bei der Diagnostik einen erheblichen Vorteil und ist in diesem Punkt der OAE Messung als Untersuchungsmethode überlegen. Beim Neugeborenen-Hörscreening wird die BERA als Methode der Wahl in der Elektrophysiologie von Durieux-Smith et al. (1985) und Jacobson et al. (1990) genannt.

Die Ableitung der frühen akustisch evozierten Potenziale (FAEP), welche mit einer Latenzzeit von bis zu zehn Millisekunden mit einem charakteristischen Wellenverlauf auftreten, ist die BERA-Untersuchung. Die Sensitivität des BERA-Messverfahrens entspricht 100% und liegt im Bereich der OAE-Messung. Die Spezifität wird mit 95% bis 98% angegeben und ist damit um 5% bis 8% höher als bei der OAE-Messung (Reuter 2000).

Trotz hoher Validität und Reproduzierbarkeit verhinderte bisher der hohe Zeitaufwand dieser Methode eine Verwendung als Screeningmethode. Erst durch die Reduzierung des technischen und zeitlichen Aufwands wird das BERA-Verfahren zum Neugeborenen-Hörscreening angewendet. Die Entwicklung der automatisierten BERA-Untersuchungsmethode Ende der 80er Jahre wurde unter dem Namen ALGO bekannt (Jacobson et al. 1990). Das automatisierte BERA Verfahren (AABR) gibt nicht nur Auskunft über Funktion des Außen- und Mittelohrs sowie der Cochlea, sondern auch über die Hörbahn (van Straaten 1999). Die Auswertung der Messungen kann einerseits konventionell, das heißt visuell und andererseits automatisiert mit Hilfe von statistischen Verfahren erfolgen.

Neue Möglichkeiten der BERA haben sich durch automatisierte Untersuchungsverfahren ergeben, die bei der Auswertung die Beeinflussung des Ergebnisses durch den Untersucher ausschließen. Die Bewertung findet in Algorithmen nach definierten Kriterien statt.

Außerdem bieten die automatisierten Untersuchungsverfahren den Vorteil, dass sie von geschultem Personal durchgeführt werden können, ohne dass ein Pädaudiologe während der Messung anwesend sein muss.

Die Sensitivität von ALGO-1 Plus (Natus Medical Inc., San Carlos, USA), einer der ersten Generation von automatisierten ABR-Screenern, wird mit 100% und die Spezifität mit 96% angegeben, verglichen mit dem konventionellen ABR-Verfahren bei gesunden Neugeborenen (Jacobson et al. 1990).

Van Straaten et al. (1996) stellt ein unauffälliges Ergebnis („PASS“) von bis zu 98% mit dem automatisierten Verfahren ALGO-1 Plus fest. Die mittlere Messzeit beträgt dabei 25 Minuten (SD 13,9). Vergleichbare Zahlen sind aus einer Studie von Mason und Herrmann (1998) aus Hawaii zu nennen. Sie erreichten eine „PASS“-Rate von 96% bei einer Messdauer von durchschnittlich 15 Minuten. Die Kosten für die Untersuchung betragen 17 US-\$ pro Neugeborenem.

Im Nottingham Queen´s Medial Center wurde in den Jahren 1988 bis 1993 ein Projekt zur Feststellung der Sensitivität des Nottingham ABR-Screeners, eines automatisierten BERA-Verfahrens, durchgeführt. Mason et al. (1998) verglichen das visuelle Verfahren mit dem automatisierten. Die Sensivität des ABR-Screeners beträgt 90%, dessen Spezifität 93%. Obwohl die Sensivität verhältnismäßig hoch ist, ist es nahezu unmöglich, alle Kinder mit einem beidseitig permanenten Hörverlust zu erkennen. Die falsch-negativen Fälle (fehlhörig, aber als gesund erkannt) liegen nach Meinung von Mason et al. (1998) unter anderem in technischen, aber auch organischen Ursachen begründet.

Bei Untersuchungen von Stewart et al. (2000) wird für das universelle Hörscreening ebenfalls ein automatisiertes BERA Verfahren (AABR) verwendet. Die falsch-positiv Rate (normalhörig, aber als krank erkannt) liegt zwischen 0,3% bis 2,5%. Falsch-negative (fehlhörige, aber als gesund erkannte) Ergebnisse treten nicht auf. Die Messzeit beträgt im Durchschnitt 7,1 Minuten und ist vom Alter des zu untersuchenden Neugeborenen und von den Fertigkeiten des Untersuchers abhängig. Die Wiederholungsraten waren trotz unterschiedlicher Untersucher gering. Der Vorteil der niedrigen Wiederholungsraten liegt darin, dass die Kosten minimiert und das Eltern-Kindverhältnis nicht unnötig belastet wird.

## 1.5 Das Neugeborenen-Hörscreening-Programm in Würzburg

In Würzburg nahmen von August 1997 bis August 2005 über 10.000 Neugeborene an einem universellen Neugeborenen-Hörscreening (NHS) in der Frauenklinik der Universität Würzburg teil. Die Untersuchung wird von Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkranke der Universität Würzburg in Zusammenarbeit mit der Frauenklinik der Universität Würzburg durchgeführt.

Es findet ein zweistufiges Screenignmodell (Abbildung 2) Anwendung, welches sich auf die Messung der BERA (Fa. WESTRA Electronic GmbH, Wertingen, seit 1998 Fa. Maico, Berlin) unter Verwendung des BERAphons<sup>®</sup> (Fa. Maico, Berlin) mittels des Zeitgangreizes stützt. Das BERAphon<sup>®</sup> ist eine Einheit aus einem Signalwandler (Lautsprecher), Ableitelektroden und Vorverstärker in einem einzigen Gerät. Der Stufenreiz der Zeitgang-BERA besteht aus jeweils sechs aufeinander folgenden Klickreizen mit einem Interklickabstand von fünf Millisekunden, deren Intensität sich von Klick zu Klick um zehn Dezibel erhöht (Finkenzeller 1994). Der subjektive Höreindruck resultiert in einem einzigen „weichen“ Klick, der eine Dauer von 25 Millisekunden hat.

Im Vergleich zur konventionellen Hirnstammaudiometrie ohne Zeitgangreiz ist bei diesem Verfahren die Zeitersparnis hervorzuheben (Hamill et al. 1992). Lediglich die Bewertung und Auswertung der Messung erfolgt noch visuell und ist nicht standardisiert. Die visuelle Auswertung ist mit erhöhtem Zeitaufwand im Vergleich zum automatisierten Auswertungsverfahren verbunden.

Basierend auf den Erfahrungen die mit dem WESTRA ERA QS/02 Gerät gewonnen werden konnten, wurden seit Juni 2002 zwei Verfahren zur automatisierten Auswertung erprobt: Eine von Finkenzeller (1994) überarbeitete Version des konventionellen visuellen Zeitgang-BERAs, das sogenannte „neue BERA“ mit automatisierten Auswertalgorithmus und ein auf der Messung von Steady State Potentialen basierendes System mit einem automatisierten Auswertalgorithmus, der „Frankfurter Algorithmus“, welcher von Stürzebecher et al. (1999) entwickelt wurde. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in dieser Arbeit niedergelegt.

## **1.6 Angestrebte Ziele**

Ziel dieser Arbeit ist das Screening von Neugeborenen mit Hilfe von zwei automatisierten BERAphon<sup>®</sup> Auswertungsverfahren auf der Basis eines bewährten Screeningmodells an der Universitätsklinik Würzburg. Ferner sollen die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens herausgearbeitet und mit dem Standardverfahren der visuellen BERA-Auswertung verglichen und bewertet werden.

Als wichtige Kriterien stehen hierbei der personelle, materielle, zeitliche Aufwand, die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse sowie die Anforderungen an den Untersucher im Vordergrund.



---

## 2 Material und Methode

### 2.1 Das Screeningmodell

Die Effizienz stellt einen wichtigen Punkt bei der Einführung eines universellen Neugeborenen-Hörscreening-Programms dar (Shehata-Dieler et al. 2002). In Würzburg wird ein zweistufiges Screeningmodell (Abbildung 2) verwendet. Hierbei wird zunächst ein Screening auf der Neugeborenenstation der Frauenklinik durchgeführt. Ferner findet ein weiteres Screening in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten statt. Bei beiden Screeningverfahren wird das BERAphon® nach Finkenzeller (1994, 1997) unter Verwendung des Zeitgangreizes mit visueller Erkennung der Schwelle angewendet.

In der Regel findet die erste Stufe des Screenings (Stufe I) in einem Kinderzimmer auf der Neugeborenenstation der Frauenklinik der Universitätsklinik Würzburg statt und wird von Mitarbeitern der Elektrophysiologischen Abteilung durchgeführt. Ein Audiologe ist nicht anwesend. Bei Kindern, die nach der Geburt auf die Intensivstation oder Neugeborenenstation der Kinderklinik verlegt werden, wird das Hörscreening mit Hilfe von ALGO (Natus Medical Inc., San Carlos, USA) durchgeführt, einem automatisierten Verfahren zur Hirnstammaudiometrie. Ein Rescreening ist indiziert, falls bei der ersten Auswertung ein auffälliges Ergebnis („FAIL“) erreicht wird.

Die zweite Stufe des Screenings (Stufe II) erfolgt in einem schallisolierten Raum (schallarmer Raum nach DIN ISO 8253, Abschnitt 11; IAC, Niederkrüchten, Deutschland) in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen und Ohrenkrankheiten der Universität Würzburg. Ferner werden hier auch die Fremdkinder untersucht.

Der Vorteil dieses Rescreenings liegt in der Minimierung der falsch-positiven Rate und trägt damit maßgeblich zur Effektivität der Screeningmethode bei.

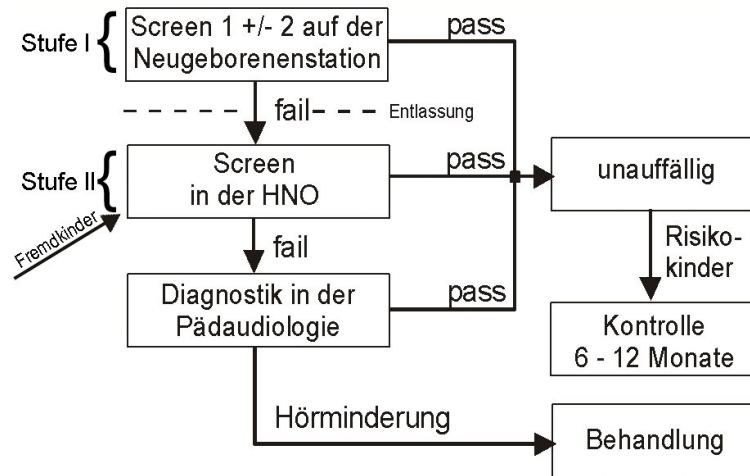


Abbildung 2: Screeningprotokoll des Hörscreening-Programms der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen und Ohrenkranke der Universität Würzburg

### 2.1.1 Die erste Stufe des universellen Neugeborenen-Hörscreenings

Das Neugeborenen-Hörscreening wird dreimal wöchentlich in der Frauenklinik der Universitätsklinik Würzburg durchgeführt und wird sowohl auf dem Untersuchungsbogen (Anhang 3, Anhang 4), wie auch im gelben Untersuchungsheft für Kinder dokumentiert. Es wird zunächst monoaural konventionell mit dem BERaphon<sup>®</sup> (Abbildung 3) unter Verwendung des Zeitgangreizes gemessen.

Im Anschluss an diese Untersuchung erfolgen die Messungen unter Verwendung von automatisierten Auswertalgorithmen. Zum einen wird der unter 2.2.4 beschriebene Frankfurter Algorithmus (SSP) und die unter 2.2.5 neue BERA verwendet.

Diese Messungen werden mit einem externen Gerät durchgeführt, welches an den Messtagen in einem gepolsterten Alukoffer (Abbildung 4) von der HNO-Klinik in die Frauenklinik getragen wird. In diesem Koffer befinden sich die für die automatisierten Auswertalgorithmen gemeinsame Hardware, ein Laptop auf Intel Pentium Basis, das Messgerät (MB 11 Box) und das BERaphon<sup>®</sup>.



Abbildung 3: BERAphon<sup>®</sup> mit Kopfhörer-  
kapsel, gefederten Edelstahl-  
elektroden und Vorverstärker in einem Gerät

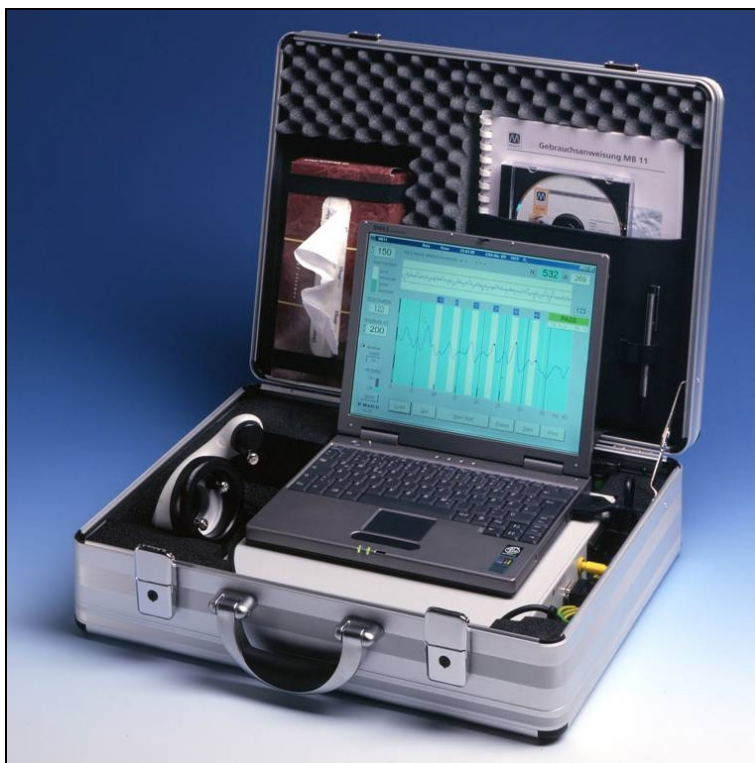


Abbildung 4: Portable Komplett-  
ausrüstung im Alukoffer

Jedes Neugeborene wird zusätzlich zur konventionellen Zeitgang BERA mit visueller Auswertung, soweit zeitlich möglich, mit beiden automatisierten Verfahren gemessen, das heißt sowohl mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP), als auch mit der neuen BERA. Ferner werden für die Messungen benötigte Zeiten, sowie Besonderheiten, wie beispielsweise Störungen der Messung, Unruhe des Kindes etc. während der Messung auf dem Untersuchungsbogen dokumentiert.

Kinder, die bei dieser ersten Screeningstufe zu unruhig waren, werden zur zweiten Screeningstufe in die HNO-Klinik einbestellt (2.1.2).

Die konventionelle Messung mit visueller Bewertung gilt als Referenz und wird in unklaren Fällen, also bei nicht eindeutigen Reizantworten bei 40 dB, durch bis zu drei zusätzliche OAE-Messungen (1.4.2) ergänzt. Risikokinder werden grundsätzlich auf beiden Ohren untersucht. Die Beschreibung des Untersuchungsablaufs wird unter 2.3 detailliert geschildert.

Nach dem Überspielen der Daten auf einen Rechner in der HNO-Klinik erfolgt anschließend die visuelle Auswertung der Zeitgangmessung mit Markierung der Maxima und Bestimmung der Latenzzeiten bei 30 dB, 40 dB, 50 dB und 60 dB durch Audiologen der HNO-Klinik.

Wird während der Auswertung eine Auffälligkeit („FAIL“) Frauenklinik – Screen 1 durch den Audiologen festgestellt, so erfolgt in diesem Fall bei dem nächsten Untersuchungstermin, dem sogenannten Frauenklinik – Screen 2 eine biaurale Untersuchung. Der Krankenhausaufenthalt der Neugeborenen beträgt in der Regel fünf Tage, so dass die Messung Screen 2 in diesem Zeitraum vorgenommen werden kann.

Das Ergebnis der Screeninguntersuchung richtet sich dabei nach der Beurteilung des konventionellen Auswertungsverfahrens. Es wird von einem Audiologen bewertet und schriftlich auf dem Untersuchungsbogen festgehalten.

Kinder, die nach der ersten Stufe ein unauffälliges Testergebnis („PASS“) zeigen, werden nach ihrer Entlassung nicht erneut gemessen und als gesund eingestuft. Eine schriftliche Mitteilung an die Eltern erfolgt nicht.

Bei Kindern der Perinatalstation oder bei Neugeborenen, die ein auffälliges Testergebnis („FAIL“) aufweisen, erfahren die Eltern grundsätzlich das Untersuchungsergebnis (Anhang 5).

Die ermittelten Verdachtsfälle (auffälliges Screeningergebnis) werden gesondert erfasst, um in weiteren Screeningstufen das Ergebnis des Screenings zu überprüfen, bzw. rechtzeitig die notwendige Diagnose zu stellen und die Therapie einzuleiten (Untersuchungsablauf Abbildung 5).

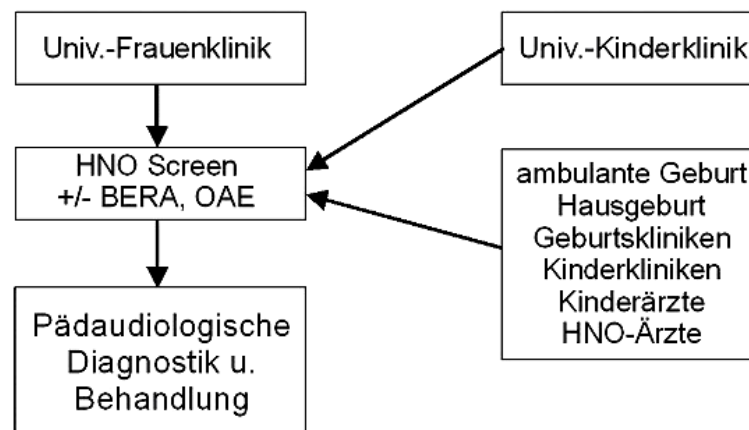


Abbildung 5: Untersuchungsablauf auffällig getesteter Kinder

### 2.1.2 Die zweite Stufe des universellen Neugeborenen-Hörscreenings

Jedes Neugeborene, bei dem in der ersten Stufe des Screenings (Screen 1 + Screen 2) in der Frauenklinik ein auffälliges Ergebnis („FAIL“) aufgetreten ist, wird nochmals in einer zweiten Screeningstufe in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten der Universität Würzburg nachuntersucht (Abbildung 5). Das Einbestellen der Patienten koordiniert ein Mitarbeiter der Abteilung für Elektrophysiologie.

Diese Testung wird in einer für elektromagnetische Strahlung abgeschirmten und schallisolierten Untersuchungskabine (schallarmer Raum nach DIN ISO 8253, Abschnitt 11; IAC Niederkrüchten, Deutschland) durchgeführt. Bei dieser zweiten Testreihe kommt erneut das MB 11 BERAphon® zum Einsatz. Ferner wird mit bis zu drei OAE-Messungen das Testergebnis kontrolliert. Die Auswertung der BERA wird sowohl visuell, als auch mittels automatischen Algorithmus (neue BERA) durch einen Audiologen vorgenommen.

Im Anschluss an diese Messungen wird der Befund auf dem Untersuchungsbogen dokumentiert, das Ergebnis und das weitere Vorgehen mit den Eltern besprochen.

### **2.1.3 Weiteres Procedere**

Bevor das testauffällige Kind zu weiteren audiologischen Analysen vorgestellt wird, werden mit einem Mikroskop beide Ohren klinisch untersucht. Dies dient zum Ausschluss extracochleärer pathologischer Befunde.

Konnten bei diesen Untersuchungen keine pathologischen Befunde ermittelt werden, werden weitere Hörtests eingeleitet. Einer dieser Tests ist das so genannte Freifeldaudiogramm. Die Voraussetzung dafür ist, dass das Kind grundsätzlich eine Reaktion auf Töne zeigen kann.

Das Freifeldaudiogramm ist eine Hörprüfung mittels eines Lautsprechers, bei der die Reaktionsschwelle für frequenzmodulierte Töne gemessen wird, das heißt es wird ermittelt, bei welcher Lautstärke ein Patient einen Ton gerade noch hört. Die Prüfung erfolgt meist im Tonhöhenbereich zwischen 125 und 8000 Hz.

Zur Differenzierung der Diagnose wird außerdem ein konventionelles BERA mit Klebeelektroden (Maico MB 21, Berlin) ohne Verwendung des Stufengangs aufgezeichnet.

## **2.2 Geräte**

### **2.2.1 Grundlagen**

Konventionell wird mit dem WESTRA ERA QS/02 Gerät und dem BERaphon<sup>®</sup> gemessen, welches sich auf die Messung der BERA unter Verwendung des Zeitgangreizes stützt. Das BERaphon<sup>®</sup> ist eine Einheit aus einem Signalwandler (Lautsprecher), Ableitelektroden und Vorverstärker in einem einzigen Gerät. Der Stufenreiz der Zeitgang-BERA besteht aus jeweils sechs aufeinander folgenden Klickreizen mit einem Interklickabstand von

5 Millisekunden, deren Intensität sich von Klick zu Klick um 10 dB erhöht (Finkenzeller 1994). Der subjektive Höreindruck resultiert in einem einzigen „weichen“ Klick, der eine Dauer von 25 ms hat. Klickreize sind nicht frequenzspezifisch und besitzen ein umso breiteres Frequenzspektrum, je kürzer das Schallereignis ist. Dadurch kommt es zur simultanen Stimulierung zahlreicher Sinneszellen, die zu einer hohen neuronalen Aktivitätsrate führt. Das Frequenzspektrum der in der Hirnstammaudiometrie eingesetzten Klickreize liegt zwischen 2 und 4 kHz (Hoth, Lenarz 1994).

Zur Darstellung der akustisch evozierten Potentiale wird ein EEG abgeleitet. Dabei werden fünf bis sechs typische Wellen, die Jewett-Wellen I bis VI dargestellt, von denen die Wellen I, III und V diagnostisch am bedeutendsten sind. Die Welle V ist meist am größten und allein bis zur Hörschwelle nachzuweisen (Abbildung 6). Beim Zeitgang-BERA überlappen sich die Wellen I und V.

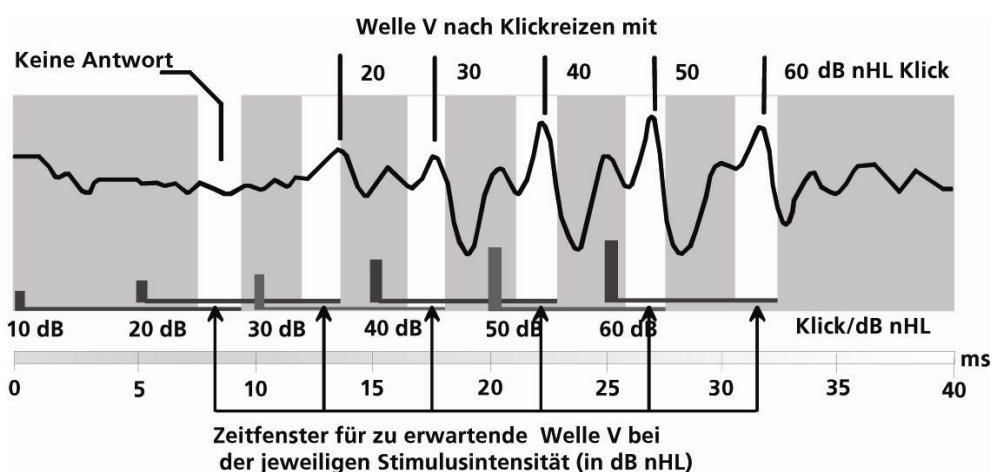


Abbildung 6: Typisches Zeitgang-BERA-Muster bei der Hörschwellenmessung

### 2.2.2 Visuelle Auswertung

Für das Screening werden Reizpegel von 60 dB eingestellt. Nach dem Starten der Messung wird das BERAphon auf den Kopf des Kindes aufgesetzt, so dass es dessen Ohr dicht umschließt (siehe 2.3).

Die Aufzeichnung der EEG-Abschnitte pro Zeitgangreiz (Sweeps) erfolgt am Monitor in einem Zeitfenster von 40 ms, wo es fortlaufend gefiltert, verstärkt und gemittelt wird. Störpotentiale, wie z.B. Muskelpotentiale werden durch Filterung von den Mittelungen ausgeschlossen. Zugunsten eines guten Signal-Rausch-Verhältnisses muss die Anzahl der Mittelungen erhöht werden, womit sich die Messzeit verlängert.

Bei der visuellen Auswertung beendet der Untersucher die Messung nach mindestens 500 Sweeps bei zwei Einzelmessungen, wenn er deutliche Wellenkomplexe findet.

Die visuelle Auswertung beruht auf dem Erkennen von EEG-Veränderungen, die auf einem Bildschirm nach Reizgabe durch spezifische Muster auffallen. Dabei werden nicht alle typischen Wellen Jewett I-V sichtbar, sondern es entstehen durch Überlagerung der einzelnen Wellen pro Pegelstufe aufeinander folgende separate III-V Komplexe. Die dabei typischen Amplitudenverläufe treten nach bestimmten Latenzzeiten auf und müssen mit geschulten Augen erkannt werden (Abbildung 7). Es ist somit ein Verfahren, das sich auf die Erfahrung und die Fähigkeit zur Mustererkennung des Untersuchers und Audiologen stützt.

Aber nicht nur die Identifizierbarkeit der III-V Komplexe ist für die Beurteilung entscheidend, sondern auch die Morphologie, Reproduzierbarkeit und abnehmende Latenz in einem EEG-Abschnitt.

Die endgültige Auswertung der Messung findet in der HNO-Klinik statt, in dem aus den Summenkurven in einem Auswertprogramm eine Mittelwertkurve gebildet wird und die Wellen V mit den Reizpegeln von 60 dB an bis zur vermuteten Hörschwelle gekennzeichnet werden. Die Auswertung der Messergebnisse wird gespeichert, ausgedruckt und dem Audiologen zur Beurteilung vorgelegt. Entscheidende Kriterien für die Beurteilung der Wellenmuster sind: Wellenmorphologie, Latenz, Amplitude und die BERA-Schwelle. Ein unauffälliges Ergebnis („PASS“) bedeutet, sowohl das Vorhandensein von Welle V bei 40 dB, eine abnehmende Latenz der Antworten bei zunehmendem Pegel, als auch die Reproduzierbarkeit in allen Messungen (Abbildung 7).



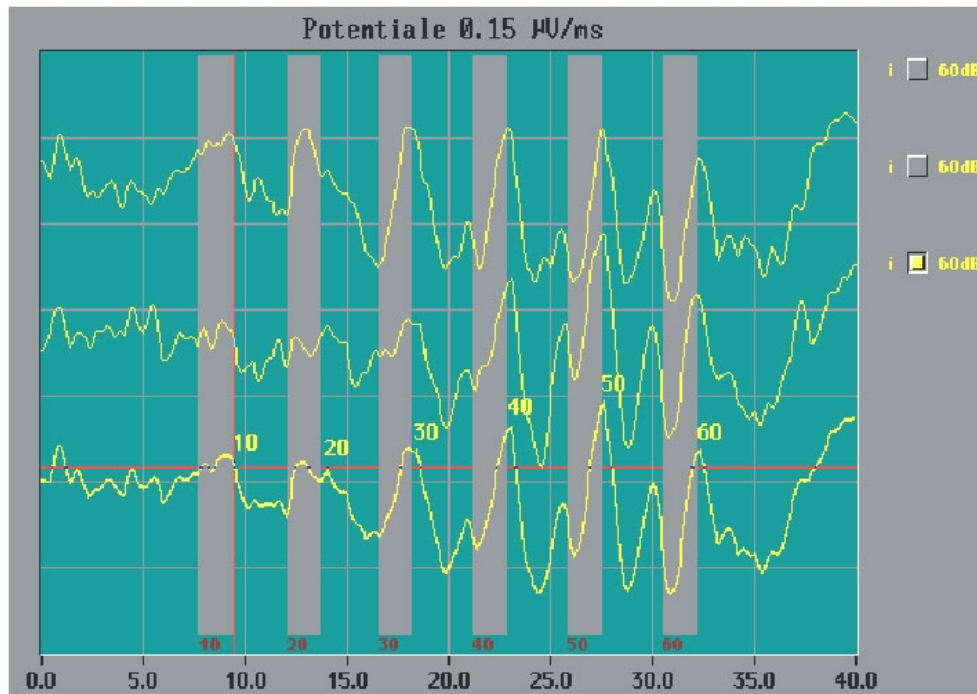


Abbildung 7: Typisches Zeitgang-BERA-Muster bei der Hörschwellenmessung während einer Messung

### 2.2.3 Automatisierte Auswertalgorithmen

Die Messung mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) wie auch die Messung der neuen BERA wird mit einem externen transportablen Gerät durchgeführt, welches an den Messtagen in die Frauenklinik getragen wird. In einem gepolsterten Alukoffer befinden sich die gemeinsame Hardware, ein Laptop auf Intel Pentium Basis, das Messgerät (MB 11 Box) und die Messsonde (BERAphon<sup>®</sup>) (Abbildung 4).

### 2.2.4 Frankfurter Algorithmus (SSP)

Der Untersuchungsablauf wird unter 2.3 beschrieben. Bei der automatischen Auswertung mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) wird die Hörschwelle bei 40 dB ermittelt. Dabei wird das BERAphon<sup>®</sup> eingesetzt und unter Ausschluss des Zeitgangreizes gemessen. Die Klickreize werden mit einer hohen

Reizrate (90 Klicks/Sekunde) appliziert, so dass ein sogenanntes „Steady-State-Response“ (SSR) entsteht. Der objektive statistische Nachweis (modifizierter q-sample-test nach Stürzebecher et al. 1999) erfolgt nach Transformation dieser streng periodischen Zeitfunktion in dem Frequenzbereich.

Im Frequenzbereich wird die SSR durch wenige Spektrallinien, die sogenannten Harmonischen beschrieben, deren Lage im Spektrum durch die Reizrate bestimmt wird. Der statistische Test wertet die Phasen- und Amplitudeninformation der Harmonischen unterhalb von 800 Hz aus. Der Bereich zwischen den Harmonischen bleibt beim Test unberücksichtigt. Dadurch werden Störungen durch Brummen ausgeschaltet und die Messzeit reduziert (Gebrauchsanweisung Maico MB 11).

Im Anschluss an die Ableitung erfolgt der statistische Test. Dieser wird nach jeder Sekunde wiederholt bis das Testergebnis einen kritischen Wert überschreitet. Das ist bei Erreichen des grünen Bereichs auf dem Messbildschirm bei 100% der Fall. Die Untersuchung wird mit dem Testergebnis „UNAUFFÄLLIG“ beendet. Wird der kritische Wert nicht innerhalb von 120 Sekunden erreicht, wird das Testergebnis „KONTROLLE“ auf dem Bildschirm angezeigt.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Messung in der Regel nur einmal durchgeführt. Lediglich bei ungünstigen Messbedingungen, wie bei Störlärm, unruhigem Kind oder Risikokind ist diese bis zu dreimal wiederholt worden.

Der Testablauf kann am Bildschirm (Abbildung 8) am großen Diagramm verfolgt werden. Auf der Ordinate ist der Grad zum Erreichen des „PASS“-Kriteriums und auf der Abszisse die Testzeit aufgetragen. In zwei weiteren Funktionsfeldern werden das EEG und die AEP dargestellt. Am unteren rechten Bildrand informiert ein Funktionsfeld über den Status der Messung. Ferner stehen die Funktionen „LADEN“, „ZURÜCK“, „DRUCKEN“ und „MESSUNG ABBRECHEN“ zur Verfügung. Am rechten oberen Bildschirmrand werden die Anzahl der Messungen und die der Artefakte angezeigt.

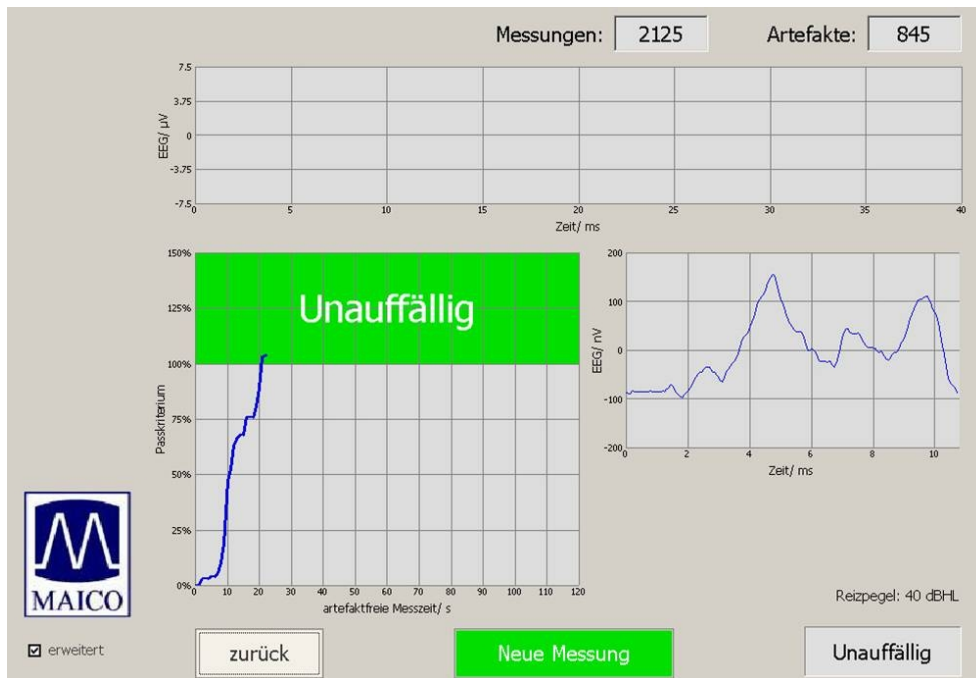


Abbildung 8: Bildschirmoberfläche des Screenings mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) bei unauffälligem Untersuchungsergebnis

### 2.2.5 Die neue BERA

Bei der neuen BERA wird der Hörtest mit dem Zeitgangreiz und dem BERaphon<sup>®</sup> durchgeführt. Dieses Verfahren unterscheidet sich gegenüber der visuellen Auswertung mit Zeitgangreiz im Auswertungsverfahren des Hörtests. Die Kriterien für ein „PASS“-Ergebnis entsprechen denen der visuellen Auswertung.

Besonderheiten ergeben sich im statistischen Verfahren bei der Mustererkennung. Sie erfolgt nach definierten Kriterien, die mit dem Amplitudengrenzwert, einem Abfall von 62 nV bei 40 dB und 50 dB, dem Ausschluss der Antwort bei 60 dB, der Festlegung der Latenzvariation zwischen 40 dB, 50 dB und 60 dB, Pegel im reproduzierbaren Abstand, sowie mit einem automatischen „RESET“ bei hohem Artefaktaufkommen zusammenhängen.

Einstellmöglichkeiten bestehen in der Regulierung des Pegelschiebers, der auf einen Maximalpegel von 60 dB eingestellt ist. Dieser maximale Pegel des

Stufenreizes kann auf 70 dB (bei unempfindlichen Kindern) erhöht oder auf 50 dB (bei empfindlichen Kindern) gesenkt werden.

Nach Anklicken von „START“ erscheint der Messbildschirm (Abbildung 9). Im oberen Funktionsfeld wird das EEG dargestellt. Die beiden Linien ober- und unterhalb der Mittellinie geben die Artefaktschwelle an. Erscheint die gemessene EEG-Kurve innerhalb dieser Linien so erfolgt eine Messung und die in dem Kontrollkästchen „MESSUNGEN“ angegebene Zahl erhöht sich um den Wert „1“. Wird die Artefaktschwelle überschritten, so wird diese Einzelmessung nicht berücksichtigt und die in dem Kontrollkästchen „ARTEFAKTE“ angegebene Zahl erhöht sich um den Wert „1“.

Die Maximalmesszeit ist auf sechs Minuten beschränkt. In dieser Zeit werden bis zu fünf Messungen vorgenommen. Bei einer gestörten, nicht reproduzierbaren Messung wird automatisch eine neue Messung gestartet bis entweder das Ergebnis „UNAUFFÄLLIG“ oder „KONTROLLE EMPFOHLEN“ erscheint.

Die zugehörigen BERA-Welle V-Antworten sollten im Bereich der weiß markierten Streifen innerhalb des 40 ms Zeitfensters auftauchen. Über den weißen Streifen ist der jeweilige Reizpegel angegeben.



Abbildung 9: Bildschirmoberfläche der neuen BERA bei unauffälligem Untersuchungsergebnis

### **2.3 Ablauf der Untersuchung mit dem MB11 und den automatisierten Auswertverfahren**

Das universelle Hörscreening bei Neugeborenen mit dem BERAphon<sup>®</sup> wird jede Woche an drei Untersuchungsvormittagen von zwei Mitarbeitern der Abteilung für Elektrophysiologie vorgenommen. Der eine Mitarbeiter führt die Messung mit der konventionellen BERA durch, der andere mit den automatisierten Verfahren. Die Messung findet am schlafenden Neugeborenen statt, nachdem dieses gestillt und gebadet wurde.

Bevor die Untersuchung beginnen kann, werden die gelben Kinderuntersuchungshefte, die Patientenakten und die Untersuchungsprotokolle (Anhang 3, Anhang 4) vorbereitet. Das Untersuchungsprotokoll wird mit den Patientendaten (Gestationswoche, APGAR-Index) aus der Patientenakte vervollständigt, aber auch Risikofaktoren und Spezifika der Messung werden notiert. Im Anschluss an die Messung wird die Durchführung der Untersuchung im gelben Untersuchungsheft dokumentiert. Nach dem Protokoll beginnt die Untersuchung. Die Vorbereitung des Kindes erfolgt bei allen drei beschriebenen Auswertungsmethoden immer gleichartig.

Die Patientendaten (Nachname, Vorname, Geburtsdatum, Geschlecht und Ohr) werden am Startbildschirm eingeben. An den Ableitelektroden und an den Stellen des Elektrodenkontakts am Kopf des Neugeborenen wird etwas handwarmes Elektrodengel aufgetragen, um einen möglichst niedrigen Haut-Elektroden-Widerstand zu erhalten. Die Erdung des Geräts erfolgt durch einen Clip am Metallrahmen des Kinderbettes. Nach dem Start des Messprogramms wird das BERAphon<sup>®</sup> entsprechend der korrekten Elektrodenplatzierung am Kopf des Kindes aufgesetzt, so dass das Kissen zur akustischen Abschirmung das Ohr dicht umschließt. Die erste Elektrode kommt beim Aufsetzen des BERAphons<sup>®</sup> unterhalb des Ohrläppchens (Mastoid) zum liegen, die zweite Elektrode oberhalb der Ohrmuschel und die dritte Elektrode in gerader Linie nach oben in Richtung Stirn bzw. Scheitel (Vertex) platziert. Danach beginnt die Aufzeichnung der Potentiale. Es ist darauf zu achten, dass kein Kontakt zwischen den Elektroden durch das Elektrodengel entsteht, da sonst ein Kurzschluss entsteht, der die Messung

verhindert. Das BERAphon<sup>®</sup> wird ruhig auf dem Kopf des Kindes gehalten, ggf. etwas korrigiert, bis auf dem Bildschirm das Testergebnis „AUFFÄLLIG“ oder „UNAUFFÄLLIG“ erscheint. Nach der Messung wird das Elektrodengel mit Hilfe eines Feuchttuches von der Haut des Kindes entfernt und die Elektroden mit Alkohol gesäubert.

## **2.4 Die Probanden**

Im Zeitraum von August 1997 bis März 2003 nahmen 6516 Neugeborene am Würzburger Hörscreening-Programm teil. Es wurden 318 auswärtige Neugeborene mit dem Hörscreening erfasst. Auffällige Kinder werden bis zum Abschluss der Therapie begleitet (18 Kinder wurden mit Hörgeräten und neun mit Cochleaimplantaten versorgt).

Im Zeitraum von Mai bis September 2002 nahmen 417 Neugeborene am Hörscreening teil. In diesem Zeitraum wurde das Screening parallel mit drei verschiedenen Auswertverfahren vollzogen. Die einzige Voraussetzung zur Durchführung der Untersuchung des Neugeborenen war ein Mindestalter von 24 Stunden. Die Altersverteilung der Neugeborenen zum Zeitpunkt der Untersuchung wird in Abbildung 10 dargestellt. In der Gruppe der Probanden im Alter über fünf Tage befinden sich Kinder, die von der Perinatalstation auf die Neugeborenenstation der Frauenklinik verlegt wurden.

Alle Eltern wurden mit Hilfe einer Informationsbroschüre vom Hörscreening in Kenntnis gesetzt (Anhang 1, Anhang 2). Die Erfassung der Daten der Neugeborenen wurde anhand eines standardisierten Formulars (Anhang 3, Anhang 4) vorgenommen. Die wichtigen persönlichen Daten der Probanden wurden zur Datenerfassung in die Datenbank des Computers eingegeben, um zur späteren Auswertung zur Verfügung zu stehen.

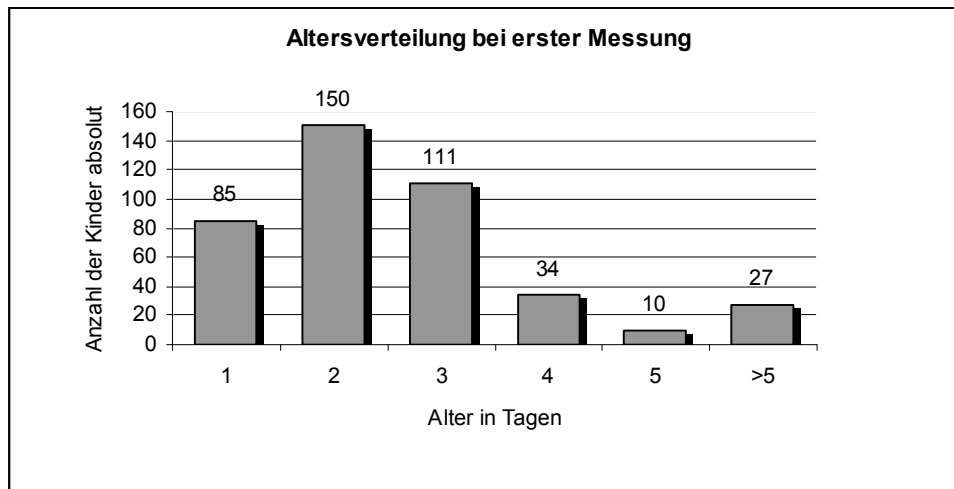


Abbildung 10: Altersverteilung bei Erstuntersuchung (n=417)

Die Geschlechtsverteilung stellt sich mit 226 männlichen und 191 weiblichen Neugeborenen in einer prozentualen Verteilung von 54,20% zu 45,80% dar.

Von den 417 Kindern waren 35 Risikokinder, die anhand von Risikofaktoren (Tabelle 1) für eine Hörminderung prädisponiert waren. Dies entspricht einer prozentualen Verteilung von 91,61% Nicht-Risikokindern zu 8,39% Risikokindern. Außerdem wurde festgehalten, dass 45 Kinder nach ihrer Geburt auf der Perinatalstation (Station „Wolke“ – Zwischenintensiv) versorgt wurden, was einem prozentualen Anteil von 10,79% entspricht. Lediglich 14 der 45 Kinder der Perinatalstation wiesen keinen weiteren Risikofaktor auf. Die 31 Neugeborenen mit einem oder mehreren Risikofaktoren wurden in der Gruppe der Risikokinder erfasst.

## 2.5 Methoden der Statistik

Als Grundlage für die statistische Auswertung dienten die Daten, die während der Untersuchung der Neugeborenen auf dem Untersuchungsprotokoll festgehalten wurden. Die Untersuchungsergebnisse mit den Patientendaten wie Geburtsdatum und -zeit, Untersuchungszeitpunkt und -zeitdauer, Geschlecht und Untersucher sind mit dem Tabellenkalkulations-

programm Microsoft<sup>®</sup> Excel gespeichert, ausgewertet und grafisch dargestellt worden. Ferner wurde zur weiteren statistischen Datenverarbeitung das Statistikprogramm SPSS<sup>®</sup> 8.0 für Windows Release 9.0.1 (SPSS-Incorporation) verwendet.

Berechnet wird der Mittelwert (MV = mean value) und die Standardabweichung (SD = Standard Deviation) bzw. der Standardfehler (SE = Standard Error).

Die Standardabweichung (SD) ist ein Maß für die mittlere Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert. Der Standardfehler (SE) hingegen ist ein Maß für die mittlere Abweichung des Mittelwertes oder für die Sicherheit der Werte. Außerdem werden Prozentrechnungen durchgeführt und Verteilungen verschiedener Werte dargestellt.



### 3 Ergebnisse

Von Mai 2002 bis September 2002 wurden 417 Neugeborene in der Universitäts-Frauenklinik Würzburg im Neugeborenen-Hörscreening-Programm erfasst. Dabei erfolgte im Screen 1 die erste Messung konventionell mit der Zeitgang-BERA (Referenz) unter Verwendung des BERAphons<sup>®</sup>. Bei uneindeutigem Messergebnis, das heißt undeutlicher Antwort bei 40 dB [HL] erfolgte eine zusätzliche OAE-Messung, die bis zu dreimal wiederholt werden konnte. Erst im Anschluss darauf wurde die zweite Messung mit den automatisierten Verfahren durchgeführt. Da für das Screening ein begrenzter Zeitrahmen vorgegeben war, um den Stationsablauf nicht zu stören, konnten diese Messungen nicht immer abgeschlossen werden. So war es an bestimmten Tagen aufgrund eines hohen Patientenaufkommens in einem zeitlich begrenzten Rahmen nur möglich, die Standard-Screeninguntersuchungen mit der konventionellen BERA vorzunehmen. Dies ist einer der Gründe, warum nicht bei allen Kindern lückenlose Testreihen mit allen drei Screeningverfahren vorliegen. Ferner mussten Messungen wegen Unruhe des Kindes oder außerplanmäßiger kinderärztlicher Allgemeinuntersuchungen zum Teil abgebrochen oder auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Schließlich gibt es einige wenige Fälle, die wegen messtechnischer Probleme, wie Störungen, Programmabbruch oder hohem Artefakt-aufkommen unterbrochen und neu begonnen werden mussten.

Allgemein kann bei Untersuchungen von Neugeborenen keine Kooperation erwartet werden. Daher ist regelmäßig mit einer gewissen Anzahl von Wiederholungsmessungen zu rechnen, die bedingt sind durch Reaktionen der zu testenden Neugeborenen.

Nach der Messung wurden alle spezifischen Messdaten, Untersuchungsergebnis „PASS“ oder „FAIL“, Messzeit und Besonderheiten während der Messung notiert. Alle weiteren Daten die zur Vervollständigung des Untersuchungsprotokolls dienen, wurden bereits vor der Messung notiert (Anhang 3, Anhang 4).

Bei einigen Kindern konnte kein endgültiger Befund erhoben werden. Entweder war die Aufenthaltsdauer auf der Neugeborenenstation so kurz, dass diese vor einem möglichen Screeningtermin bereits entlassen wurden oder die Eltern hatten kein Interesse an der Teilnahme eines Hörscreenings. Diese Kinder gelten in der Statistik als „Drop-Outs“.

### **3.1 Auswertung visuelle BERA mit OAE-Messung**

#### **3.1.1 Patientenbezogene Auswertung visuelle BERA mit OAE-Messung (Referenz) in Stufe I (Screen 1 + 2)**

In Stufe I wurden insgesamt 417 Patienten erfasst, wobei bei 6 Patienten keine Untersuchungen durchgeführt wurden. Diese gelten als „Drop-Outs“. Daraus resultiert eine Erfassungsrate von 98,6%. Grundsätzlich wurde monoaural gescreent. Lediglich bei 63 Patienten wurde an beiden Ohren gemessen, da diese einen Risikofaktor aufwiesen oder es der ausdrückliche Wunsch der Eltern war, beide Ohren zu untersuchen.

Patienten, die das Ergebnis „FAIL“ nach Stufe I erhalten haben, hatten entweder auf einem oder auf beiden Ohren das Ergebnis „FAIL“.

Patienten, die das Ergebnis „PASS“ nach Stufe I erhalten haben, konnten mindestens auf einem Ohr das Ergebnis „PASS“ aufweisen.

Patienten, die das Screeningkriterium „PASS“ aufwiesen, jedoch nur auf einem Ohr das Ergebnis „PASS“ und auf dem anderen das Ergebnis „FAIL“ ermittelt werden konnte, sind wenn möglich in der folgenden Screeningstufe (Stufe II) weiter untersucht worden. Risikokinder wurden generell in Stufe II noch einmal gescreent, um eine progrediente Hörminderung auszuschließen.

##### **3.1.1.1 Ergebnisse Screen 1**

Von 411 Patienten waren nach Screen 1 388 Patienten mit dem Ergebnis „PASS“ ermittelt worden (Abbildung 12). Dieses Ergebnis beinhaltet die

Auswertung der visuellen BERA und der OAE-Messungen. Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 94,40%.

Bei 23 Patienten wurde das Ergebnis „FAIL“ ermittelt.

### 3.1.1.2 Ergebnisse Screen 2

Alle 23 Patienten mit dem Ergebnis „FAIL“ aus Screen 1 wurden in Screen 2 nachuntersucht. Dabei konnten 15 weitere Patienten als „PASS“ eingestuft werden (Abbildung 12). Auch dieses Ergebnis beinhaltet die Auswertung der visuellen BERA und der OAE-Messungen.

Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 65,22% in Screen 2.

### 3.1.1.3 Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)

Bei den insgesamt gemessenen 411 Patienten, konnten nach Messungen in der Stufe I 403 mit dem Ergebnis „PASS“ gemessen werden. 8 Patienten wurden als „FAIL“ ermittelt. Das entspricht einer prozentualen Verteilung von 98,05% „PASS“ zu 1,95% „FAIL“ nach Stufe I (Abbildung 11).

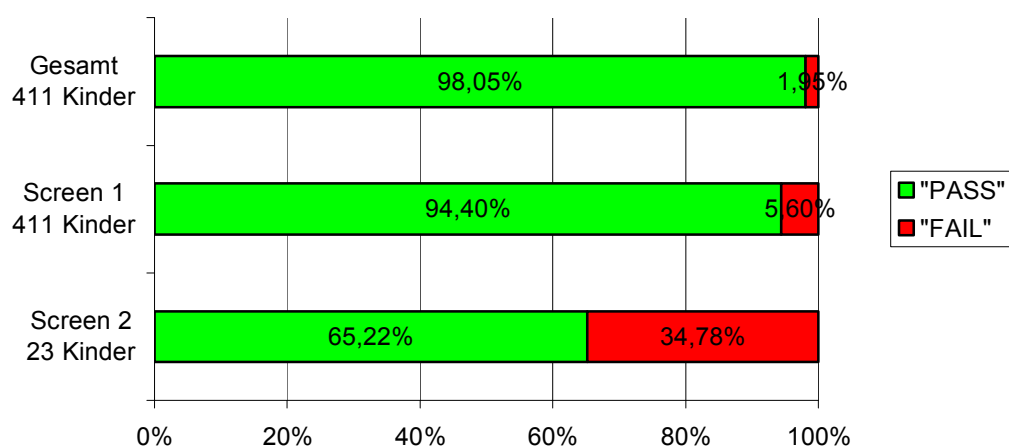


Abbildung 11: Ergebnisse nach Stufe I der patientenbezogenen Auswertung der visuellen BERA mit OAE-Messung

### 3.1.1.4 Gesamtergebnis Stufe II

Von den 8 Patienten, die mit dem Ergebnis „FAIL“ ermittelt wurden, konnten 5 Patienten in Stufe II nachuntersucht werden und mit dem Ergebnis „PASS“ entlassen werden. Bei einem Patienten wurde bei dieser Nachuntersuchung das Ergebnis „FAIL“ bestätigt und dieser zu weiteren pädaudiologischen Untersuchungen vorgestellt. Bei 2 Patienten fehlt das Ergebnis der Nachuntersuchung (Abbildung 12).

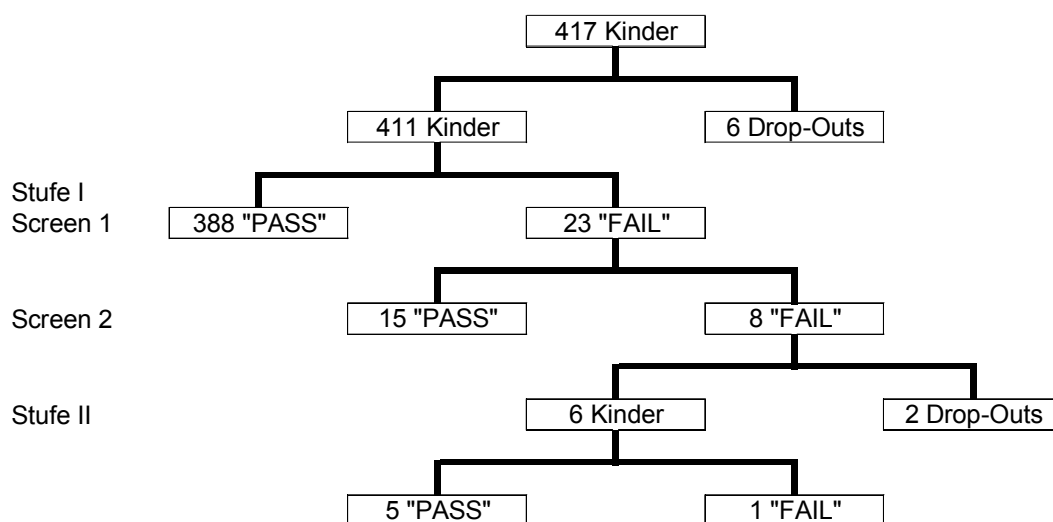


Abbildung 12: Organigramm der patientenbezogenen Auswertung der visuellen BERA mit OAE-Messung

### 3.1.2 Messungsbezogene Auswertung Stufe I (Screen 1 + 2)

In Stufe I wurden insgesamt 538 Messungen mit der visuellen BERA und unterstützend dazu 274 OAE-Messungen durchgeführt. Als Referenz für das Ergebnis „PASS“ oder „FAIL“ dient die visuelle BERA-Messung, das heißt dass nur bei uneindeutigen Antworten bei 40 dB [HL] die OAE-Messung entscheidend für ein „PASS“-Ergebnis war. Daher wird im Folgenden das Gesamtmessergebnis ausgewertet.

### **3.1.2.1 Ergebnisse Screen 1**

Bei den insgesamt 474 Messungen (234 Messungen rechtes und 240 linkes Ohr) wurden 427 Messungen mit dem Ergebnis „PASS“ und 47 Messungen mit dem Ergebnis „FAIL“ ermittelt. Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 90,08% und einer „FAIL“-Rate von 9,92%.

### **3.1.2.2 Ergebnisse Screen 2**

In Screen 2 wurden 64 weitere Messungen durchgeführt, von denen 50 mit dem Ergebnis „PASS“ abschlossen. Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 78,13% und einer „FAIL“-Rate von 21,87%.

### **3.1.2.3 Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)**

Bei den 538 durchgeführten Messungen der visuellen BERA konnten insgesamt 477 mit dem Ergebnis „PASS“ ermittelt werden. 61 Messungen wurden mit dem Ergebnis „FAIL“ abgeschlossen (Abbildung 13). Das entspricht einer prozentualen Verteilung von 88,66% „PASS“ zu 11,34% „FAIL“ nach Stufe I.

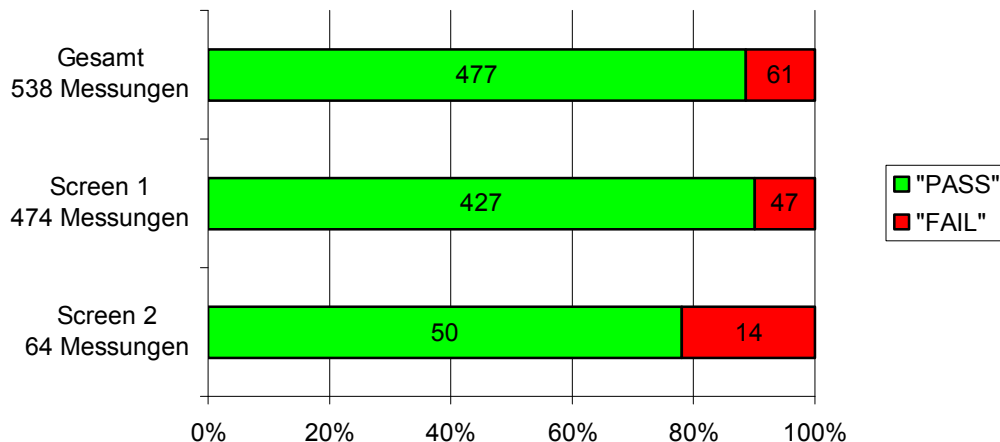


Abbildung 13: Ergebnisse nach Stufe I der messungsbezogenen Auswertung der visuellen BERA mit OAE-Messung

#### 3.1.2.4 Gesamtergebnis Stufe II

In Stufe II erfolgte eine Auswertung von 12 Messungen (pädaudiologische Untersuchung von 6 Patienten). Zwei Messungen waren erneut „FAIL“. Die weiteren 10 Messungen stellten sich als „PASS“ heraus. Das entspricht einer prozentualen Verteilung von 83,33% „PASS“ zu 16,67% „FAIL“ nach Stufe II.

### 3.2 Auswertung Frankfurter Algorithmus

#### (Steady State Potentials – SSP)

##### 3.2.1 Patientenbezogene Ergebnisse Frankfurter Algorithmus

#### (Steady State Potentials – SSP) in Stufe I (Screen 1 + 2)

Die Untersuchungsdaten von 289 Neugeborenen wurden mit dem Frankfurter MB 11 Screener ermittelt und anschließend ausgewertet. In der Regel wurde ein Mal, in Ausnahmefällen bis zu drei Mal gemessen; bei ungünstigen Messbedingungen wurden die Messungen in Screen 2 in der Frauenklinik wiederholt.

Bei Mehrfachmessungen an einem Untersuchungstag war das zuletzt ermittelte Ergebnis ausschlaggebend. Der Grund für die Wiederholung der Messungen war die Unruhe und die Bewegung der Kinder.

Die als Risikokinder eingestuften Neugeborenen wurden generell auf beiden Ohren gemessen.

### **3.2.1.1 Ergebnisse Screen 1**

Nach Abschluss von Screen 1 sind 275 von 289 Kindern mit dem Screeningergebnis „PASS“ entlassen und 14 mit dem Ergebnis „FAIL“ dem Screen 2 zugewiesen worden (Abbildung 15). Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 95,16% und einer „FAIL“-Rate von 4,84%.

### **3.2.1.2 Ergebnisse Screen 2**

Von den 14 in Screen 1 als „FAIL“ getesteten Kindern, konnten in Screen 2 13 mit dem Ergebnis „PASS“ und ein Kind mit dem Ergebnis „FAIL“ nachuntersucht werden (Abbildung 15). Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 92,86% und einer „FAIL“-Rate von 7,14%.

### **3.2.1.3 Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)**

Bei den 289 mit dem Frankfurter MB 11 Screener gemessenen Kindern und der Ermittlung der „Steady State Potentials“ konnten insgesamt 288 mit dem Ergebnis „PASS“ ermittelt werden. Lediglich ein Kind wurde mit dem Ergebnis „FAIL“ für weitere pädaudiologische Untersuchungen vorgestellt. Das entspricht einer prozentualen Verteilung von 99,6% „PASS“ zu 0,4% „FAIL“ nach Stufe I (Abbildung 14).

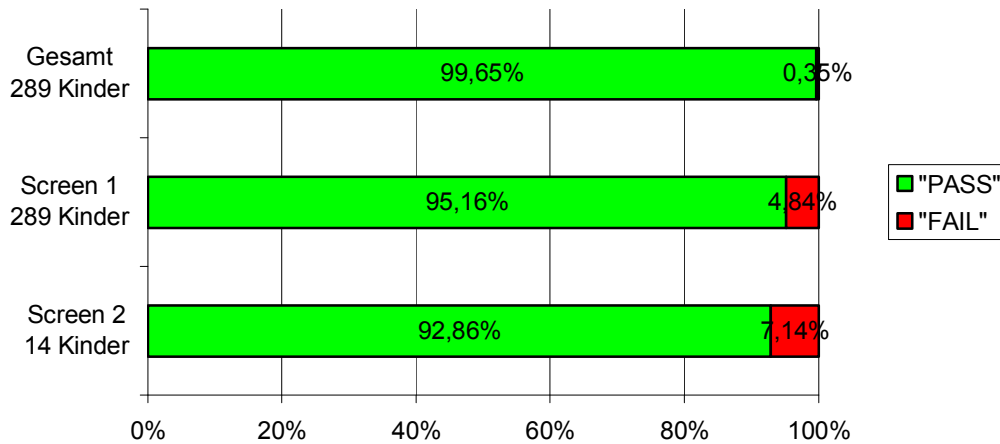


Abbildung 14: Ergebnisse nach Stufe I der patientenbezogenen Auswertung des Frankfurter Algorithmus (SSP)

### 3.2.1.4 Gesamtergebnis Stufe II

In Stufe II erfolgte grundsätzlich kein Screening mit dem Frankfurter MB 11 Screener. Allerdings wurde das Kind, welches bereits in Stufe I als „FAIL“ erkannt worden ist als einziges nachuntersucht, und es konnte das „FAIL“-Ergebnis bestätigt werden (Abbildung 15).

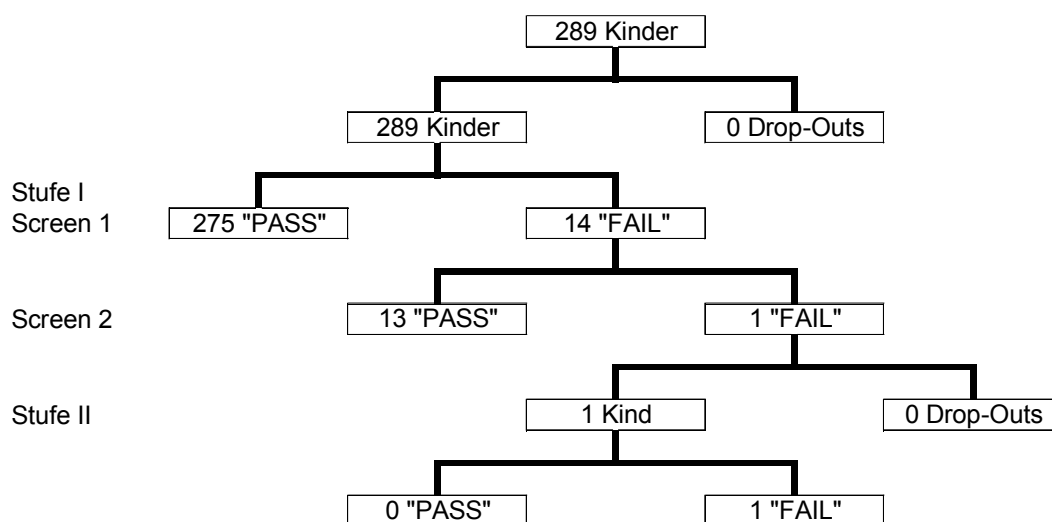


Abbildung 15: Organigramm der patientenbezogenen Auswertung des Frankfurter Algorithmus (SSP)



---

### **3.2.2 Messungsbezogene Ergebnisse Frankfurter Algorithmus (Steady State Potentials – SSP) in Stufe I (Screen 1 + 2)**

In Stufe I wurden insgesamt 380 Messungen mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) durchgeführt. Die höhere Anzahl an Messungen gegenüber der Patientenanzahl liegt darin begründet, dass Mehrfachmessungen bei insgesamt 48 Kindern zu verzeichnen sind. Besonders bei Risikokindern wurde wiederholt (bis zu drei Mal) und auf beiden Ohren gemessen.

#### **3.2.2.1 Ergebnisse Screen 1**

Bei den insgesamt 353 Messungen wurden 286 Messungen mit dem Ergebnis „PASS“ und 67 Messungen mit dem Ergebnis „FAIL“ ermittelt (Abbildung 16). Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 81,02% und einer „FAIL“-Rate von 18,98%.

#### **3.2.2.2 Ergebnisse Screen 2**

In Screen 2 wurden 27 weitere Messungen durchgeführt, von denen 21 mit dem Ergebnis „PASS“ abschlossen (Abbildung 16). Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 77,78% und einer „FAIL“-Rate von 22,22%. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei einem Kind, das definitiv mit dem Ergebnis „FAIL“ zu bewerten ist je drei mal auf jedem Ohr, also sechs Messungen, gemessen wurde und so das prozentuale Ergebnis der Messungen durch ein einziges „FAIL“-Kind zustande kommt.

#### **3.2.2.3 Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)**

Bei den 380 durchgeführten Messungen mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) konnten insgesamt 307 mit dem Ergebnis „PASS“ ermittelt werden.

73 Messungen wurden mit dem Ergebnis „FAIL“ abgeschlossen (Abbildung 16). Das entspricht einer prozentualen Verteilung von 80,79% „PASS“ zu 19,21% „FAIL“ nach Stufe I.

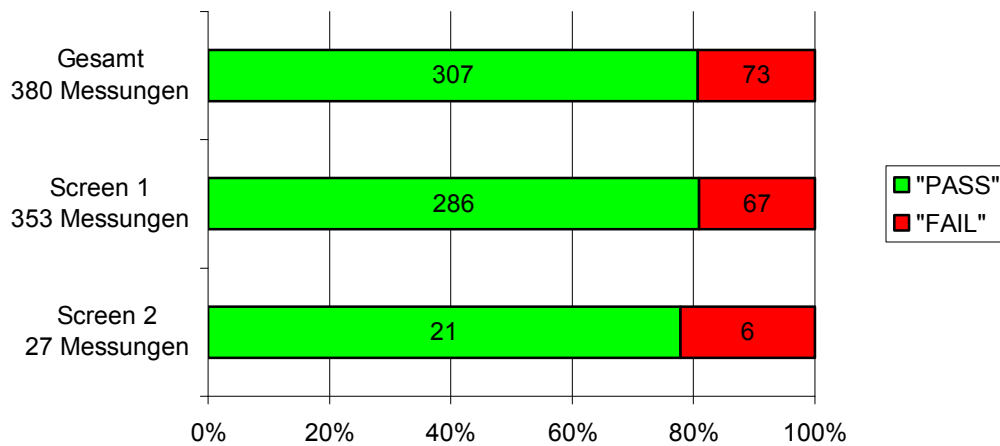


Abbildung 16: Ergebnisse nach Stufe I der messungsbezogenen Auswertung des Frankfurter Algorithmus (SSP)

### 3.2.2.4 Gesamtergebnis Stufe II

In Stufe II erfolgte grundsätzlich kein Screening mit dem Frankfurter MB 11 Screener bis auf den einen genannten Fall, der auf beiden Ohren je dreimal gemessen wurde und die 6 „FAIL“- Messungen verursacht.

## 3.3 Auswertung neue BERA

### 3.3.1 Patientenbezogene Ergebnisse neue BERA in Stufe I (Screen 1 + 2)

Die Untersuchungsdaten von 271 Neugeborenen wurden mit dem neuen BERA, einem automatisierten Auswertalgorithmus, ermittelt und anschließend ausgewertet. In der Regel wurde ein Mal gemessen, in

Ausnahmefällen wurde die Messung anschließend wiederholt. Der Grund für eine Wiederholungsmessung war Unruhe oder Bewegung des Kindes. Die als Risikokinder eingestuften Neugeborenen wurden, wenn möglich auf beiden Ohren gemessen.

### **3.3.1.1 Ergebnisse Screen 1**

Nach Abschluss von Screen 1 sind 266 von 271 Kindern mit dem Screeningergebnis „PASS“ entlassen und 5 mit dem Ergebnis „FAIL“ dem Screen 2 zugewiesen worden (Abbildung 17). Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 98,15% und einer „FAIL“-Rate von 1,85%.

### **3.3.1.2 Ergebnisse Screen 2**

Von den 5 Kindern, die in Screen 1 als „FAIL“ getestet wurden, konnten alle in Screen 2 mit dem Ergebnis „PASS“ entlassen werden (Abbildung 17). Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 100%.

### **3.3.1.3 Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)**

Bei den 271 mit der neuen BERA gemessenen Kindern konnten alle Neugeborenen mit dem Ergebnis „PASS“ ermittelt werden (Abbildung 18), da in dieser Referenzgruppe auch keine „FAIL“ Kinder erkannt wurden. Das entspricht einer prozentualen Verteilung von 100% „PASS“.



Abbildung 17: Ergebnisse nach Stufe I der patientenbezogenen Auswertung der neuen BERA

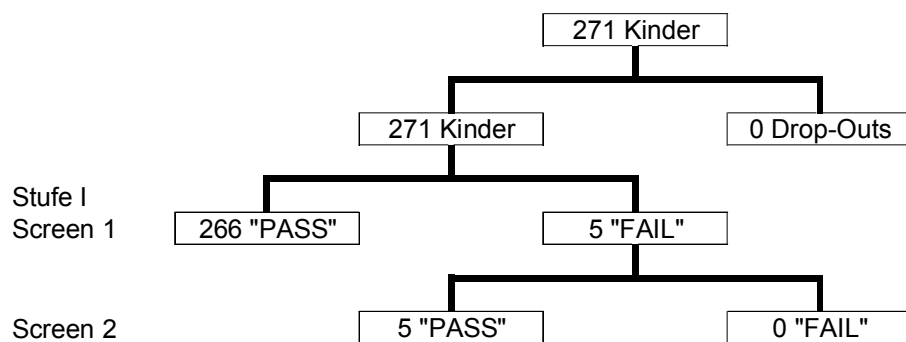


Abbildung 18: Organigramm der patientenbezogenen Auswertung der neuen BERA

### 3.3.2 Messungsbezogene Ergebnisse neue BERA in Stufe I (Screen 1 + 2)

In Stufe I wurden insgesamt 306 Messungen mit der neuen BERA durchgeführt. Die höhere Anzahl an Messungen liegt darin begründet, dass Mehrfachmessungen bei insgesamt 23 Kindern und Risikokindern zu verzeichnen sind. Besonders bei Risikokindern wurde wiederholt (bis zu drei Mal) und auf beiden Ohren gemessen.

### 3.3.2.1 Ergebnisse Screen 1

Bei den insgesamt 285 Messungen wurden 279 Messungen mit dem Ergebnis „PASS“ und 6 Messungen mit dem Ergebnis „FAIL“ ermittelt (Abbildung 19). Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 97,89% und einer „FAIL“-Rate von 2,11%.

### 3.3.2.2 Ergebnisse Screen 2

In Screen 2 wurden 21 weitere Messungen durchgeführt, von denen 21 mit dem Ergebnis „PASS“ abschlossen (Abbildung 19). Das entspricht einer prozentualen „PASS“-Rate von 100%.

### 3.3.2.3 Ergebnisse Stufe I (Screen 1 + 2)

Bei den 306 durchgeführten Messungen mit der neuen BERA konnten insgesamt 306 mit dem Ergebnis „PASS“ ermittelt werden. Das entspricht einer „PASS“-Rate von 100% (Abbildung 19).

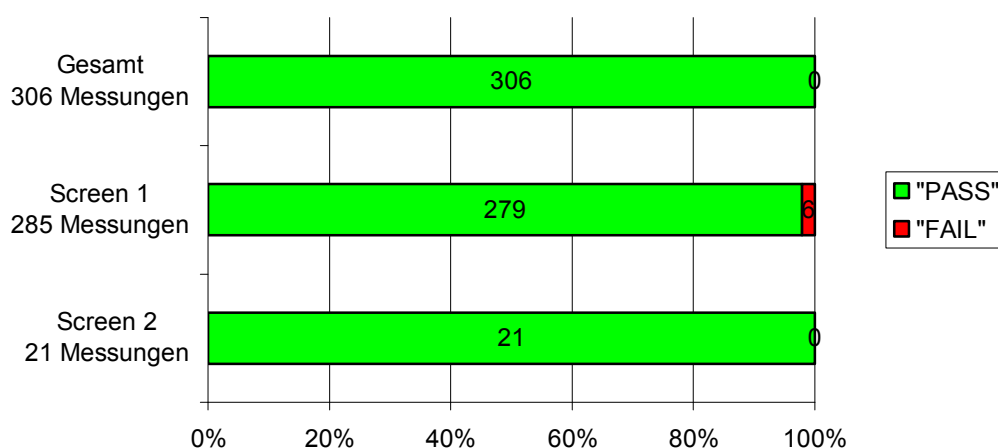


Abbildung 19: Ergebnisse nach Stufe I der messungsbezogenen Auswertung der neuen BERA

### **3.3.2.4 Gesamtergebnis Stufe II**

In Stufe II sind keine Messungen mit der neuen BERA durchgeführt worden.

## **3.4 Messzeitenvergleich für Frankfurter Algorithmus (SSP) und neue BERA**

Die Messzeit wird hier definiert als die Zeitspanne vom Start der Messung am Computer bis zur Darstellung eines Messergebnisses. Betrachtet werden die Messzeiten, die benötigt wurden bei dem jeweiligen System eine Antwort „PASS“ oder „FAIL“ zu erhalten. Die Dauer der Messung wird direkt am Bildschirm nach Beendigung der Messung abgelesen.

### **3.4.1 Messzeit Frankfurter Algorithmus (SSP)**

Ab Ende Juli 2002 wurde bei den Kindern die Messzeit notiert. In die Auswertung flossen die Ergebnisse von 202 Messungen ein. Ausreißer wurden nicht mit in die Statistik einbezogen. Die mittlere Messzeit beim Frankfurter Algorithmus (SSP) betrug 56,88 Sekunden ( $SD = \pm 26,60 \text{ s} / SE = \pm 1,88 \text{ s}$ ).

Die Werte liegen zwischen 10 und 120 Sekunden bei einem Median von 50 Sekunden (Abbildung 20).

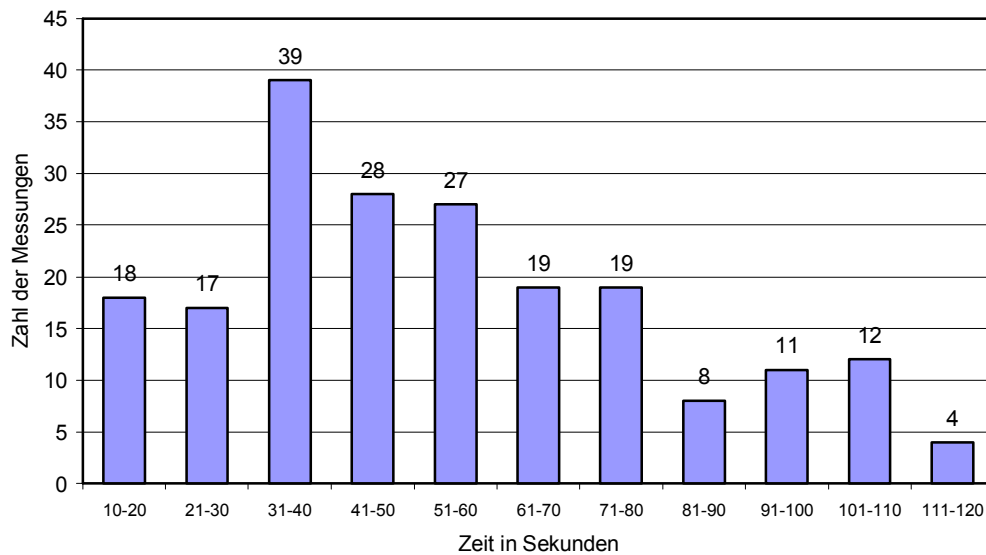


Abbildung 20: Verteilung der Messzeiten mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP)

### 3.4.2 Messzeit neue BERA

Von den 306 durchgeführten Messungen wurde bei 201 Messungen die Messzeit notiert und statistisch ausgewertet. Dabei konnte eine mittlere Messzeit von 126,33 Sekunden ( $SD = \pm 67,10 \text{ s}$  /  $SE = \pm 4,73 \text{ s}$ ) ermittelt werden.

Die Werte liegen zwischen 57 und 406 Sekunden bei einem Median von 107 Sekunden (Abbildung 21).

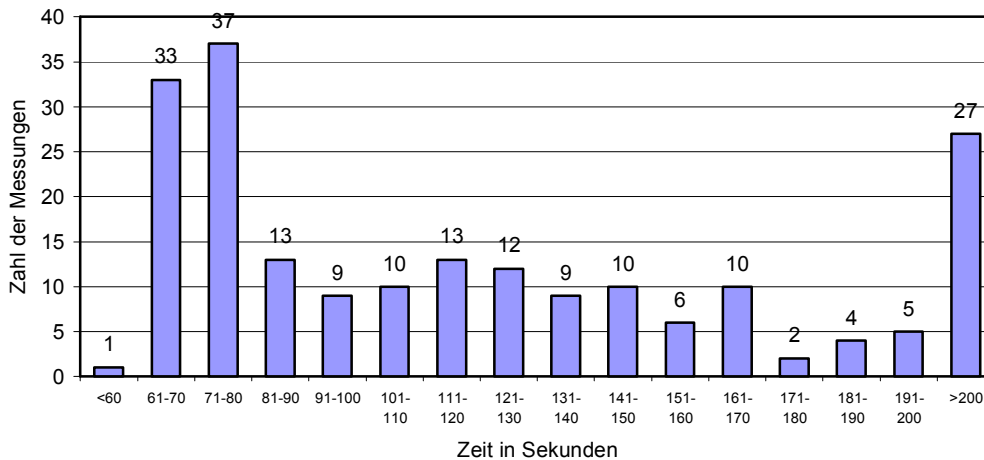


Abbildung 21: Verteilung der Messzeiten mit der neuen BERA

### 3.5 Altersverteilung der Kinder zum Zeitpunkt der Messung

Die Abbildungen 22 und 23 stellen die Altersverteilung der Kinder bei den Messungen mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) basierend auf den Ergebnissen von 3.2 (Abbildung 15) und der neuen BERA basierend auf den Ergebnissen von 3.3 (Abbildung 18) dar. Dabei wird zwischen „PASS“ und „FAIL“-Raten unterschieden.

Es zeigt sich, dass die meisten Neugeborenen innerhalb der ersten drei Lebenstage durch das initiale Hörscreening erfasst wurden, unabhängig davon, ob der Frankfurter Algorithmus (SSP) (85,81%) oder die neue BERA (85,98%) verwendet werden. Auf Grund der zu geringen Datenmenge kann keine eine Aussage über das geeignete Alter zur Messung getroffen werden. Allerdings ist es auffällig, dass beim Frankfurter Algorithmus (SSP) die „FAIL“-Rate innerhalb der ersten 24 Stunden erhöht ist.



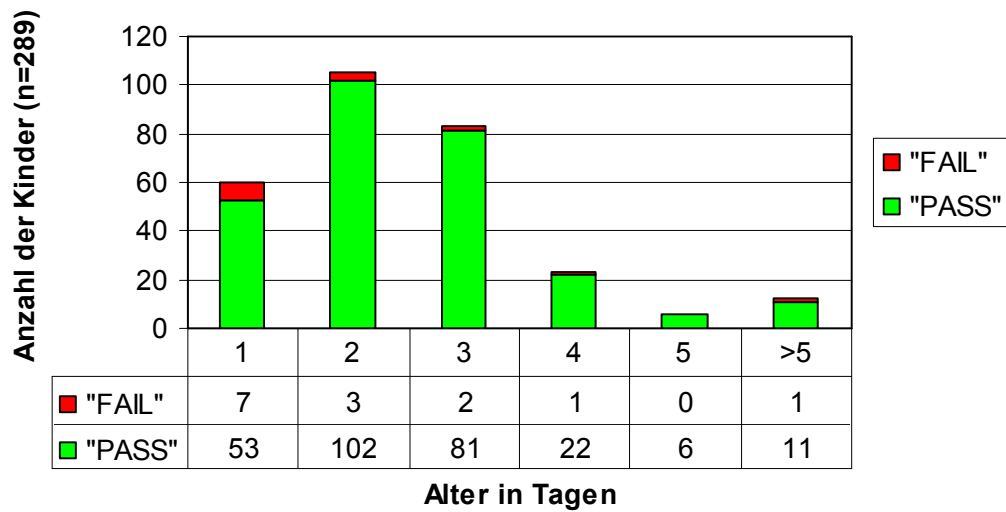


Abbildung 22: „PASS“-„FAIL“-Ratenverteilung in Altersabhängigkeit mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP)

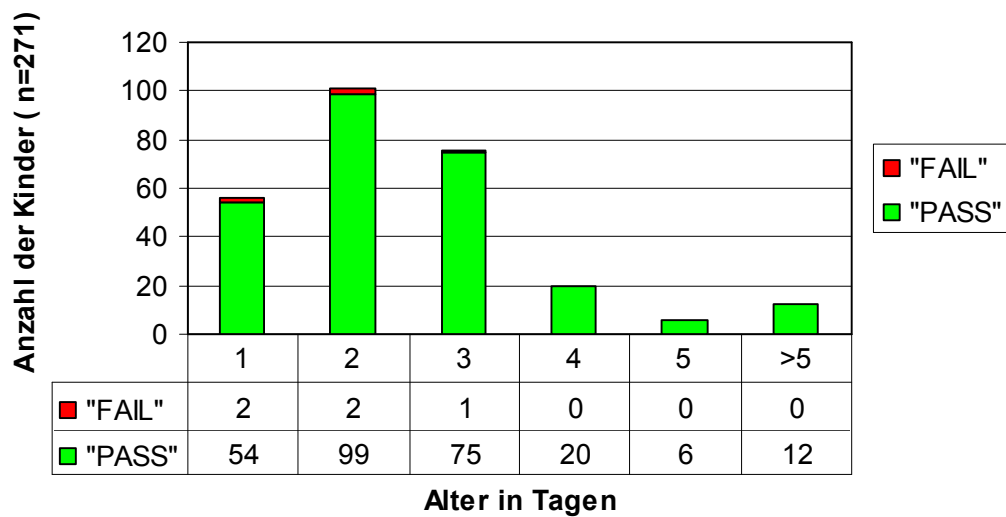


Abbildung 23: „PASS“-„FAIL“-Ratenverteilung in Altersabhängigkeit mit der neuen BERA

### **3.6 Vergleichende Untersuchung der Ergebnisse der beiden automatisierten Auswertverfahren gegenüber der Referenzmessung**

Die visuelle Auswertung einschließlich OAE-Auswertung gilt als Referenz und wurde mit den Ergebnissen der SSP (Abbildung 24) und denen der neuen BERA (Abbildung 25) in Screen 1 Stufe I auf Übereinstimmung verglichen. Als Grundlage für diese Untersuchung dienen die Ergebnisse aus den patientenbezogenen Auswertungen der Referenz, der SSP und der neuen BERA (3.1, 3.2.1.1, 3.3.1.1).

#### **3.6.1 Vergleich des Frankfurter Algorithmus (SSP) mit der Referenzmessung (visuelle BERA mit OAE-Messung)**

Bei 289 Kindern wurden die Ergebnisse der Untersuchungen mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) mit den Ergebnissen der Referenzmessung (visuelle BERA mit OAE-Messung) verglichen. Die Übereinstimmungsrate der „PASS“ und „FAIL“ Ergebnisse liegt bei 94,12% (Abbildung 24). Insgesamt flossen die Ergebnisse von 289 Kindern in die Untersuchung mit ein. Davon waren zehn Kinder übereinstimmend „FAIL“ und 262 Kinder übereinstimmend „PASS“ in Screen 1 Stufe I. 17 weitere Kinder konnten in dieser Screeningstufe als nicht übereinstimmend zugeordnet werden. Dies entspricht einem Prozentsatz von 5,88% (Abbildung 24).

Die Entwicklung der Screeningergebnisse der nicht übereinstimmenden Fälle wurde in weiteren Screeningstufen überprüft. Sechs der 17 Kinder waren nach Screen 1 „PASS“, wohingegen die Referenz erst nach einer weiteren Screeningstufe (Screen 2) die Kinder als „PASS“ bewertet hat. In einem Fall konnte die Stufe II des Referenzscreenings im Untersuchungszeitraum nicht ermittelt werden. Die übrigen zehn Kinder zeigten in Screen 1 ein Ergebnis „FAIL“, obwohl die Referenz zu diesem Zeitpunkt bereits das Ergebnis „PASS“ feststellte. Durch Mehrfachmessungen konnten auch diese mit SSP ermittelten „FAIL“-Ergebnisse als „PASS“ bewertet werden.

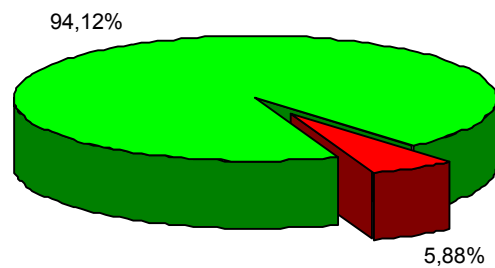


Abbildung 24: Kreisdiagramm mit prozentualer Übereinstimmung Screen1 Stufe I SSP

### 3.6.2 Vergleich der neuen BERA mit der Referenzmessung (visuelle BERA mit OAE-Messung)

Bei 271 Kindern wurden die Ergebnisse der Untersuchungen mit der neuen BERA mit den Ergebnissen der Referenzmessung (visuelle BERA mit OAE-Messung) verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass in Relation zu den Gesamtmessungen eine Übereinstimmung der „PASS“ und „FAIL“-Rate von 95,57% vorliegt. Von 271 Kindern wurden in Screen 1 Stufe I mit dem Ergebnis „FAIL“ vier Kinder übereinstimmend und 255 übereinstimmend mit dem Ergebnis „PASS“ gemessen.

Bei zwölf Kindern war kein übereinstimmendes Messergebnis ermittelt worden. Dabei waren neun Kinder beim nächsten Screening in Screen 2 Frauenklinik übereinstimmend, das heißt diese Kinder wurden mit der neuen BERA in Screen 1 bereits als „PASS“ erkannt, jedoch wich die Referenzmessung mit dem Ergebnis „FAIL“ von diesem Ergebnis ab. Erst in Screen 2 konnte die Referenzmessung das von der neuen BERA ermittelte Ergebnis bestätigen. Dies entspricht einer Übereinstimmungsrate von 98,89% nach Stufe I.

Bei einem Kind konnte in Stufe II des Screenings ein übereinstimmendes Ergebnis erreicht werden. Die neue BERA hat auch hier bereits beim

Screen 1 das Ergebnis „PASS“ angezeigt. Während die neue BERA bereits in Screen 1 Stufe I das „PASS“-Ergebnis präsentierte, benötigte man mit der Referenzmessung zwei weitere Untersuchungen (Screen 2 Stufe I und Stufe II), um das Ergebnis zu erreichen.

Die „PASS“-Ergebnisse mit der neuen BERA in Screen 1 von zwei Kindern konnten anhand der Referenzmessung noch nicht bestätigt werden.

Abschließend lässt sich feststellen, dass bei der neuen BERA niemals das Ergebnis „FAIL“ angezeigt wurde, wenn die Referenz als „PASS“ ermittelt wurde.

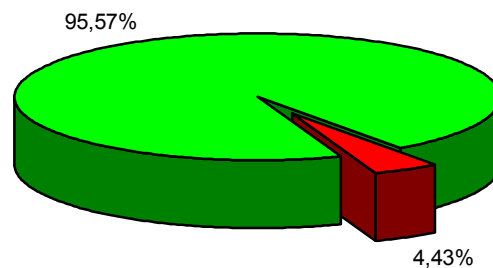


Abbildung 25: Kreisdiagramm mit prozentualer Übereinstimmung Screen1 Stufe I neue BERA

### 3.7 Kosten der automatisierten Screeningverfahren

Die Berechnung der Kosten für die Untersuchung basiert auf dem Vergleich mit den Daten die von Kaufmann (2001) ermittelt wurden. Da es sich hierbei um dasselbe Screeningmodell handelt, kann für die Berechnung von ähnlichen Ausgangswerten ausgegangen werden. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage der Ergebnisse von Stufe I des Screenings.

Dies bedeutet im einzelnen, dass für die Kostenaufstellung für das Neugeborenen-Hörscreening mit automatischen Auswertalgorithmen Personalkosten, Anschaffungskosten für Rechner (Notebook), MB 11

Screeener, BERAphon<sup>®</sup>, Alukoffer und Kosten für Verbrauchsmaterialien einbezogen werden.

Die jährlichen Personalkosten für Medizinisch-technische Assistenten (MTA) oder Kinderkrankenschwester/-pfleger, sowie für Pflegehelfer/-in werden aus dem Bundesangestelltentarif BAT und aus den veröffentlichten Personaldurchschnittskosten entnommen.

Die Ausgangswerte für die Berechnung sind folgendermaßen gegliedert: Im Durchschnitt werden im Jahr ca. 950 Neugeborene an der Frauenklinik untersucht. Da dreimal wöchentlich über 52 Wochen im Jahr gemessen wird, ergeben sich daraus 156 Untersuchungstage. Pro Untersuchungstag werden im Schnitt sechs Kinder untersucht (Tabelle 2). Die Messzeit pro Kind beträgt beim Frankfurter Algorithmus (SSP) pro Kind im Median 50 Sekunden und bei der neuen BERA im Median 110 Sekunden. Daraus ergeben sich reine Messzeiten pro Tag von fünf Minuten für den Frankfurter Algorithmus (SSP) und elf Minuten für die neue BERA (Tabelle 3). Zusätzliche Zeit für die Sicherung und Auswertung der Daten entfällt, da dies gleichzeitig automatisch mit der Messung vom Programm durchgeführt wird. Hinzu kommt allerdings bei beiden Verfahren die Zeit für die Eingabe der Daten des Kindes in den Computer, die Vorbereitung des Kindes zur Messung und nach der Messung, das heißt Auftragen des Elektrodengels und anschließendes Säubern des Kindes. Dafür benötigt man pro Kind jeweils ca. eine Minute – bei sechs Kindern ca. sechs Minuten pro Untersuchungstag.

Die Zeit, die für den Auf- und Abbau, sowie für das Hoch- und Herunterfahren des Systems benötigt wird, fließt mit ca. vier Minuten bei der Berechnung mit ein.

Am Untersuchungstag beträgt die Untersuchungsdauer mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) für das Screening von sechs Kindern ca. 15 Minuten. Mit der neuen BERA benötigt man analog zur Berechnung ca. 21 Minuten (Tabelle 3).

Daraus ergibt sich pro Woche ein Zeitaufwand von ca. 45 Minuten mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) und ca. 63 Minuten mit der neuen BERA.

Die Zeit für das Ausfüllen des Untersuchungsbogens und der Dokumentation im gelben Untersuchungsheft bleibt bei dieser Aufstellung zunächst

unberücksichtigt, da sie bei dieser Untersuchung von einem zweiten Untersucher durchgeführt wurde.

Die wöchentliche Arbeitszeit im öffentlichen Dienst basierend auf den Tarifvertragsbestimmungen beträgt 38,5 Stunden bei Vollbeschäftigung. Für die Berechnungen gehen die anteilige wöchentliche Arbeitszeit mit ein, die beim Frankfurter Algorithmus (SSP) 2% und bei der neuen BERA 2,6% der Wochenarbeitszeit ausmachen. Demgegenüber stehen 11,7% der Wochenarbeitszeit beim Neugeborenen-Screening mit der visuellen Auswertung (Tabelle 3).

Die jährlichen Personaldurchschnittskosten für eine Kinderkrankenschwester/-pfleger oder MTA betragen ca. 37.801 Euro. Für einen Pflegehelfer/-in liegen sie bei ca. 30.953 Euro (Tabelle 1).

Anteilig ergeben sich jährliche Personalkosten für den Frankfurter Algorithmus (SSP) bei der Durchführung der Untersuchung durch eine Kinderkrankenschwester/-pfleger oder MTA von 756,02 Euro und durch eine/n Pflegehelfer/-in 619,06 Euro.

Analog zu dieser Berechnung betragen die jährlichen Personalkosten für die neue BERA bei der Durchführung der Untersuchung durch eine Kinderkrankenschwester/-pfleger oder MTA von 982,83 Euro und durch eine/n Pflegehelfer/-in 804,78 Euro.

Im Vergleich liegen die Werte bei der visuellen Auswertung durch den erhöhten Zeitaufwand um ein vielfaches höher. Sie betragen bei einer wöchentlichen Arbeitszeit von 4,5 Stunden bei der Durchführung der Untersuchung durch eine Kinderkrankenschwester/-pfleger oder MTA von 4.422,72 Euro und durch eine/n Pflegehelfer/-in 3.621,50 Euro.

Da es sich bei dem MB 11 Screener um ein portables System handelt, benötigt man für das Screening nur ein gemeinsames Gerät für die HNO- und Frauenklinik. Die Anschaffungskosten für den Screener, das BERAPHON<sup>®</sup> und den Rechner betragen ca. 7.000 Euro. Verteilt auf einen Zeitraum von fünf Jahren ergeben sich jährliche Gerätekosten in Höhe von 1.400 Euro (Tabelle 3).

Die Kosten für Verbrauchsmaterialien wie Feuchttücher und Elektrodengel werden mit einer Pauschale von 0,30 Euro pro Kind in die Berechnung mit einbezogen (Tabelle 2).

Für das Würzburger Neugeborenen-Hörscreening mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) ergeben sich Kosten bei der Durchführung des Screenings durch eine Kinderkrankenschwester/-pfleger oder MTA in Höhe von

2,27 Euro pro Kind und durch eine/n Pflegehelfer/-in in Höhe von 2,13 Euro (Tabelle 4).

Mit der neuen BERA belaufen sich die Kosten bei der Durchführung des Screenings durch eine Kinderkrankenschwester/-pfleger oder MTA in Höhe von 2,51 Euro pro Kind und durch eine/n Pflegehelfer/-in in Höhe von 2,32 Euro (Tabelle 4).

Vergleichend sind hierzu die Zahlen für das bisher durchgeführte Screening mit visueller Auswertung aufgeführt: Die Gerätekosten belaufen sich etwa auf den doppelten Betrag, das sind ca. 14.000 Euro, da sowohl ein stationäres Gerät für die Frauenklinik wie auch für die HNO-Klinik angeschafft werden muss. Die benötigte Wochenarbeitszeit liegt im Vergleich um bis zu sechsmal höher als es bei der automatisierten Auswertung der Fall ist. Daraus erklären sich auch die höheren Personalkosten, die bei der Durchführung der Untersuchung durch eine Kinderkrankenschwester/-pfleger oder MTA in Höhe von 4.422,72 Euro und bei der Durchführung durch eine/n Pflegehelfer/-in in Höhe von 3.621,50 Euro liegen.

Die Kosten für die Verbrauchsmaterialien (0,30 Euro) sind gleich hoch.

Daraus ergibt sich ein finanzieller Aufwand pro Kind mit dem konventionellen Screening und visueller Auswertung bei der Durchführung der Untersuchung durch eine Kinderkrankenschwester/-pfleger oder MTA in Höhe von 7,60 Euro und bei der Durchführung durch eine/n Pflegehelfer/-in in Höhe von 6,76 Euro (Tabelle 4).

Kinder pro Jahr (52 Wochen)	ca. 950 Kinder	
wöchentliches Screening	3 x ca. 6 Kinder	
jährliche Personalkosten	€ 37.801	Kinderkrankenschwester/ MTA
(Basisjahr 1999)	€ 30.953	Pflegehelfer/-in
Verbrauchsmaterialien	€ 0,30	pro Kind
Vorbereitungszeit pro Kind	ca. 1 min.	
Vorbereitung der Systeme	ca. 4 min.	am Untersuchungstag

Tabelle 2: Konstante Parameter für die Berechnung des Neugeborenen-Hörscreenings

	BERA	SSP	neue BERA
Anschaffungskosten Geräte	ca. € 14.000	ca. € 7000	ca. € 7.000
Messzeit im Median pro Kind	600 sek.	50 sek.	107 sek.
Datensicherung & -auswertung am Untersuchungstag	ca. 30 min.	Ø	Ø
Arbeitszeit am Screeningtag	90 min.	ca. 15 min.	ca. 21 min.
Wochenarbeitszeit anteilig	ca. 11,7%	ca. 2,0%	ca.2,6%

Tabelle 3: Variable Parameter für die Berechnung des Neugeborenen-Hörscreenings

	BERA	SSP	neue BERA
Kinderkrankenschwester / MTA	ca. € 7,60	ca. € 2,27	ca. € 2,51
Pflegehelfer / -in	ca. € 6,76	ca. € 2,13	ca. € 2,32

Tabelle 4: Screeningkosten pro Kind mit verschiedenen Verfahren unter Berücksichtigung von Geräte-, Verbrauchs- und Personalkosten



## **4 Diskussion**

Zur Diskussion stehen im folgenden Kapitel die Ergebnisse der Screeninguntersuchung von zwei automatisierten Untersuchungsmethoden, dem Frankfurter Algorithmus (SSP) und der neuen BERA. Dabei sollen die Ergebnisse mit der Referenz, der visuellen Auswertung mit einschließlic bis zu drei OAE-Messungen verglichen und bewertet werden.

Aber auch die Screeningmethode und das –modell werden bezüglich Praktikabilität, Zeit- und Kostenaufwand diskutiert.

### **4.1 Diskussion der Ergebnisse**

#### **4.1.1 Vergleich von „PASS“ und „FAIL“-Raten der automatisierten Auswertung (Frankfurter Algorithmus (SSP), neue BERA) mit der Referenz**

Bei der Auswertung der Daten wurde strikt zwischen der patientenbezogenen und messungsbezogenen Darstellung der Ergebnisse getrennt. Dies soll der Übersichtlichkeit dienen, da einem Patienten nicht nur eine Messung zugeordnet werden kann, wenn dieser auf beiden Ohren oder mehrfach untersucht wurde. Daraus erklärt sich, dass die Anzahl der Messungen die Anzahl der Patienten übersteigt.

##### **4.1.1.1 „PASS“ und „FAIL“-Raten**

Die Untersuchung mit den zwei automatisierten Auswertungsverfahren erfolgte auf Stufe I des zweistufigen Screeningmodells parallel zur visuellen Auswertung. Die Kinder wurden, falls im zeitlichen Rahmen möglich, mit allen drei Verfahren untersucht. Die Bewertung eines effizienten Hörscreenings erfolgt unter anderem nach der Angabe der initialen „PASS“-Rate, der falsch-positiv Rate und falsch-negativ Rate.

Diese Raten sagen etwas über diejenigen Kinder aus, die zwar gesund, aber als krank erkannt wurden oder über diejenigen, die krank sind, aber als gesund erkannt wurden. Aufgrund der zu niedrigen Zahl an untersuchten Kindern und einer Prävalenz für das Vorkommen einer Hörstörung von ca. 0,02%, kann zurzeit keine Aussage über die falsch-positiv Rate und falsch-negativ Rate gemacht werden. Lediglich durch eine vergleichende Untersuchung zur Referenzmessung, bei der genügend Datenmaterial vorliegt, kann indirekt über die gute Übereinstimmungsrate auf Zahlenwerte in der gleichen Größenordnung (falsch-positiv ca. 2%, keine falsch-negativen Fälle; Shehata-Dieler et al. 2000, 2002) aus vorangegangenen Untersuchungen geschlossen werden.

Die patientenbezogene Auswertung der initialen „PASS“-Rate mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) ergab nach Screen 1 95,16%. Die als „FAIL“ erkannten Kinder wurden in einem weiteren Screening (Screen 2) nachuntersucht. Nach Stufe I (Screen 1 + 2) erhöhte sich diese „PASS“-Rate auf 99,65%.

Im Vergleich dazu konnte mit der neuen BERA nach Screen 1 bei der patientenbezogenen Auswertung eine initiale „PASS“-Rate von 98,15% erreicht werden. In einer Wiederholungsmessung wurden die Kinder in Screen 2 nachuntersucht. Es gab nach Stufe I eine „PASS“-Rate von 100%. Das liegt daran, dass es in diesem untersuchten Kollektiv keine als „FAIL“ zu identifizierenden Kinder gibt. Die Referenz ist in dieser Gruppe ebenfalls zu 100% „PASS“.

Als Referenz dient die visuelle Auswertung der BERA in Verbindung mit der OAE-Messung. Dieses Verfahren hat sich in Würzburg bereits als sichere Screeningmethode im Rahmen eines universellen Neugeborenen-Hörscreenings bewährt.

In Screen 1 erreichte die Referenz bei der patientenbezogenen Auswertung eine „PASS“-Rate von 94,40%. Nach Stufe I erhöht sich diese auf 98,05%.

Im Vergleich zeigt sich, dass sowohl die initialen „PASS“-Raten, wie auch die „PASS“-Raten nach Abschluss von Stufe I, bei den automatisierten Auswertverfahren im Vergleich zur Referenz im gleichen Bereich liegen. Die Differenz in den Zahlen ergibt sich aus den verschiedenen

Untersuchungsgruppen, da nicht alle Kinder lückenlose Testreihen in den drei Untersuchungsmethoden aufweisen.

Erst der Vergleich der messungsbezogenen Auswertung erlaubt eine Aussage über die Gleichwertigkeit und Zuverlässigkeit der automatisierten Verfahren.

Die unterschiedlichen initialen „PASS“-Raten, die sich aus der getrennten patientenbezogenen Frankfurter Auswertung mit 95,16% und der messungsbezogenen Auswertung mit 81,02% ergeben, unterscheiden sich um 14,14% voneinander. Die neue BERA zeigte bei der patientenbezogenen Auswertung eine initiale „PASS“-Rate von 98,15% und bei der messungsbezogenen eine von 97,89% und weicht damit im Gegensatz zum Frankfurter Algorithmus (SSP) um nur 0,26% geringfügig von den beiden nach Patienten und Messungen getrennten Auswertungen ab.

Dies ergibt sich aus der Anzahl der durchgeführten Messungen, die bei mehrfach gescreenten Risikokindern stärker ins Gewicht fallen und damit für einen schlechtere initiale „PASS“-Rate sorgen. Auch in den Folgeuntersuchungen fallen diese Kinder stärker auf und senken damit die „PASS“-Rate bei der messungsbezogenen Auswertung. Aber nicht nur, dass sich das gehäufte Messen von Risikokindern in einer verminderten „PASS“-Rate äußert, auch die Qualität des Verfahrens wird dadurch sichtbar. So fällt besonders auf, dass der Frankfurter Algorithmus (SSP) gegenüber der neuen BERA zusätzliche Messungen erfordert, obwohl die Anzahl an Risikokindern in den untersuchten Gruppen nur geringfügig voneinander abweicht. Es deutet darauf hin, dass die Spezifität des Frankfurter Algorithmus (SSP) geringer einzuschätzen ist als bei der neuen BERA.

Im Vergleich zu früheren Untersuchungen mit ALGO I und II, einem automatisierten BERA-Verfahren, erreichte man „PASS“-Raten bei der patientenbezogenen Auswertung eines mehrstufigen Screeningmodells von 96% (Mason, Herrmann 1998) und nach einem Messdurchgang von 88,5% bis 92% (Doyle et al. 1997, 1998). Eine Steigerung der „PASS“-Raten durch ein mehrstufiges Screening konnte auch in anderen Untersuchungen (Jacobson et al. 1990, Welz-Müller 1998) belegt werden. Dabei war die Steigerung der „PASS“-Raten nicht von der Untersuchungsmethode

entscheidend, sondern abhängig von Spezifität und Sensitivität des verwendeten Verfahrens.

Die Spezifität und Sensitivität lässt sich für die beiden automatisierten Auswertverfahren aufgrund der geringen Zahl an untersuchten Kindern nicht sinnvoll bestimmen. Man kann jedoch annehmen, dass aufgrund der hohen Übereinstimmungsraten zwischen der Referenz dem Frankfurter Algorithmus (SSP) und der neuen BERA die Zahlenwerte für die Referenz für Spezifität von 98% und Sensitivität von 100% (Shehata-Dieler et al. 2000, 2002) sich nahezu übertragen lassen.

Die in dieser Untersuchung verwendeten automatisierten Verfahren haben bei der patientenbezogenen Auswertung hohe initiale „PASS“-Raten, die im Bereich von 95,16% und 98,15% liegen und weisen eine Steigerung der „PASS“-Rate im Laufe des mehrstufigen Screenings auf. Damit liegen die ermittelten Prozentwerte sowohl über den Werten der visuellen Auswertung, als auch der im Literaturvergleich bisher genannten.

#### **4.1.1.2 Übereinstimmung der Screeningergebnisse**

Für die Bewertung einer Screeningmethode reicht nicht nur eine Aussage über die „PASS“-Rate aus, sondern es muss ein direkter Vergleich zu einer bewährten Referenz (visuelle Auswertung / OAE-Messung) erfolgen. Deswegen wurden die patientenbezogenen Daten der automatischen Auswertung nach dem initialen Screen 1 hinzugezogen und auf ihre Übereinstimmung mit der Referenz überprüft. Im Vergleich wurden die Screeningergebnisse von 289 Kindern mit der SSP und von 271 Kindern mit der neuen BERA zur Referenz bewertet.

Die Übereinstimmungsrate „PASS“ und „FAIL“ ist bei beiden automatisierten Verfahren hoch. Sie beträgt beim Frankfurter Algorithmus (SSP) 94,14% und bei der neuen BERA 95,57%. Unterschiede gibt es allerdings bei den nicht übereinstimmenden Fällen, obwohl die Werte allein vom prozentualen Zahlenwert nur geringfügig voneinander abweichen.

Auffallend ist, dass die Auswertung mit der neuen BERA keine Fälle aufweist, bei denen das Screeningprogramm zuerst ein „FAIL“ angezeigt hat,

obwohl die Referenz „PASS“ ist. Umgekehrt verhält es sich bei der Auswertung mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP). Dort ist die Mehrzahl der nicht übereinstimmenden Fälle, zehn von 17 insgesamt, „FAIL“, obwohl mit der Referenz bereits beim einmaligen Messen ein „PASS“ festzustellen war. Nach Mehrfachmessungen zeigt auch das Screening mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) eine Übereinstimmung mit der Referenz an.

Es scheint, dass die neue BERA in diesem Punkt durch eine geringere Wiederholungsrate im Hinblick auf das initiale Screening dem Frankfurter Algorithmus (SSP) überlegen ist. Insgesamt gesehen kann man durch ein angepasstes Screeningmodell auf diese Problematik eingehen. Da in Würzburg ein zweistufiges Modell verwendet wird, können notwendige Mehrfachmessungen zur Verifizierung des ermittelten Ergebnisses zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden.

Ein anderer Ansatzpunkt für die Lösung dieses Problems wäre die Anpassung der Sensibilität des Algorithmus. Die Ursachen für ein Abweichen der SSP von der visuellen Auswertung der Zeitgang-BERA liegen hauptsächlich in niedrigen Wellenamplituden während der Messung begründet. Es bleibt abzuwarten, ob sich durch technische Weiterentwicklung dieses Problem reduzieren oder gar beseitigen lässt.

#### **4.1.2 Altersverteilung zum Zeitpunkt der Messung**

Es konnte gezeigt werden, dass ein dreimaliges Screening pro Woche für die Erfassung von 85,81% (Frankfurter Algorithmus (SSP)), bzw. 85,98% (neue BERA) aller Neugeborenen innerhalb der ersten drei Lebensstage ausreichend ist. Eine Abhängigkeit zwischen fortgeschrittenem Alter des Kindes und Erhöhung der initialen „PASS“-Rate konnte aufgrund des zu geringen Kollektivs nicht festgestellt werden. Um diese Fragestellung näher zu erörtern, müsste eine Untersuchungsanordnung gefordert werden, in der dieselben Kinder mit dem zu testenden System über einen festgelegten Zeitraum alle 24 Stunden gemessen werden.

Eine Auffälligkeit wird bei der Betrachtung der erhöhten „FAIL“-Rate beim Frankfurter Algorithmus (SSP) beim initialen Screening am ersten Lebenstag

der Neugeborenen deutlich. Dies könnte einen Hinweis darauf geben, dass das System bei der Beurteilung dieser Gruppe von Kindern besonders sensitiv eingestellt ist und bei uneindeutigem Messverlauf eher eine Kontrollmessung fordert, als im Vergleich dazu die neue BERA, die von vorneherein bis zu fünf Messung durchführt und damit die Möglichkeit hat, eine Mittelung dieser Messungen vorzunehmen, um in Grenzfällen eindeutige Ergebnisse zu liefern.

Das kann ein Erklärungsansatz für die größere Zahl an „FAIL“-Messungen bei Neugeborenen innerhalb der ersten 24 Stunden mit dem Frankfurter Algorithmus (SSP) gegenüber der neuen BERA sein.

#### **4.2 Die Wahl der Untersuchungsmethode (BERA)**

Subjektive Untersuchungsmethoden werden heute für ein universelles Neugeborenen-Hörscreening nicht mehr in Erwägung gezogen (Joint Committee on Infant Hearing 2002). In der Literatur sind solche Verhaltensbeobachtungen im Vergleich zur BERA beschrieben (Jacobson et al. 1984). Sie stellen sich aufgrund niedriger Sensitivität und Spezifität als ungeeignet heraus. Da die Durchführung subjektiver audiologischer Verfahren bei Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern erschwert ist, muss immer eine Abklärung durch objektive Methoden erfolgen.

Für das universelle Hörscreening werden zwei nicht invasive, objektive Untersuchungsmethoden empfohlen – die Messung der OAE und die BERA (Gesellschaft für Neonatologie und pediatriische Intensivmedizin 2002).

Die Messung der Hirnstammpotentiale wird als hochsensitives und zuverlässiges Testverfahren zur Früherkennung von Hörstörungen im ersten Lebensjahr eingesetzt (Durieux-Smith et al. 1985, Jacobson et al. 1990). Das Verfahren zeichnet sich durch eine sehr gute Sensivität und Spezifität aus (Jacobson et al. 1990, Reuter 2000). Trotz der hohen Validität war es aufgrund des hohen apparativen, personellen und zeitlichen Aufwandes nur bedingt als Screeningmethode geeignet. Erst durch die Entwicklung automatisierter BERA-Verfahren Ende der 80er Jahre (Jacobson et al. 1990) gelang der Durchbruch als Screeningmethode.

### 4.3 Ansatzpunkte bei der Entwicklung der automatisierten BERA

Das Würzburger Screeningmodell zeigt, dass die Verwendung des BERAphons<sup>®</sup> eine durchaus praktikable und effektive Methode beim Neugeborenen-Hörscreening darstellt (Shehata-Dieler et al. 2002). Allerdings gibt es einige Nachteile, wie die relativ lange Messzeit, die Erfordernisse an das Personal bei der Durchführung und Auswertung der Messung, sowie die hohen Kosten (Apparat- und Personalkosten). Es wurde sich zum Ziel gesetzt, diese Nachteile zu minimieren und das Verfahren zugunsten einer besseren Effektivität zu verändern.

Ein Ansatzpunkt war die Einführung des BERAphons<sup>®</sup> mit Zeitgangreiz (Finkenzeller 1994) für ein universelles Neugeborenen-Hörscreening. Auf diese Weise konnte auf ein Kleben von Elektroden verzichtet und somit Zeit und Geld durch Vermeidung von Einmalartikeln eingespart werden.

Da gleichzeitig Stimulusintensitäten von 40 dB [HL] bis 60 dB [HL] getestet werden können, wird hierbei eine Zeitersparnis bei der Messung durch den Zeitgangreiz erreicht.

Obwohl die Durchführung der Messung auf diese Weise erheblich vereinfacht und verkürzt wurde, bestanden die Anforderungen an das Personal weiterhin.

Darauf aufbauend lag der Focus darauf, den Ablauf und die Auswertung der Messung zu vereinfachen. Mit Hilfe der automatischen Auswertung erübrigt es sich, Personal für die visuelle Auswertung und Kennzeichnung der Kurven anzulernen.

Die Entscheidung, ob eine Messung erfolgreich mit einem Ergebnis abgeschlossen werden konnte, hing bisher von der Erfahrung des Untersuchers ab. Dieser musste nach etwa 500 bis 2000 Sweeps selber entscheiden, ob eine Reizantwort im Wellenmuster zu erkennen ist und die Messung damit abgeschlossen werden kann. Danach konnte erst durch Markierung und Auswertung der Kurven am Computer und nach Rücksprache mit einem erfahrenen Audiologen ein abschließendes Screeningergebnis ermittelt werden. Erst zu diesem Zeitpunkt stellte sich heraus, ob eine verwertbare Messung vorlag oder erneut gemessen werden musste, das wiederum zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand bedeutete.

Ein Computerprogramm kann mit Hilfe eines statistischen Verfahrens nach definierten Kriterien während der Messung die Auswertung der Screeninguntersuchung vornehmen, ohne dass zwischen Untersuchungs- und Auswertungszeitpunkt Zeit benötigt wird. Unmittelbar nach dem Screening steht ein Ergebnis („unauffällig“ oder „Kontrolle empfohlen“) fest. Zudem wird durch die automatische Auswertung der für das Screening zuständige Arzt bei der Interpretation der Messkurven entlastet, vorausgesetzt es handelt sich um ein Verfahren mit hoher Validität und Effektivität. Der für die Nachsorge zuständige Arzt kann sich nun auf die Fälle konzentrieren, die bei dem Screening ein „FAIL“ Ergebnis aufweisen, da diese entsprechende Nachkontrollen und rechtzeitige pädaudiologische Untersuchungen und Therapie erfordern.

Einen weiteren Vorteil bietet diese schnelle Auswertung den Eltern des untersuchten Neugeborenen. Unmittelbar nach der Messung haben die Eltern Gewissheit über das Hörvermögen ihres Kindes.

Aber nicht nur der Zeitraum bis zum Feststellen eines Screeningergebnisses verkürzt sich, sondern auch die Messzeit per se. Der Frankfurter Algorithmus (SSP) benötigt für die Messung im Mittel 56,88 Sekunden (00:56 Minuten, SE=

$\pm 1,88$  s) und die neue BERA 126,00 Sekunden (2:06 Minuten, SE=  $\pm 4,73$  s). Im Vergleich dazu benötigte man für die Referenzmessung mit visueller Auswertung bei einer früheren Untersuchung 246 Sekunden (4:06 Minuten) reine Messzeit für die Untersuchung. Das bedeutet, dass allein durch die Verkürzung der Messzeit auf ca. ein Viertel beim Frankfurter Algorithmus (SSP) und um ca. die Hälfte bei der neuen BERA gegenüber der konventionellen Methode ein erheblicher Zeitgewinn durch die automatisierten Auswertverfahren zu verzeichnen ist.

In weiteren Untersuchungen mit automatisierten Auswertverfahren werden mittlere Messzeiten zwischen 25 Minuten (van Straaten 1996), 15 Minuten (Mason und Herrmann 1998) und 7,1 Minuten (Stewart et al. 2000) genannt. Es ist zu berücksichtigen, dass bei diesen Untersuchungen jeweils unterschiedliche Methoden verwendet wurden und die Messzeiten nur bedingt vergleichbar sind. Doch bekommt man im Zahlenverhältnis eine



Orientierung, wie kurz die Messzeiten in dieser vorliegenden Untersuchung sind.

Für die Auswertung der Untersuchung bei den automatisierten Untersuchungsmethoden wird kein speziell geschultes Personal benötigt, für die Durchführung der Messung kann Stationspersonal angelehrt werden. Die Tätigkeit bei der Durchführung des Screenings beschränkt sich auf das Starten des Programms, Notieren der Untersuchungsdaten, Vorbereiten des Kindes, das heißt Auftragen von Elektrodengel auf die Ableitungspunkte der Haut des Kindes, Aufsetzen des BERAphons<sup>®</sup>, Starten der Messung bis zur Anzeige des Ergebnisses und Reinigung des Kindes.

Der Untersucher kann selbständig den Zeitpunkt entscheiden, wann die Messung, vorzugsweise beim schlafenden Kind, durchgeführt werden kann. Damit lässt sich das Neugeborenen-Hörscreening komplikationslos in den Stationsablauf integrieren. Denn die Messung an unruhigen Kindern ist häufig problematisch, führt zu unnötigen Verzögerungen und oft zur Wiederholung der Messung.

Die Möglichkeit eines portablen Meßsystems, wie in dieser Untersuchung verwendet, ermöglicht die örtliche Unabhängigkeit bei der Durchführung des Screenings. Diese Flexibilität erfüllt alle Anforderungen an ein angepasstes Screeningmodell. So kann nicht nur der Zeitpunkt der Messung, sondern auch der Ort bestimmt werden, an dem das Screening durchgeführt werden kann. Diese Standortunabhängigkeit ermöglicht es, nur ein Gerät an unterschiedlichen Kliniken zu verwenden, ohne dass eine Mehrfachanschaffung notwendig wird. Dadurch können die Investitionskosten für das Screening bei gleichzeitig höherer Auslastung des Gerätes niedrig gehalten werden und entsprechen den wirtschaftlichen Erfordernissen im staatlichen Gesundheitswesen.

Mit den automatisierten Verfahren werden nicht nur die Anforderungen an das Personal – es können Kinderkrankenschwestern/-pfleger, MTAs oder Pflegehelfer/-innen eingesetzt werden – gesenkt, sondern auch die damit in Verbindung stehenden Personalkosten. Diese werden durch die Herabsetzung der benötigten Arbeitszeit auf 2% der Wochenarbeitszeit beim Frankfurter Algorithmus (SSP) und 2,6% der Wochenarbeitszeit bei der neuen BERA zusätzlich reduziert. Vergleichend stehen demgegenüber die

mit 11,7% bis zu sechsmal höhere Wochenarbeitszeit beim Neugeborenen-Screening mit der konventionellen visuellen Auswertung, die zudem speziell qualifiziertes Personal erfordert.

Die Materialkosten für die Verbrauchsmaterialien sind bei diesen Berechnungen unerheblich, da sie mit 0,30 Euro pro Kind kaum ins Gewicht fallen und bei allen drei in dieser Untersuchung verwendeten Verfahren nahezu konstant bleiben.

Insgesamt betrachtet belaufen sich die Kosten pro untersuchtes Kind beim Würzburger Hörscreening auf 2,27 Euro (Frankfurter Algorithmus (SSP)), 2,51 Euro (neue BERA) und 7,60 Euro (konventionelles Screening mit visueller Auswertung) bei der Durchführung des Screenings von einer/einem Kinderkrankenschwester/-pfleger. Diese Kosten können bei der Durchführung des Neugeborenen-Hörscreenings durch einen/eine Pflegehelfer/-in auf 2,13 Euro (Frankfurter Algorithmus (SSP)), 2,32 Euro (neue BERA) und 6,76 Euro (konventionelles Screening mit visueller Auswertung) reduziert werden.

Im Vergleich zu einer Studie von Mason und Herrmann (1998), die mit einem anderen automatisierten Screeningverfahren auf Hawaii Neugeborene untersuchten, belaufen sich die Screeningkosten pro Kind auf 17 US-Dollar und liegen damit um ein vielfaches höher, als in der vorliegenden Arbeit.

Die automatisierten Auswertverfahren unter Verwendung der BERA haben sich als eine effektive Methode herausgestellt, um lange Messzeiten, die Erfordernisse an das Personal bei der Durchführung und Auswertung der Messung, sowie die hohen Kosten (Apparate- und Personalkosten) bei gleichzeitiger örtlicher Flexibilität durch ein portables System zu senken.

Die in der Literatur genannten Einschränkungen, hoher apparativer, personeller und zeitlicher Aufwand für die Verwendung der automatisierten BERA als Screeningmethode können in der vorliegenden Arbeit widerlegt werden.

#### 4.4 Möglichkeiten und Grenzen der Methode

Voraussetzung für ein sicheres Untersuchungsergebnis der BERA-Messung ist das Herausfiltern von Artefakten und die Untersuchung in geräuscharmer Umgebung bei motorischer Ruhe und Entspannung der Probanden.

Als größten Störfaktor für die evozierten Potentiale und die damit verbundene Entstehung von Artefakten gilt vorhandene Muskelaktivität. Daher wird für ein reproduzierbares Screening bei Neugeborenen und Säuglingen natürlicher Schlaf, bei älteren Kindern hingegen eventuell eine Sedierung oder Narkose postuliert.

Ferner gilt als Grundvoraussetzung ein intakter Schalleitungsweg, damit der emittierte Klickreiz aufgenommen und neuronal verarbeitet werden kann. Dies führt physiologisch zu einer sicheren Reizantwort, die dann innerhalb des EEG abgeleitet werden kann, aber von mehreren Faktoren abhängig ist.

Als innere Störfaktoren beeinflussen die Aufmerksamkeit des Kindes, die mangelnde Synchronisation der evozierten Potentiale, das Aufkommen von Muskelpotentialen und vom Gehirn gleichzeitig ausgeführten Überwachungs- und Koordinationsaufgaben die evozierten Potentiale.

Als äußere Störfaktoren kommen das Netzrauschen, Änderungen der Elektrodenauflagefläche, vermehrtes Schwitzen des Kindes sowie akustische Einflüsse aus der Umgebung hinzu.

Die durch diese Störungen induzierten Latenzschwankungen, Amplituden- und Potentialänderungen verursachen mit wachsender Mittelungsdauer eine Verkleinerung des Potentials und damit seine erschwerte Identifizierung.

Mit Hilfe von eingesetzten statistischen Modellen bei den automatisierten Screeningmethoden erfolgt eine automatische Artefaktunterdrückung, das bedeutet, dass bei zu hohem Artefaktaufkommen die Messung neu gestartet wird. Bei der visuellen Auswertung hingegen muss der Untersucher das Artefaktaufkommen beobachten und selbst entscheiden, ob eine Messung wiederholt werden muss.

Neben den inneren und äußeren Störfaktoren kommen Abweichungen bei pathologischen Veränderungen physiologische, pharmakologische und

technische Faktoren hinzu, die die Latenz und Amplitude beeinflussen können.

Bei der Verwendung von OAE-Geräten ist ein intakter Schalleitungsweg notwendig, da hier zur Messung Ohrsonden in den äußeren Gehörgang eingeführt werden müssen. Direkt nach der Geburt sind der äußere Gehörgang und das Mittelohr häufig mit Vernix caseosa und Fruchtwasser gefüllt, welche die Schalleitung behindern und die Anwendbarkeit dieser Geräteart daher einschränken.

Die BERA-Untersuchungen sind weniger empfindlich gegenüber solchen Schalleitungsbehinderungen. Der angebotene Klickreiz wird über einen Kopfhörer abgegeben und nicht über Ohrsonden, die verstopfen können. Die Ableitung der Potentiale erfolgt mit Hilfe der Fernfeldtechnik über Hautelektroden. Über die Erhöhung der Reizpegel ist trotz Schalleitungsstörung eine Ableitung der FAEP möglich. Der erfahrene Untersucher wird zudem nach Beurteilung der Latenz und Amplitude eine vorübergehende Schalleitungsstörung erkennen. Eine zeitlich versetzte Nachuntersuchung wird zum Ausschluss einer Hörstörung notwendig sein.

Einen wichtigen Beitrag zur Hörschwellenbestimmung liefert das Erkennen der Welle V Antworten bei der visuellen Auswertung. Diese kann nämlich als einzige bis an der Hörschwelle abgeleitet werden.

Bei den automatisierten Verfahren übernimmt ein statistisches Programm anhand von definierten Kriterien das Erkennen spezifischer Wellenkomplexe. Die Darstellung dieser Wellenmuster ermöglicht es dem versierten Untersucher, die automatisierte Auswertung nachzuvollziehen (neue BERA – Messbildschirm, Abbildung 9). Er findet seine subjektive Bewertung vom Programm bestätigt, was das Vertrauen in die automatisierte Auswertung stärkt. Beim Frankfurter Algorithmus (SSP) hingegen lassen sich die typischen Wellenmuster (Abbildung 8) auch vom geübten Untersucher nicht erkennen. Das kann Zweifel gegenüber dem Untersuchungsergebnis aufkommen lassen, da es für den Untersucher nicht nachvollziehbar ist. Für den unqualifizierten Untersucher, der für ein Neugeborenen-Hörscreening mit einem automatischen Auswertungsverfahren angeleitet werden kann, ist die Beurteilung des Wellenmusters für ein Screeningergebnis nicht notwendig.

Die neue BERA scheint daher eher für audiologisch qualifiziertes Personal geeignet zu sein, da dieses Programm über ein Screening hinaus auch für die Diagnostik verwendet werden kann. Sie ist sichtbar an der konventionellen BERA mit visueller Auswertung angelehnt, nicht nur optisch, sondern auch bei ihrer Bewertung. Damit ergibt sich ein größerer Einsatzbereich in Screening und Diagnostik für die neue BERA.

Die Vorzüge der neuen BERA liegen damit auf der Hand. Es können Störungen im Bereich der Hörbahn, noch vor einer radiologischen oder neurologischen Diagnose, mit hoher Sensivität erkannt werden. Es werden kongenitale Fehlbildungen des peripheren und zentralen auditorischen Systems entdeckt, somit kann die Behandlung und Förderung des Kindes rechtzeitig beginnen.

Die elektronische Datenerfassung bietet eine erhebliche Erleichterung beim Durchführen des Screenings. Sie dient der Aufnahme, Weiterverarbeitung, Darstellung und Speicherung der Messsignale im Rechnersystem sowie der reizsynchrone Addition der Messdaten über die Mittelungstechnik und dem Aufbau eines charakteristischen Potentialmusters bei adäquater Reaktion des Hörsystems der Versuchsperson. Die patientenbezogenen Daten stehen jederzeit auf dem Rechner zur Verfügung. Die Datenbank zeigt sämtliche Patienten in alphabetischer Reihenfolge an, die für das Screening aufgenommen worden sind. Beim Betrachten der einzelnen Patientendaten lässt sich auch das Screeningergebnis einsehen. In einem erweiterten Modus kann auch der Messverlauf betrachtet werden. Wünschenswert ist die Einbindung der patientenbezogenen Daten die auf dem Untersuchungsbogen (Anhang 2, Anhang 3) eingetragen werden. Im Rahmen des vom Gesetzgeber geforderten Qualitätsmanagements in der Medizin werden damit alle relevanten Daten zentral erfasst. In einem speziellen Datenbankprogramm können die Patienten dann nach unterschiedlichen Gruppen, z.B. nach Screeningstufen und -ergebnis, geordnet betrachtet werden. Gleichzeitig besteht dadurch die Möglichkeit, auffällig gescreente Kinder über dieses Datenbanksystem zu reevaluieren und statistische Auswertungen vorzunehmen.

#### 4.5 Das Screeningmodell

Im September 2002 wurde das deutsche Konsensuspapier 4.0 verabschiedet, welches die Empfehlungen für ein universelles Hörscreening enthält. Anhand dieser Empfehlungen soll geprüft werden, ob das in Würzburg durchgeführte Hörscreening diesen entspricht.

Wie in den Empfehlungen gefordert, findet in Würzburg ein universelles Neugeborenen-Hörscreening im Rahmen eines qualitätsgesicherten Programms statt. Dieses wird zentral von Mitarbeitern der Hals- Nasen- und Ohrenklinik koordiniert und sichert die gesamte Versorgungskette vom initialen Screening, über ein Rescreening bis hin zur Therapie.

Das Screening soll innerhalb der ersten Lebenstage durchgeführt werden. Dies ist durch ein dreimaliges Screening pro Woche in Würzburg gewährleistet. Zurzeit erfolgen die Messungen stationär durch Personal der pädaudiologischen Abteilung in der Frauenklinik. Ein ambulantes Screening ist in der pädaudiologischen Abteilung der HNO-Klinik für Fremd- und Risikokinder ebenso möglich. Die Überwachung der Messung und die Beurteilung des Untersuchungsergebnisses führt im Rahmen der Qualitätssicherung derzeit eine spezialisierte Ärztin durch. Die Untersuchung wird, wie gefordert, im gelben Untersuchungsheft und im Untersuchungsprotokoll dokumentiert. Mitarbeiter der Elektrophysiologie kontrollieren die Erfassung aller Neugeborenen und sorgen für die Instandhaltung der technischen Gerätschaften.

In Würzburg wird für das universelle Neugeborenen-Hörscreening ein BERA-Verfahren mit hoher Sensitivität und Spezifität (größer 96%) verwendet. Damit entspricht das Würzburger Screening den aktuellen Forderungen für die Durchführung eines Screenings unter Verwendung der TEOAE oder der BERA.

Durch das bewährte zweistufige Screeningmodell kann außerdem die falsch-positiv Rate gesenkt und die Effektivität des Verfahrens gesteigert werden. Auch die Erfassungsquote der in der Frauenklinik geborenen Neugeborenen liegt mit 98,6% über dem postulierten Anteil von 95%. Allerdings muss geprüft werden, ob dies auch für den gesamten Landkreis Würzburg zutrifft.

Der Forderung nach Diagnosesicherung für auffällige Kinder bis zum dritten Lebensmonat und der Therapieeinleitung innerhalb der ersten sechs Lebensmonate wird in Würzburg durch die zentrale Koordination der pädaudiologischen Abteilung und der Durchführung der notwendigen Maßnahmen in der HNO-Klinik entsprochen. Durch die apparative sowie personelle Ausstattung an der HNO-Klinik, der Kinderklinik und an der Frauenklinik Würzburg wird die Qualität des Screeningprogramms gesichert. Ferner sind durch die gegebene interdisziplinäre Zusammenarbeit der verschiedenen klinischen Abteilungen das Screening, die Diagnose und die Therapie in ihrer Abfolge gewährleistet.

Damit entspricht das Würzburger Neugeborenen-Hörscreening in allen Punkten den im Konsensuspapier 4.0 (Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin, Hannover 2002) formulierten Empfehlungen. Bei der Durchführung des Screenings mit einem automatisierten Untersuchungsverfahren, wie in der vorliegenden Arbeit beschrieben, kann auf die in Würzburg bestehenden Rahmenbedingungen aufgebaut werden, so dass auch weiterhin diesen Empfehlungen entsprochen werden kann.

## 5 Zusammenfassung

In Würzburg wurden in einem bewährten zweistufigen Neugeborenen-Hörscreening (NHS)-Modell seit August 1997 bis August 2005 über 10.000 Kinder mit Zeitgang-BERA und BERAphon<sup>®</sup> untersucht. Von Mai 2002 bis September 2002 wurde zusätzlich mit zwei automatischen Auswertungsverfahren gescreent.

Der Frankfurter Algorithmus basiert auf der Aufzeichnung von Steady State-Hirnstammpotentialen (SSP) bei 40 dB und statistischer Auswertung in Kombination mit dem BERAphon<sup>®</sup>.

Die neue BERA hingegen ist ein statistisches Verfahren unter Verwendung des Zeitgangreizes und des BERAphons<sup>®</sup>, die auf den Kriterien der visuellen Auswertung basiert.

In dieser Untersuchung wurden 418 Neugeborene mit der Zeitgang-BERA und visueller Auswertung (Referenz) und zusätzlich mit dem SSP, sowie mit der neuen BERA untersucht. Die initiale „PASS“-Rate liegt bei der Referenz bei 94,40%, beim SSP bei 95,16% und bei der neuen BERA bei 98,15%. Nach Screeningstufe I kam es zu einer Erhöhung der „PASS“-Rate bei der Referenz auf 98,05%, beim SSP auf 99,60% und bei der neuen BERA auf 100%. Beide automatischen Auswertungsmethoden stimmen in den meisten Fällen mit den Ergebnissen der Referenz überein.

Die Messzeit konnte gegenüber der Referenzzeit auf etwa ein Viertel (SSP, 56,88 Sekunden  $\pm$  2,3 Sekunden (SE)), bzw. auf die Hälfte (neue BERA, 126,33 Sekunden  $\pm$  4,73 Sekunden (SE)) gesenkt werden.

Die Kosten für das Neugeborenen-Hörscreening konnten auf 2,13 Euro (SSP) bzw. 2,32 Euro (neue BERA) pro Kind bei der Durchführung der Messung durch eine Hilfskraft verringert werden.

Es konnte gezeigt werden, dass beide automatisierten BERA-Verfahren den apparativen, personellen und zeitlichen Aufwand gegenüber dem Referenzverfahren deutlich vermindern. Beide automatischen Auswertungsverfahren, die SSP und die neue BERA, bieten sich als eine zuverlässige und vor allem kostengünstige Methode für das Neugeborenen-Hörscreening an.



## 6 Anhang

  
**Universitätsklinikum Würzburg**  
 Klinikum der Bayerischen 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-"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 BERA\*-Messung untersucht. Der Test wird auf der Neugeborenenstation, in der Kinder- oder HNO-Klinik durchgeführt.

Aus dem BERAPHON®, einer Kombination aus Lautsprecher und drei Ableitelektroden, 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 !!!**

\*Brainstem Evoked Response Audiometry = akustisch evozierte Potentiale in einem speziellen Hirnstrombild (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	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 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/r 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="radio"/> OAE	<input type="radio"/> BERA
	<input type="radio"/> auffällig	<input type="radio"/> auffällig
	<input type="radio"/> unauffällig	<input type="radio"/> unauffällig
Links:	<input type="radio"/> OAE	<input type="radio"/> BERA
	<input type="radio"/> auffällig	<input type="radio"/> auffällig
	<input type="radio"/> unauffällig	<input type="radio"/> 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. Shehata-Dieler  
Leitende Ärztin für Audiologie

## 7 Literaturverzeichnis

- 1 Albegger KW (1998) Gibt es kritische Perioden in der kindlichen Sprachentwicklung? HNO 46: 2-6
- 2 Bartoshuk AK (1962) Human neonatal cardiac acceleration to sound: habituation and dishabituation. Percept Mot Skills 15: 15-27
- 3 Baumann U, Schorn K (2001) Early detection of pediatric hearing loss. Visual and automated procedures compared. HNO 49(2): 118-125
- 4 Bennett MJ (1979) Trials with the auditory response cradle: Neonatal responses to auditory stimuli. Br J Audiol 13: 125-134
- 5 Betke K, Lampert F, Riegel K (1991) Elementare Pädiatrie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- 6 Boshuizen HC, van der Lem GJ, Kauffman-de Boer MA, van Zanten GA, Oudesluys-Murphy AM, Verkerk PH (2001) Costs of different strategies for neonatal hearing screening: a modelling approach. Arch Dis Child Fetal Neonatal 85(3): F177-181
- 7 Bretschneider J, Maier H, Hess M, Leuwer R (2001) Use and results of universal newborn hearing screening with ALGO portable device. Laryngorhinotologie 80(7): 357-364
- 8 Clemens CJ, Davis SA (2001) Minimizing false-positives in universal newborn hearing screening: a simple solution. Pediatrics; 107(3): E29
- 9 Clemens CJ, Davis SA, Bailey AR (2000) The false-positive in universal newborn hearing screening. Pediatrics 106(1): E7
- 10 Davis A, Parving A (1993) Towards appropriate epidemiological data on childhood hearing disability: A comparative European study of birth cohorts 1982-88. J Audiol Med 3: 35-47
- 11 Davis H (1966) Reference levels and hearing levels in otology. Ann Otol Rhinol Laryngol 75(3): 808-818

- 12 Davis H (1976) Principles of electric response audiometry. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 85 Suppl 28: 1-96
- 13 Davis H, Davis PA, Loomis AL, Harvey EN, Hobart G (1939) Electrical reaction of the human brain to auditory stimulation. *J Neurophysiol* 2: 500-514
- 14 Davis H, Engebretson M, Lowell EL, Mast T, Satterfield J, Yoshie N (1964) Evoked responses to clicks recorded from the human scalp. *Ann N Y Acad Sci* 112: 224-225
- 15 Davis H, Mast T, Yoshie N, Zerlin S (1966) The slow response of the human cortex to auditory stimuli: recovery process. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 21(2): 105-113
- 16 Davis H, Zerlin S (1966) Acoustic relations of the human vertex potential. *J Acoust Soc Am* 39(1): 109-116
- 17 Delb W, Hoppe U, Hild-Büttner T, Schofer O, Iro H (1998) Ist ein Hörscreening bei allen Neugeborenen sinnvoll? Aktuelle phoniatriische-pädaudiologische Aspekte (Gross, M) Median Verlag
- 18 Doyle KJ, Burggraaff B, Fujikawa S, Kim J (1997) Newborn hearing screening by otoacoustic emissions and automated auditory brainstem response. *Int J Pediatr Otho Rhino Laryngol* 41: 111-119
- 19 Doyle KJ, Fujikawa S, Rogers P, Newman E (1998) Comparison of newborn hearing screening by transient otoacoustic emissions and auditory brainstem response using ALGO-2. *Int J Pediatr Otho Rhino Laryngol* 43: 207-211
- 20 Durieux-Smith A, Picton T, Edwards C, Goodman JT, Mac Murray B (1985) The Crib-o-gram in the NICU: An evaluation based on brain stem electric response audiometry. *Ear Hear* 6: 20-24
- 21 Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (2002) Konsensuspapier 4.0, Hannover

- 22 Erenberg S (1999) Automated auditory brainstem response testing for universal newborn hearing screening. *Otolaryngol Clin North Am* 32(6): 999-1007
- 23 Finckh-Krämer U, Spormann-Lagodzinski ME, Nubel K, Hess M, Gross M (1998) Wird die Diagnose bei persistierenden kindlichen Hörstörungen immer noch zu spät gestellt? *HNO* 46: 589-602
- 24 Finkenzeller P (1979) Auditory evoked potentials – late cortical responses. In: *Auditory Investigation: the scientific and technological basis*, Ed.: H.A. Beagley, Clarendon Press Oxford, 507-524
- 25 Finkenzeller P (1993) Zeitgang-BERA zur Bestimmung des Adaptionszeitganges des Ohrs. *Arch Otho Rhinol Laryngol*, Suppl II: 51-52
- 26 Finkenzeller P (1994) Zeitgang-BERA: Der schnelle Stufenreiz zur Schwellenbestimmung. In: Gross M (Hrsg.) *Aktuelle phoniatriisch-pädaudologische Aspekte*. Bd.2
- 27 Finkenzeller P, Kammermeier-Blessing C (1997) Gerät zur Ableitung akustisch evozierter Großhirnpotentiale. Patentschrift DE 19736856 A1
- 28 Gerull G, Giesen M, Mrowinski D, Rudolph N (1972) An early scalp-derivable potential for objective audiometry *HNO* 20(11): 339-343
- 29 Gravel JS, Tocci LL (1998) Setting the stage for universal newborn hearing screening. In: Spivak LG (Hrsg.) *Universal Newborn Hearing Screening*. Thieme, New York: 1-27
- 30 Gross M, Finckh-Krämer U, Spormann-Lagodzinski, ME (1999) Deutsches Zentralregister für kindliche Hörstörungen – Bilanz nach den ersten zwei Jahren. *Dt. Ärzteblatt* 96: Heft 1-2
- 31 Hahn M, Lamprecht-Dinnesen A, Heinecke A, Hartmann S, Bulbul S, Schroder G, Steinhard J, Louwen F, Seifert E (1999) Hearing screening in healthy newborns: feasibility of different methods with regard to test time. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 51(2): 83-89



- 
- 32 Hamill TA, Yanez I, Collier CE, Lionbarger JA (1992) Threshold Estimation using the "Chained Stimuli" Auditory Brain Stem Response Technique. *Ear Hear* 13(3): 165-172
  - 33 Hayes D (2001) Newborn hearing screening: selected experience in the United States. *Audiol Suppl* (53): 29-32
  - 34 Hecox K, Galambos R (1974) Brain stem auditory evoked responses in human infants and adults *Arch Otolaryngol* 99: 30-33
  - 35 Himmelfarb MZ, Shanon E, Popelka G (1978) Acoustic reflex evaluation in neonates. In: Gerber SE, Mechner GT (Hrsg.). *Early Diagnosis of Hearing Loss*. Grune & Stratton, New York, 109-119
  - 36 Hoth S, Lenarz T (1994) *Elektrische Reaktionsaudiometrie*. Springer, Berlin, Heidelberg
  - 37 Jacobson JT, Jacobson CA, Spahr RC (1990) Automated and conventional ABR screening techniques in high-risk infants. *J Am Acad Audiol* 1(4): 187-195
  - 38 Jacobson JT, Morehouse CR, Johnson MJ (1982) Strategies for Infant Auditory Brain Stem Response Assessment. *Ear Hear* 3: 263-270
  - 39 Jewett DL (1970) Volume-conducted potentials in response to auditory stimuli as detected by averaging in the cat. *EEG Clin Neurophysiol* 28: 609-618
  - 40 Jewett DL, Williston JS (1971) Auditory-evoked far fields averaged from the scalp of humans. *Brain* 94(4): 681-696
  - 41 Joint Committee on Infant Hearing (1994) Position Statement. *Pediatrics* (1995) 100: 152-156
  - 42 Joint Committee on Infant Hearing (2000) Year 2000 position statement, principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. *Pediatrics* 106: 798-817

- 43 Joint Committee on Infant Hearing (2002) Universal Newborn Hearing Screening Fact Sheet. Retrieved March 8, 2002, from Utah State University, National Center for Hearing Assessment and Management (NCHAM) Website: <http://www.infanthearing.org/resources/fact.pdf>
- 44 Joint Committee on Infant Screening (1972) supplementary statement In: Mencher G (Hrsg.) (1976) Early Identification of Hearing Loss. Karger, Basel, 4
- 45 Kaufmann E (2001) Universelles Neugeborenen-Hörscreening mit dem BERAphon<sup>®</sup>. Med Diss, Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- 46 Keidel WD (1976) The physiological background of electric response audiometry. In: Keidel WD, Neff WD (Hrsg.) Handbook of sensory physiology, Vol V/3, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 105-231
- 47 Keidel WD, Spreng M (1963) Electronic averaging of slow cortical potentials in humans with acoustical stimulation. *Acta Otolaryngol* 56: 318-229
- 48 Kemp DT (1978) Stimulated acoustic emissions from the human auditory system. *J Acoust Soc Am* 64: 1386-1391
- 49 Klinke R. (1999) Hören lernen: Die Notwendigkeit frühkindlicher Hörerfahrungen. *Sozialpädiatrie, Kinder- und Jugendheilkunde*: 21(9-10): 330-339
- 50 Knott C (2001) Universal newborn hearing screening coming soon: "hear's" why. *Neonatal Netw* 20(8): 25-33
- 51 Kountakis SE, Psifidis A, Chang J, Stiernberg CM (1997) Risk Factors Associated With Hearing Loss in Neonates. *Am J Otolaryng* 18(2): 90-93
- 52 Kountakis SE, Skoulas I, Phillips D, Chang CY (2002) Risk factors for hearing loss in neonates: a prospective study. *Am J Otolaryngol* 23(3): 133-137

- 
- 53 Lenarz T. (1997) Die Bedeutung eines universellen Neugeborenen-Hörscreenings. Hörbericht – Informationen für den HNO-Arzt, Geers Hörakustik: 1-8
  - 54 Lindner G (1975) Grundlagen der pädagogischen Audiologie. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin
  - 55 Maico Diagnostic GmbH (2002) Gebrauchsanweisung Maico MB 11 Version 06/2002, Berlin, Website: [http://www.maico-diagnostic.de/eprise/main/Maico/Products/Files/MB11Screener/GE\\_MB11\\_s\\_d.03d.pdf](http://www.maico-diagnostic.de/eprise/main/Maico/Products/Files/MB11Screener/GE_MB11_s_d.03d.pdf)
  - 56 Mason JA, Herrmann KR (1998) Universal infant hearing screening by automated auditory brainstem response measurement. *Pediatrics* 101: 221-228
  - 57 Mason S, Davis A, Wood S, Farnsworth A (1998) Field sensitivity of targeted neonatal hearing screening using the Nottingham ABR Screener. *Ear Hear* 19(2): 91-102
  - 58 Matschke RG (1993) Untersuchung zur Reifung der menschlichen Hörbahn. Thieme-Copythek, Georg Thieme Verlag, Stuttgart
  - 59 Mehl AL, Thomson V (1998) Newborn hearing screening: the great omission. *Pediatrics* 101(1): E4
  - 60 Mehl AL, Thomson V (2002) The Colorado newborn hearing screening project, 1992-1999: on the threshold of effective population-based universal newborn hearing screening. *Pediatrics* 109(1): E7
  - 61 National Institutes of Health (NIH) Consensus Statement (1993) Early identification of hearing impairment in young children. Consensus Statement Bethesda: Office of Medical Application of Research, National Institutes of Health: 1-24
  - 62 Neumann K, Gall V, Berger R (2001) Modellprojekt „Einführung eines generellen Neugeborenen Hörscreenings in Hessen“. *Z Audiol, Suppl* 4: 233-237

- 63 Northern JH, Downs MP (1991) Hearing in children. Third ed. Baltimore, The Williams and Wilkins Company
- 64 Oudesluys-Murphy AM, van Straaten HL, Bholasingh R, van Zanten GA (1996) Neonatal hearing screening. *Eur J Pediatr* 155(6): 429-435
- 65 Plinkert PK, Delb W (2001) Electronic data processing-assisted organization of interdisciplinary universal hearing screening in Saarland. *HNO* 49(11): 888-894
- 66 Pschyrembel (1998) *Klinisches Wörterbuch* 258. Auflage Verlag: Walter De Gruyter
- 67 Ptok M (1998) European Consensus Development Conference on Neonatal Hearing Screening. Europäisches Konsensuspapier verabschiedet. *HNO aktuell* 6: 229-230
- 68 Reuter G (2003) Früherkennung von kindlichen Hörstörungen Hörbericht 73/2003, Website: [http://www.geers.de/docs/Fachthema\\_Reuter\\_10-2003.pdf](http://www.geers.de/docs/Fachthema_Reuter_10-2003.pdf)
- 69 Reuter G, Bordgen F, Dressler F, Schafer S, Hemmanouil I, Schonweiler R, Lenarz T (1998) Neonatal hearing screening with the Echosensor automated device for otoacoustic emissions. A comparative study. *HNO* 46(11): 932-941
- 70 Reuter G, Hemmanouil I, Westphal O, Mitschke A (2000) Neugeborenenhörscreening: Ein Vergleich von OAE und Hirnstammpotentialmessungen. *Z Audiol Suppl* III: 114-115
- 71 Schauseil-Zipf U, von Wedel H (1988) Hearing screening using acoustically evoked brain stem potentials in newborn infants and infants. *Klin Padiatr* 200(4): 324-329
- 72 Shehata-Dieler WE, Dieler R, Keim R, Finkenzeller P, Dietl J, Helms J.(2000) Universelle Hörscreening-Untersuchungen bei Neugeborenen mit dem BERAphon. *Laryngo-Rhino-Otol* 79: 69-76

- 
- 73 Shehata-Dieler WE, Dieler R, Wenzel G, Keim R, Singer D, von Deuster C (2002) Universal Newborn Hearing Screening Program in Würzburg. Experience with more than 4000 Newborns and the Influence of Non-pathological factors on the test results. *Laryngo-Rhino-Otol* 81(3): 204-210
- 74 Simmons FB (1978) Identification of hearing loss in infants and young children. *Otolaryngol Clin North Am* 11(1): 19-28
- 75 Simmons FB, McFarland WH, Jones FR (1979) An automated hearing screening technique for newborns. *Acta Otolaryngol* 87(1-2): 1-8
- 76 Simmons FB, Russ FN (1974) Automated newborn hearing screening, the crib-o-gram. *Arch Otolaryngol* 100(1): 1-7
- 77 Sohmer H, Feinmesser M (1967) Cochlear action potentials recorded from the external ear in man. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 76(2): 427-435
- 78 Stellungnahme der interdisziplinären Konsensuskonferenz Neugeborenen-Hörscreening (2003) – Standard of Care, Website: <http://www.gnpi.de/>
- 79 Stevens J (2001) State of the art neonatal hearing screening with auditory brainstem response. *Scand Audiol Suppl* (52): 10-12
- 80 Stewart DL, Mehl A, Hall JW 3<sup>rd</sup>, Thomson V, Carroll M, Hamlett J (2000) Universal newborn hearing screening with automated auditory brainstem response: a multisite investigation. *J Perinatol* 20(8 Pt 2): 128-131
- 81 Strategie-Papier zum Joint Committee Frühkindliches Hören November 2003, Website: <http://www.fruehkindliches-hoeren.de/downloads/pdf/Strategiepapier.pdf>
- 82 Stürzebecher E, Cebulla M, Pschirrer U (2001) Efficient stimuli for recording of the amplitude modulation following response. *Audiol* 40(2): 63-68

- 83 Stürzebecher E; Cebulla M; Wernecke K (1999) Objective response detection in the frequency domain: comparison of several q-sample tests. *Audiol Neurootol* 4: 2-11
- 84 Theissing J. (1970) Objective hearing tests in childhood *Aktuelle Otorhinolaryngol* 4: 1-38
- 85 Thompson DC, Mc Phillips H, Davis RL, Lieu TL, Homer CJ, Helfand M (2001) Universal newborn hearing screening: summary of evidence. *JAMA* 286(16): 2000-2010
- 86 van Straaten HL (1999) Automated auditory brainstem response in neonatal hearing screening. *Acta Pediatr Suppl* 88(432): 76-79
- 87 van Straaten HL, Groote ME, Oudesluys-Murphy AM (1996) Evaluation of an automated auditory brainstem response infant hearing screening method in at risk neonates. *Eur J Pediatr* 155(8): 702-705
- 88 Verkerk P (1998) Health economic analysis: cost-effectiveness of the infant distraction test and neonatal hearing screening in the Netherlands. In: *Abstractband der European Consensus Development Conference on Neonatal Hearing Screening*: 77-81
- 89 Vohr BR, Oh W, Stewart EJ, Bentkover JD, Gabbard S, Lemons J, Papile LA, Pye R (2001) Comparison of costs and referral rates of 3 universal newborn hearing screening protocols. *J Pediatr* 139(2): 238-244
- 90 von Wedel H, Schauseil-Zipf U, Döring WH (1988) Hörscreening bei Neugeborenen und Säuglingen mittels Ableitung akustisch-evozierter Hirnstammpotentiale. *Laryng Rhinol Otol* 67: 307-311
- 91 Walger M. (2000) Hörstörungen und Hörbahnreifung – Über die Bedeutung der Früherkennung und Therapie kindlicher Hörstörungen. *Hörbericht* 67 – Informationen für den HNO-Arzt, Geers Hörakustik
- 92 Watkin P, Baldwin M, Mc Enery G (1991) Neonatal at risk screening and the identification of deafness *Arch Dis Child* 66: 1130-1135

- 
- 93 Welz-Müller K (1998) Neugeborenen-Hörscreening: Siebtest nach Hörstörungen bei Neugeborenen. HNO 8: 704-706
  - 94 Wendler J, Seidner W, Kittel G, Eysholdt E (1996) Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York
  - 95 White KR, Behrens ST (1993) The Rhode Island hearing assessment project: Implications for universal newborn hearing screening. Semin Hear 14: 1-119
  - 96 White KR, Vohr BR, Behrens TR (1993) Results of the Rhode Island Hearing Assessment Project. Sem in Hear 14(1): 18-29
  - 97 Yoshinaga-Itano C, Coulter D, Thomson V (2001) Developmental outcomes of children with hearing loss born in Colorado hospitals with and without universal newborn hearing screening programs. Semin Neonatol 6(6): 521-529
  - 98 Zenner HP (1997) Frühdiagnostik und Therapie von Hörstörungen beim Säugling und Kleinkind. Dt Ärztebl 94: B1016-B1019

---

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt an erster Stelle Herrn Prof. Dr. med. J. Helms für die Überlassung des Themas sowie die Bereitstellung aller Materialien und Untersuchungsgeräte.

Ganz besonders möchte ich mich bei Frau Priv.-Doz. Dr. med./ET W. Shehata-Dieler bedanken, ohne ihr jahrelanges Engagement beim Neugeborenen-Hörscreening wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Herrn Prof. Dr. med. R. Dieler danke ich sehr für die Übernahme des Koreferats.

Herzlichen Dank für die freundliche Unterstützung in der Kinderklinik und Poliklinik unter Leitung von Prof. Dr. med. Ch. P. Speer – speziell danke ich Herrn Priv.-Doz. Dr. med. D. Singer.

Ausdrücklich möchte ich mich bei den Mitarbeitern der Abteilung für Elektrophysiologie Herrn Dipl. Ing. R. Keim und Frau R. Koch-Metge für die geduldige Anleitung und tatkräftige Unterstützung beim Durchführen des Screenings bedanken.

Ferner gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. J. Dietl und dem Pflegepersonal der Neugeborenenstation der Universitäts-Frauenklinik Würzburg für die gemeinsame Zusammenarbeit.

Herzlichen Dank an Herrn Dipl. Ing. L. Moser für die statistische Betreuung.