

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten

der Universität Würzburg

Poliklinik für Kieferorthopädie

Direktorin: Professor Dr. med. dent. A. Stellzig-Eisenhauer

**Spektrographische Analyse der Vokalisierungen hochgradig
hörgeschädigter Kinder im Zeitraum vor, während und nach
Cochlea-Implantation**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Maria-Antonia Gräfin von Spiegel zum Diesenberg-Hanxleden,

geb. Gräfin zu Toerring-Jettenbach

aus München

Würzburg, Juli 2009

Referentin : Prof. Dr. rer. nat. K. Wermke

Korreferentin : Prof. Dr. W. Shehata-Dieler

Dekan: Prof. Dr. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Februar 2010

Die Promovendin ist Ärztin.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Zielstellung	1
2. Material und Methoden	7
2.1 Studiendesign	7
2.2 Probanden	8
2.3 Datenerhebung	10
2.3.1 Datenerhebung der individuellen Probanden	12
2.3.1.1. Kind CI-AA	12
2.3.1.2 Kind CI-AB	15
2.3.1.3 Kind CI-AC	18
2.3.1.4 Kind CI-AD	21
2.3.1.5 Kind CI-AE	25
2.4 Datenanalyse	28
2.4.1 Auswerterroutinen	28
2.4.2 Spektralanalyse	30
3. Ergebnisse	34
3.1 Auswertung prä- und postoperativer Lauteigenschaften	34
3.1.1 Proband CI-AA	34
3.1.2 Proband CI-AB	39
3.1.3 Proband CI-AC	50
3.1.4 Proband CI-AD	59
3.1.5 Proband CI-AE	69
4. Diskussion	79
4.1 Besonderheiten der vorsprachlichen Entwicklung der Probanden vor Erstanpassung des Cochlea-Implantats	79
4.2 Besonderheiten der vorsprachlichen Entwicklung der Probanden nach Erstanpassung des Cochlea-Implantats	84
5. Zusammenfassung	92
6. Literaturverzeichnis	93

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AEP	Akustisch evozierte Potenziale
AW	Antwort
BERA	Brainstream Electric Response Audiometry
CAP-Score	Categories of Auditory Performances
CDAP	Cry-Data Analyse-Programm
CI	Cochlea-Implantat
CI-Op	Operation zur Einbringung des Cochlea-Implantats
CSL	Computerized Speech Lab
dB	Dezibel
ECI	Erstanpassung des Cochlea-Implantats
HH	Hörhilfen
HNO	Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
k.A.	Keine Angaben
LPC	Linear-Prediction-Coding
MDVP	Multi-Dimensional Voice Programm
SH	Schwerhörigkeit
ZVES	Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patientendaten	9
Tabelle 2: Aufnahmezeitraum und genutzte Geräte	11
Tabelle 3: Datenerhebung bei CI-AA	13
Tabelle 4: Datenerhebung bei CI-AB	16
Tabelle 5: Datenerhebung bei CI-AC	19
Tabelle 6: Datenerhebung bei CI-AD	22
Tabelle 7: Datenerhebung bei CI-AE	26
Tabelle 8: Vergleich der vorsprachlichen Entwicklung der Probanden	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flussdiagramm der verwendeten Auswerteroutinen	29
Abbildung 2: Beispiel eines Schmalband-Spektrogramms	31
Abbildung 3: Beispiel eines Lautes mit Subharmonischen und Frequenzsprung	32
Abbildung 4: Beispiel eines Lautes mit phonatorischen Rauschelementen	32
Abbildung 5: Beispiel typischer propriozeptiver Laute	33
Abbildung 6: Propriozeptiver Laut von CI-AA im Höralter von 179 Tagen	35
Abbildung 7: Vorkanonischer Babbellaut von CI-AA im Höralter von 179 Tagen	35
Abbildung 8: Übung im „Kopfreger“ von CI-AA im Höralter von 179 und 181 Tagen	36
Abbildung 9: Kurze, segmentierte Laute bei CI-AA im Höralter von 229 Tagen	37
Abbildung 10: Erstes kanonisches Babbeln bei CI-AA im Höralter von 234 Tagen	37
Abbildung 11: Variierter Babbellaut von CI-AA im Höralter von 234 Tagen	38
Abbildung 12: Erstes Imitieren von Wörtern als direkte Reaktion auf mütterliche Sprache von CI-AA im Höralter von 304 Tagen	39
Abbildung 13: Hochfrequente Laute bei CI-AB im Höralter von 2 Tagen	40
Abbildung 14: Beispiele propriozeptiver Laute bei CI-AB	40
Abbildung 15: Dreibögiger Babbellaut ohne Verwendung von Hörhilfen bei CI-AB	41
Abbildung 16: Dreibögiger Babbellaut unter Verwendung von Hörhilfen bei CI-AB	42
Abbildung 17: Beispiel eines Lippenvibrations-Lautes bei CI-AB	43
Abbildung 18: Auftreten rhythmischer Sequenzen bei CI-AB (Höralter 43 Tage)	43
Abbildung 19: Übung von Rhythmus- und Betonungselementen durch CI-AB im Höralter von 78 Tagen	44
Abbildung 20: Auftreten der ersten Konsonant-Vokal-Kombination bei CI-AB	45
Abbildung 21: Rhythmusvariationen in hohen Frequenzen bei CI-AB	46
Abbildung 22: Erstes Auftreten von kanonischem Babbeln bei CI-AB	47
Abbildung 23: Erste Konsonant-Vokal-Kombinationen innerhalb des kanonischen Babbelns bei CI-AB	47
Abbildung 24: Erstes Auftreten von artikulierte kanonischen Silben bei CI-AB	48

Abbildung 25: Nicht-Schrei-Laute bei CI-AC im Höralter von 82 und 83 Tagen	50
Abbildung 26: Segmentierte Strukturen bei CI-AC im Höralter von 82 und 83 Tagen	51
Abbildung 27: Lippenvibrations-Laute bei CI-AC im Höralter von 112 Tagen	51
Abbildung 28: Auftreten präartikulatorischer Fähigkeiten bei CI-AC (Höralter 112 Tage)	52
Abbildung 29: Modulation und Segmentierung eines hochfrequenten Lautes durch CI-AC (Höralter 125 Tage)	53
Abbildung 30: Modulation und Segmentierung eines zwei- und eines dreiböigen Lautes durch CI-AC (Höralter 125 Tage)	53
Abbildung 31: Propriozeptiver und Lippen-Vibrations-Laut durch CI-AC (Höralter 125 Tage)	54
Abbildung 32: Erstes Auftreten von staccatoartigen Rhythmus-elementen bei CI-AC (Höralter 134 Tage)	54
Abbildung 33: Rhythmische Elemente bei CI-AC (Höralter 141 Tage)	55
Abbildung 34: Rhythmusvariationen bei CI-AC (Höralter 141 Tage)	56
Abbildung 35: Glottal gepresster Laut bei CI-AC (Höralter 141 Tage)	56
Abbildung 36: Propriozeptiver Laut bei CI-AC (Höralter 141 Tage)	57
Abbildung 37: Erstmaliges Auftreten höherer Resonanzfrequenzen bei CI-AC (Höralter 141 Tage)	57
Abbildung 38: Hochfrequente Laute bei CI-AC (Höralter 184 Tage)	58
Abbildung 39: Silbensequenz bei CI-AC (Höralter 187 Tage)	58
Abbildung 40: Einböige Nicht-Schrei-Laute bei CI-AD (Höralter 220 Tage)	59
Abbildung 41: Hochfrequenter, modulierter Laut von CI-AD (Höralter 220 Tage)	60
Abbildung 42: Erstes Auftreten segmentierter Laute bei CI-AD (Höralter 248 Tage)	60
Abbildung 43: Erstes Auftreten eines Babbell-Lautes bei CI-AD (Höralter 255 Tage)	61
Abbildung 44: Auftreten einer entwickelten Form propriozeptiver Laute bei CI-AD (Höralter 308 Tage)	62
Abbildung 45: Auftreten von hochfrequenten Lauten bei CI-AD bei ECI	62
Abbildung 46: Propriozeptive Laute als direkte Reaktion auf ECI bei CI-AD	63
Abbildung 47: Änderung der Lauteigenschaften in Reaktion auf die Stimulation des Hörnerven bei ECI	64

Abbildung 48: „Spiel“ mit Resonanzeigenschaften durch CI-AD als direkte Reaktion auf ECI	65
Abbildung 49: Einfache und frequenzmodulierte hochfrequente Laute bei CI-AD (Höralter 328 Tage)	65
Abbildung 50: Gemischt propriozeptiv-hochfrequent-modulierter Laut bei CI-AD (Höralter 328 Tage)	66
Abbildung 51: Erste staccatoartige Rhythmen bei CI-AD (Höralter 365 Tage)	67
Abbildung 52: Lippenvibrationslaute bei CI-AD ohne getragenes CI (Höralter 370 Tage)	67
Abbildung 53: Erste silbenartige Strukturen bei AD (Höralter 486 Tage)	68
Abbildung 54: Erste Imitation von Wörtern bei CI-AD (Höralter 486 Tage)	69
Abbildung 55: Lautäußerungen mit Frequenzsprüngen bei CI-AE vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen	70
Abbildung 56: Lippenvibrationslaut bei CI-AE vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen	71
Abbildung 57: „Stimmloser“ Larynxlaut bei CI-AE vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen	71
Abbildung 58: Laut mit Frequenzvariationen über eine Oktave bei CI-AE	72
Abbildung 59: Propriozeptiver Laut bei CI-AE	73
Abbildung 60: Erste rhythmische Sequenzen bei CI-AE (Höralter 74 Tage)	74
Abbildung 61: Rhythmische Sequenz eines hörenden Kindes im Alter von 460 Tagen	74
Abbildung 62: Stärker modulierte Grundfrequenz bei CI-AE nach ECI	75
Abbildung 63: Rhythmisierter, „stimmloser“ Larynxlaut bei CI-AE (Höralter 90 Tage)	76
Abbildung 64: Imitation eines gehörten Lautes durch CI-AE bei Transposition um eine Oktave nach unten	77
Abbildung 65: Formantwechsel im Breitbandspektrogramm von Abb. 64	77
Abbildung 66: Rhythmische Kurlaut-Sequenz bei CI-AE (Höralter 100 Tage)	78
Abbildung 67: Wiederholung rhythmischer Kurzton-Sequenzen durch CI-AE (Höralter 126 Tage)	78
Abbildung 68: Hochfrequente Laute bei CI-AB und CI-AE (beide Höralter 2 Tage)	79

Abbildung 69: Korrespondierende Lautäußerungen bei CI-AB nach Beginn der Therapie mit Hörhilfen und CI-AE vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen	82
Abbildung 70: Erste rhythmische Kurzton-Sequenzen bei CI-AB, CI-AC und CI-AE	83
Abbildung 71: Vergleich erster Silbensequenzen bei CI-AC nach ECI und CI-AB unter Therapie mit Hörhilfen	87
Abbildung 72: Auftreten erster Babbellaute bei CI-AA, CI-AD sowie CI-AE	89

1. Einleitung und Zielstellung

In Abhängigkeit von ihrem Ausmaß macht sich eine Hörbeeinträchtigung im Neugeborenen- und Säuglingsalter unter Umständen gar nicht oder nur wenig bemerkbar. Sie wird daher teilweise erst erkannt, wenn Eltern eine verzögerte Sprachentwicklung ihrer Kinder im Vergleich zu Altersgenossen feststellen und deshalb den Arzt aufsuchen. Ein ausreichendes Hörvermögen ist jedoch Voraussetzung für den Erwerb von Lautsprache. Je länger die auditive Stimulation ausbleibt, desto schwieriger wird es, die versäumten „sensiblen Phasen“ zur Organisation der zerebralen auditiven Verarbeitungszentren nachzuholen (z.B. Stoel-Gammon 1998).

Neurophysiologisch hat sich gezeigt, dass es bei fehlender auditorischer Stimulation zur Demyelinisierung, Degeneration und Apoptose der Neuronen des zentralen Hörsystems kommt (Gordon et. al. 2002). Je früher eine Hörbeeinträchtigung diagnostiziert und das Kind mit Hörhilfen versorgt wird, desto geringer ist die Verzögerung des Beginns des Babbelns, als erster, auch von Nicht-Fachleuten erkennbarer sprachähnlicher Vokalisationstyp des Säuglings (Stelmachowicz et al. 2004).

Die Früherkennung der Schwerhörigkeit ist daher ein integraler Bestandteil des Behandlungskonzeptes hörgeschädigter Kinder. Zur objektiven Hörprüfung stehen verschiedene Methoden zur Verfügung (OAE, BERA, Impedanzaudiometrie, Elektrocochleographie). Um eine angeborene Schwerhörigkeit bei Kindern möglichst früh zu diagnostizieren, gibt es als Neugeborenen-Screening-Methode auch das BERA-Phon. Mit ihm ist es möglich, potentielle Hörbeeinträchtigungen schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt zu erkennen. Dies hat den Vorteil, dass ohne Zeitverlust eine spezifische Diagnostik und Frühbehandlung betroffener Säuglinge eingeleitet werden kann (Shehata-Dieler et al. 2000).

Neben konventionellen Hörhilfen gibt es seit nunmehr 20 Jahren die Möglichkeit zur Cochlea-Implantation bei Dysfunktionen des Innenohrs. Während zu Beginn der Entwicklung der Cochlea-Implantate fast ausschließlich postlingual ertaubte Erwachsene operiert wurden, sind es heutzutage vor allem Kleinkinder und zunehmend auch Säuglinge, die ein Cochlea-Implantat erhalten (Kirk, 2000). Durch die frühe

Versorgung mit einem Cochlea-Implantat eröffnet sich für betroffene Säuglinge in der Regel die Möglichkeit einer relativ normalen Sprachentwicklung (bei adäquater Förderung durch Eltern und Sprachheilpädagogen). Nach Versorgung mit einem Cochlea-Implantat können bei Säuglingen zum Beispiel bereits nach ca. 6,5 Monaten normale rhythmische Babbel-Sequenzen auftreten (Moore et al., 2002).

Dagegen zeigen sich bei nicht adäquater Versorgung durch Hörhilfen in der Phase des Babbelns typischerweise deutliche Unterschiede zwischen hörenden und hörbeeinträchtigten Kindern (Stoel-Gammon/Otomo, 1986; Oller/Eilers 1988; Deal/Haas, 1996).

Vergleicht man beispielsweise das durchschnittliche Alter beim Einsetzen des sogenannten „kanonischen“ Babbelns gesunder Säuglinge zu dem Hörgeschädigter, liegen letztere weit zurück. So beginnen normal hörende Säuglinge zwischen dem 6. und 8. Lebensmonat kanonisch zu babbeln, während bei von Geburt an auf beiden Ohren stark hörbeeinträchtigte Kinder (ab einem Hörverlust von ca. 70 dB) im Schnitt erst 5-6 Monate später Babbel-Laute produzieren (Oller/Eilers, 1988). Bei hörbeeinträchtigten Kindern, welche eine Therapie mit Hörhilfen erhalten, setzt das kanonische Babbeln im Mittel etwa acht Monate nach dem Beginn der Therapie ein. Hierbei ist jedoch eine Abhängigkeit vom Alter der Kinder bei Beginn der Therapie mit Hörhilfen zu erkennen. Je früher die Kinder mit Hörhilfen versorgt werden desto geringer ist die Zeitspanne bis zum Auftreten kanonischen Babbelns (Oller/Eilers, 1988). Auch die Produktion von Babbellauten liegt bei hörbeeinträchtigten Kindern, welche primär nicht mit Hörhilfen versorgt worden waren, hinter der hörender Gleichaltriger zurück (Eilers/Oller, 1994).

Nicht nur bezüglich des Beginns der Babbelphase, auch in der Entwicklung des Babbelns gibt es Unterschiede von Hörgeschädigten zu normal hörenden Kindern. So zeigt sich bei gesunden Säuglingen in der Produktion von Babbel-Lauten mit zunehmendem Alter eine Steigerung der Anzahl produzierter Konsonanten zu der der Vokale und eine Abnahme glottaler Laute. Bei hörgeschädigten Kindern ohne Therapie mit Hörhilfen und ohne logopädischer Therapie herrschen vokalische Silben vor. Zudem sind glottale Laute häufiger zu finden. Dies lässt sich durch Therapie mit

Hörhilfen bessern, jedoch erreichen die Hörgeschädigten meist nicht den ihrem Alter entsprechenden Entwicklungsstand hörender Kinder (Stoel-Gammon/Otomo, 1986).

Die Stimulation durch ein Cochlea-Implantat verkürzt offenbar ab einer Anwendungszeit von etwa einem Jahr die Latenzzeit und damit die Zeit bis zur Antwort des auditiven Systems auf Hörreize bei audiometrischen Untersuchungen (Gordon et al. 2002). Dies entspricht den in den ersten 2-3 Lebensjahren abnehmenden Latenzen für Antworten des auditorischen Hirnstammes auf Hörreize (Eggermont et al., 1988), für die eine Myelinisation der Nervenzellen sowie eine gereifte Synapsenaktivität verantwortlich zu sein scheint (Moore et al. 1996; Ponton et al. 1996). Kinder, die nach einer Zeitspanne von < 3,5 Jahren, in welcher sie gehörlos waren, implantiert werden, zeigen nach einer Zeitspanne von etwa einem halben Jahr altersentsprechende akustisch evozierte Potenziale (AEPs). Diese spiegeln die Reifung des zentralen auditorischen Systems wider (Sharma et al. 2002). Das Auftreten dieser altersentsprechenden AEPs nach einer Zeitspanne der Therapie der Schwerhörigkeit wird auch bei Kindern beschrieben, welche mit Hörhilfen therapiert werden. Das Erreichen der altersentsprechenden Normalwerte benötigt jedoch einen längeren Zeitraum als bei Kindern, welche ein Cochlea-Implantat erhalten (Sharma et al. 2004).

Die Sprachentwicklung nach Cochlea-Implantation kann, je nach kognitivem Entwicklungsstand, individuell stark variieren. Die Sprachproduktionsleistungen steigern sich bei allen Patienten kontinuierlich, jedoch mit großen individuellen Unterschieden sowohl was den Zeitraum des Spracherwerbs betrifft, als auch die Anzahl der Worte, die spontan produziert werden (z.B. Szagun 2002).

Eine entscheidende Rolle scheint die Phase kurz nach der Implantation zu spielen, da die Kinder in diesem Zeitraum eine besonders rasche Sprachverbesserung zeigen. Hierbei erreichen Kinder, die vor dem 2. Lebensjahr implantiert werden, die Phase des Babbelns im Durchschnitt zwei bis vier Monate nach der Erstanpassung des Cochlea-Implantats (Gillis et al. 2002). Die Spracherkennungsleistung, gemessen als CAP-Score (Categories of Auditory Performances) von 0 (keine Reaktion) bis 7 (kann mit Familienmitgliedern telefonieren) (Govaerts et al. 2002) von Kindern, welche ein Cochlea-Implantat erhalten, steigert sich innerhalb des ersten halben Jahres nach der Erstanpassung des Cochlea-Implantats unabhängig vom Alter bei Implantation.

Durch die zunehmende Versorgung von Säuglingen und Kleinkindern mit Cochlea-Implantaten entsteht der Bedarf einer objektiven Evaluierung von Entwicklungsfortschritten im vorsprachlichen Alter. Da Säuglinge und Kleinkinder noch keine „Sprachkompetenz“ besitzen, können herkömmliche Sprachtests dafür nicht eingesetzt werden. In diesem frühen Alter bietet eine signalanalytische Auswertung aufgezeichneter kindlicher Laute die Möglichkeit, Entwicklungsverläufe objektiv zu charakterisieren. Digitale Lautaufzeichnungen bieten einen weiteren entscheidenden Vorteil: Es besteht, nach Digitalisierung der geäußerten Laute, auch zu einem späteren Zeitpunkt noch die Möglichkeit, diese wiederholt zu Vergleichszwecken zu re-analysieren. Unabhängig vom Alter des Patienten besteht auf diese Weise die Möglichkeit einer objektiven Charakterisierung erreichter Entwicklungsstadien und der Identifikation von Entwicklungsstörungen. Auch Vergleichsanalysen zwischen verschiedenen Kindern im vorsprachlichen Alter sind mit dieser Methode objektivierbar.

Eines der bereits bei Geburt reifsten neuromuskulären Funktionssysteme des Menschen ist das auditiv-vokale System. Hierbei scheint die auditive Rückkopplung ihre Regelfunktion viel früher in der postnatalen Entwicklung aufzunehmen, als man vermuten würde. Bereits der Schrei hörgeschädigter Säuglinge weicht von dem normalhörender Säuglinge ab (Schönweiler et al. 1996; Möller/Schönweiler, 1999).

Die frühesten Lautproduktionen des jungen Säuglings sind nicht, wie man früher angenommen hat, reflexartige, monotone Schreie, sondern bestehen teilweise aus sehr komplexen Melodiemustern. Die vorsprachliche Entwicklung der Melodie der frühen Laute (Weinen, Gurren, Babbeln etc.) scheint einem angeborenen Programm zu folgen, wie Untersuchungen an monozygoten Zwillingen gezeigt haben (Wermke, 2002). Die im Rahmen dieses Entwicklungsprogramms gemachten Erfahrungen liefern essentielle Bausteine für spätere Sprachleistungen, insbesondere für prosodische Fähigkeiten (Wermke et al., 2007). Dieses angeborene Entwicklungsprogramm ist für Lernerfahrungen offen, d.h. die Lautproduktionen des jungen Säuglings werden durch Einflüsse aus der Sprachumgebung modifiziert. Das Fehlen der anregenden und

prägenden Umgebungssprache durch eine Hörschädigung verzögert nicht nur den Spracherwerb im engeren Sinne, sondern bereits die vorsprachliche Entwicklung.

Damit ist zu erklären, warum bereits die frühesten Lautproduktionen (Weinen, Gurren, Babbeln) durch eine mittel- bis hochgradige Hörminderung beeinflusst werden (z.B. Stoel-Gammon/Otomo, 1986; Oller/Eilers, 1988; Schönweiler 1993; Möller/Schönweiler, 1999; Várallyay, 2007).

Die Zielstellung der vorliegenden Arbeit bestand darin, basierend auf der Annahme einer engen Kopplung zwischen Lautproduktion und Lautperzeption, einen Beitrag zur objektiven Analyse von Entwicklungsverläufen bei hochgradig hörbeeinträchtigten Säuglingen und Kleinkindern zu leisten. Dies soll mit Hilfe akustischer Analysen der Laute erfolgen.

Es erfolgte eine digitale Aufzeichnung spontan geäußerter Laute von Säuglingen und Kleinkindern vor und nach einer einseitigen Cochlea-Implantation. Durch die Analyse spektraler Eigenschaften sollte versucht werden, anhand von Veränderungen bestimmter Lauteigenschaften Entwicklungsfortschritte zu objektivieren und damit indirekt die „Wirkung“ des CI zu belegen.

Der Verlauf vorsprachlicher und früher sprachlicher Entwicklungsphasen ist relativ gut untersucht (vgl. Oller 2000). Trotz großer intra- und interindividueller Variationen gibt es eine universale Sequenz bestimmter Lautentwicklungsetappen. Die frühen Säuglingslaute (Weinen) sind zum Beispiel durch eine kontinuierliche Zunahme komplexer Melodiestrukturen gekennzeichnet, die sich auch in der nachfolgenden Phase der Gurr-Laute nachweisen lassen (Wermke, 2002; Wermke/Mende, 1994). Die Babbelphase zeichnet sich durch eine zusätzliche artikulatorische Aktivität aus; Melodie und Resonanzfrequenz des Vokaltraktes werden aufeinander abgestimmt (Wermke et al. 2002, 2005). Am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Poliklinik für Kieferorthopädie (ZVES) der Universität Würzburg werden die vorsprachlichen und frühen sprachlichen Entwicklungsverläufe gesunder Kinder sowie ausgewählter Patientengruppen untersucht. Es liegt, parallel zu den Erfahrungen, die weltweit umfangreichste akustische Referenzdatenbank vor. Dies war die Voraussetzung, um das Ziel der vorliegenden Arbeit zu erfüllen.

Der Untersuchung lagen folgende Hypothesen zugrunde:

- H1 Alle untersuchten Kinder zeigen universale Lauteigenschaften in ihren Vokalisationen.
- H2 Typische Phasen der vorsprachlichen Entwicklung lassen sich bei den untersuchten Kindern wiederfinden.
- H3 Bei Hörbeeinträchtigung treten typische Lautveränderungen auf.
- H4 Die „Wirkung“ des CI zeigt sich durch Veränderung der Lauteigenschaften der Kinder.

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Nach der Diagnosestellung einer hochgradigen Hörbeeinträchtigung mittels BERA (Brainstem Electric Response Audiometry) durch HNO-Ärzte an der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg (Direktor: Univ. Prof. Dr. med. Rudolf Hagen) wurden von der Autorin der vorliegenden Arbeit in dichten zeitlichen Abständen digitale Aufnahmen spontaner Lautäußerungen der Probanden erhoben. Der Zeitraum der Aufnahmen erstreckte sich vom Zeitpunkt der Diagnosesicherung bis ca. drei Monate nach der Erstanpassung des Cochlea-Implantats an dieser Klinik. Interindividuelle Variationen der Erhebungsfrequenz und –dauer waren aufgrund familiärer Besonderheiten, medizinischer Indikationen und teilweise langer Fahrzeiten zu den Wohnorten der Probanden unvermeidbar. Ein Teil der häuslichen Aufnahmen wurde von den Eltern der Probanden selbst durchgeführt, nachdem sie zuvor in die Technik eingewiesen und von der Autorin mehrmals supervisiert worden waren. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden von jedem Probanden mindestens 15 Aufnahmezeitpunkte ausgewertet (Minimum 15, Maximum 39). Dies entspricht einer Gesamtzahl von 6787 ausgewerteten spontanen Lautäußerungen (Kapitel 2.3.1). Die im Längsschnitt aufgezeichneten Lautproduktionen von fünf hörgeschädigten Säuglingen und Kleinkindern vor und in den ersten Monaten nach der CI-Operation wurden am Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES) der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg unter Betreuung von Frau Prof. Dr. Kathleen Wermke mit signalanalytischen Methoden ausgewertet.

2.2 Probanden

Im Zeitraum der Datenerhebung für die vorliegende Untersuchung (Februar 2004 bis September 2005) gab es fünf Säuglinge und Kleinkinder, die an der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg einseitig mit einem Cochlea-Implantat versorgt wurden und die in die vorliegende Längsschnittstudie einbezogen werden konnten. Das Probandengut setzte sich aus 2 weiblichen und 3 männlichen Säuglingen und Kleinkindern im Alter zwischen 8 und 15 Monaten zusammen.

Ein Proband (CI-AA) war zu Untersuchungsbeginn bereits mit einem Cochlea-Implantat versorgt. Daher liegen in diesem Fall keine Vergleichsaufnahmen zum Zeitraum vor der Operation vor.

Alle Probanden der vorliegenden Untersuchung erfüllten die nachfolgenden Kriterien:

- Von Geburt an schwer hörbeeinträchtigt
- Neurologisch unauffällig
- Keine bekannte Stoffwechselerkrankung
- Keine bekannte kognitive Beeinträchtigung
- Keine Mehrfachbehinderung
- Schriftliches Einverständnis der Eltern zur Teilnahme an der Studie liegt vor.

Nach Auswahl der Probanden durch Frau Prof. Dr. Shehata-Dieler wurden die Eltern umfassend über den Ablauf der Untersuchung aufgeklärt. Es liegen schriftliche Einverständniserklärungen vor. Alle erhobenen Daten wurden durch die Vergabe von Probandencodes anonymisiert. Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg geprüft und genehmigt (Genehmigungsnummer 143/04).

Die Patienten wurden im Alter zwischen 225 und 597 Tagen einseitig mit einem Cochlea-Implantat versorgt und dieses jeweils etwa 45 Tage nach der Operation erstangepasst. Eine Zusammenfassung der Patientendaten findet sich in Tabelle 1:

Tabelle 1: Patientendaten (Quelle: Klinikum für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg)

Proband	Geschlecht	Ursache der Schwerhörigkeit	Hörschwelle bei Diagnosestellung (BERA)	Alter bei Diagnose der SH [d]	Alter bei CI-Versorgung [d]	Alter bei ECI [d]	Altersdifferenz CI-Op ECI [d]
CI-AA	Weiblich	Idiopathisch	Bds. keine AW bis 80 dB	116	225	252	27
CI-AB	Männlich	Idiopathisch	Links keine AW bis 80dB, rechts keine Antwort bis 90 dB	173	597	636	39
CI-AC	Männlich	Verdacht auf hereditäre Schwerhörigkeit	Bds. bis 100 dB keine AW	112	323	368	45
CI-AD	Männlich	Hereditäre Schwerhörigkeit	Links keine AW bis 90dB, rechts keine Antwort bis 100 dB	2	359	403	44
CI-AE	Weiblich	Idiopathisch	Links keine AW bis 100dB, rechts keine AW bis 90 dB	407	506	552	46

SH: Schwerhörigkeit; CI: Cochlea-Implantat; ECI: Erstanpassung des Cochlea-Implantats; AW: Antwort

2.3 Datenerhebung

Die Aufnahmen wurden in wöchentlichen Abständen (± 4 Tage) mittels digitaler Tonbandgeräte (DAT) der Firma Tascam und Sony des ZVES's (siehe Tabelle 2) im Zeitraum vom Zeitpunkt der Diagnosesicherung bis ca. drei Monate nach der Erstanpassung des Cochlea-Implantats erhoben. Der überwiegende Teil der digitalen Aufnahmen wurde von der Autorin der vorliegenden Arbeit selbst erhoben bzw. unter ihrer Anleitung und Supervision von den Eltern der Probanden in häuslicher Umgebung durchgeführt. Einige Aufnahmetermine konnten aufgrund terminlicher Überschneidung nicht von der Autorin selbst durchgeführt bzw. angeleitet werden und wurden daher von Mitarbeitern des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung & Entwicklungsstörungen (Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg) durchgeführt.

Alle Aufnahmetermine wurden mit den Eltern terminlich abgestimmt und somit eine Belastung durch die Untersuchung minimiert. Diese Verfahrensweise hat es ermöglicht, dass von allen fünf Probanden wie geplant ca. wöchentliche Aufnahmen gemacht werden konnten. Die Eltern fühlten sich in keinem Fall durch die Untersuchung zusätzlich belastet. Ganz im Gegenteil, die Objektivierbarkeit des erreichten Status und der Lautentwicklung ihrer Kinder durch die Aufnahmen und deren Analyse motivierte die Eltern zu einer aktiven Teilnahme und engagierter Mitwirkung. Eine genaue Auflistung der Aufnahmezeiträume und genutzten Geräte findet sich in Tabelle 2, die individuellen Aufnahmetermine und die jeweilige Anzahl erhobener Laute sind in den Tabellen 3-7 detailliert aufgeführt.

Tabelle 2: Aufnahmezeitraum und zur Aufnahme genutzte Geräte

	Aufnahmezeitraum	Alter im Aufnahmezeitraum	Verwendete Aufnahmegeräte
CI-AA	14.04.04-03.10.04	297-469 Tage	Tascam DA-P1
CI-AB	14.04.04-10.09.05	214-728 Tage	Tascam DA-P1
CI-AC	25.11.04-10.03.05	315-420 Tage	Tascam DA-P1
CI-AD	09.12.04-22.06.05	300-495 Tage	Sony TCD-D3, ab 23.03.05 Tascam DA-P1
CI-AE	21.01.05-18.07.05	465-643 Tage	Tascam DA-P1

Begleitend zu den DAT-Aufnahmen wurden Protokolle zu den einzelnen Aufnahmetermen erstellt, in welchen die Situation der Aufnahme sowie Ort, Datum und Uhrzeit festgehalten wurden. Ebenfalls dokumentiert wurde, ob der Proband bei der Aufnahme Hörhilfen und/oder ein CI trug.

Spontane Lautäußerungen von Säuglingen und Kleinkindern können nicht in gleicher Weise standardisiert werden, wie dies z.B. bei Sprachaufnahmen der Fall ist. Es sind sozio-emotionales Einfühlungsvermögen und technische Fachkenntnis erforderlich, um in „natürlicher Umgebung“ Aufnahmen in geeigneter Qualität zu erheben. Dabei ist jedoch nicht zu vermeiden, dass sich bei einigen Aufnahmen Beeinträchtigungen in der Tonqualität ergeben. Trotz fachlicher Betreuung mussten die Eltern der Probanden erst lernen, die Aufnahmen korrekt manuell auszusteuern. Auch kam es vor, dass einige Laute übersteuert waren, da die Kinder manchmal nach einer Serie leiser Lautäußerungen plötzlich sehr laut wurden. Plötzliche heftige Lautstärkeschwankungen sind nach meiner Erfahrung für hörbeeinträchtigte Kinder typisch. Außerdem kam es während einiger Aufnahmen manchmal zu Hintergrundgeräuschen. Dabei handelt es sich meist um Geräusche, welche die Kinder beim Spielen verursachten (z.B.

Aufeinanderschlagen von Bausteinen, Trommeln), aber auch um Geräusche aus der häuslichen Umgebung (z.B. Ticken einer Uhr, Klappern von Geschirr u.a.) oder die Stimmen von Personen, die sich während der Aufnahme im Hintergrund unterhielten. Die verwendete Analysetechnik (siehe Kapitel 2.4) erlaubte es in den meisten Fällen, diese Hintergrundgeräusche von den kindlichen Lautäußerungen zu separieren.

Bei manchen im dokumentierten Zeitraum erhobenen Aufnahmen gaben die Kinder je nach Situation nur sehr wenige Lautäußerungen von sich, da sie beispielsweise sehr in ihr Spiel vertieft oder müde waren.

Um ein möglichst repräsentatives Repertoire der spontanen kindlichen Lautproduktion zu erfassen, wurden diese Nachteile natürlicher Aufnahmesituationen in Kauf genommen und durch entsprechend häufigere und länger dauernde Aufnahmen kompensiert.

2.3.1 Datenerhebung der individuellen Probanden

2.3.1.1 Kind CI-AA

Bei Kind CI-AA wurden im Alter zwischen 297 und 469 Tagen insgesamt 18 Aufnahmen angefertigt. Der Proband hatte im Alter von 225 Tagen ein Cochlea-Implantat des Typs MED EL C40+ auf dem rechten Ohr erhalten, welches im Alter von 252 Tagen erstangepasst wurde. Sämtliche Aufnahmen des Kindes wurden bei rechts getragendem CI erstellt, zusätzlich wurde bei manchen Aufnahmen eine Hörhilfe auf dem linken Ohr getragen. Die Aufnahmedaten sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengefasst:

Tabelle 3: Datenerhebung bei CI-AA (alle Aufnahmen nach CI-Erstanpassung)

CI-AA					
Alter bei Aufnahme [d]	Anzahl der aufgezeichneten Laute	CI rechts	HH links	HH rechts	Bemerkungen
297 (43. Woche)	59	Ja	Ja	Nein	45 Tage nach ECI, erste Babbellaute schon vorhanden
299 (43. Woche)	26	Ja	k.A.	Nein	
301 (44. Woche)	49	Ja	k.A.	Nein	
302 (44. Woche)	69	Ja	k.A.	Nein	
303 (44. Woche)	54	Ja	k.A.	Nein	
304 (44. Woche)	62	Ja	k.A.	Nein	
310 (45. Woche)	15	Ja	k.A.	Nein	
347 (50. Woche)	50	Ja	k.A.	Nein	
352 (51. Woche)	38	Ja	k.A.	Nein	
358 (52. Woche)	16	Ja	k.A.	Nein	Erstes Auftreten von kanonischem Babbeln
362 (52. Woche)	108	Ja	k.A.	Nein	
372 (54. Woche)	30	Ja	k.A.	Nein	
376 (54. Woche)	35	Ja	k.A.	Nein	
393 (57. Woche)	29	Ja	Ja	Nein	
401 (58. Woche)	17	Ja	Ja	Nein	
408	73	Ja	Nein	Nein	

(59. Woche)					
414 (60. Woche)	57	Ja	Nein	Nein	
422 (61. Woche)	69	Ja	Nein	Nein	
469 (68. Woche)	38	Ja	Nein	Nein	
Σ	894				

k.A.: Keine gesicherten Angaben; HH= Hörhilfe

2.3.1.2 Kind CI-AB

Bei Kind CI-AB wurden im Alter zwischen 225 und 658 Tagen insgesamt 24 Aufnahmen angefertigt. Der Proband war nach Sicherung der Diagnose im Alter von 173 Tagen zunächst mit Hörhilfen beidseits versorgt worden. Die CI-Operation wurde erst im Alter von 597 Tagen durchgeführt. Sämtliche Aufnahmen vom Zeitraum zwischen 215 Tagen und 593 Tagen sind daher unter der Therapie mit Hörhilfen angefertigt worden. Im Zeitraum zwischen der CI-Operation und der Erstanpassung des Cochlea-Implantats trug der Patient weiterhin eine Hörhilfe auf dem linken Ohr (Aufnahmen 609-635 Tage). Nach der Erstanpassung des CI im Alter von 636 Tagen wurde die letzte angefertigte Aufnahme bei getragenen CI rechts und Hörhilfe links aufgezeichnet. Die Aufnahmedaten werden in folgender Tabelle 4 zusammengefasst:

Tabelle 4: Datenerhebung bei CI-AB

CI-AB					
Alter bei Aufnahme [d]	Anzahl der aufgezeichneten Laute	CI rechts	HH links	HH rechts	Bemerkungen
214 (31. Woche)	51	Nein	Ja	Ja	
225 (33. Woche)	45	Nein	Nein	Nein	x
229 (33. Woche)	67	Nein	Ja	Ja	
230 (33. Woche)	47	Nein	Nein	Nein	x
233 (34. Woche)	95	Nein	Ja	Nein	
234 (34. Woche)	90	Nein	Ja	Ja	
253 (37. Woche)	171	Nein	Ja	Ja	
255 (37. Woche)	305	Nein	Ja	Nein	Erstes Auftreten von Staccatorhythmen
290 (42. Woche)	75	Nein	Ja	Nein	
319 (46. Woche)	74	Nein	Ja	Ja	
337 (49. Woche)	101	Nein	Ja	Ja	
345 (50. Woche)	74	Nein	Ja	Ja	Erstes Auftreten von Babbellauten
346 (50. Woche)	39	Nein	k.A.	k.A.	X
372 (54. Woche)	23	Nein	Ja	Ja	Erstes Auftreten von kanonischem Babbeln
374 (54. Woche)	65	Nein	Ja	Ja	
567	84	Nein	Ja	Nein	

(82. Woche)					
570 (82. Woche)	77	Nein	Ja	Nein	
585 (84. Woche)	33	Nein	Ja	Nein	
593 (85. Woche)	70	Nein	Ja	Nein	Letzte Aufnahme vor CI-Op
609 (88. Woche)	55	Nein	Ja	Nein	2-Wort-Sätze „Da xx“
619 (89. Woche)	66	Nein	Ja	Nein	Neuer Artikel „Die xx“
624 (90. Woche)	71	Nein	Ja	Nein	
635 (91. Woche)	76	Nein	Ja	Nein	ECI mit 636 Tagen
658 (94. Woche)	45	Ja	Ja	Nein	
Σ	1899				

k.A.: Keine gesicherten Angaben, x = Aufnahme unter Hörbeeinträchtigung; HH= Hörhilfe

Farblegende: Blau = Vor CI-Operation unter Therapie mit Hörhilfen
Orange = Nach CI-Operation und vor ECI
Grün = Nach ECI

2.3.1.3 Kind CI-AC

Bei Kind CI-AC wurden im Alter zwischen 315 und 420 Tagen insgesamt 15 Aufnahmen angefertigt. Nach Diagnosesicherung im Alter von 112 Tagen war das Kind zunächst mit beidseitigen Hörhilfen versorgt worden. Mit 323 Tagen erhielt das Kind ein Cochlea-Implantat des Typs Pulsarci 100 auf dem rechten Ohr, welches im Alter von 368 Tagen erstangepasst wurde. Die beiden Aufnahmen vor der CI-Operation erfolgten ohne Hörhilfen. Das Kind befand sich zu dem Zeitpunkt aufgrund von verschiedenen präoperativen Untersuchungen in stationärer Behandlung in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg. Die Aufnahmen im Alter zwischen 341 und 367 Tagen wurden nach der CI-Operation jedoch vor der Erstanpassung des Cochlea-Implantats angefertigt. Das Kind trug zu diesem Zeitpunkt eine Hörhilfe auf dem linken Ohr. Nach Erstanpassung des CI im Alter von 368 Tagen wurden sämtliche Aufnahmen bei getragener CI rechts sowie wechselnd getragener Hörhilfe links angefertigt. Die Aufnahmedaten sind in folgender Tabelle 5 zusammengefasst:

Tabelle 5: Datenerhebung bei CI-AC

CI-AC					
Alter bei Aufnahme [d]	Anzahl der aufgezeichneten Laute	CI rechts	HH links	HH rechts	Bemerkungen
315 (46. Woche)	24	Nein	Nein	Nein	2 h nach BERA in Sedierung
316 (46. Woche)	63	Nein	Nein	Nein	Letzte Aufnahme vor CI-Op
341 (49. Woche)	26	Nein	k.A.	Nein	x
342 (49. Woche)	37	Nein	k.A.	Nein	x
345 (50. Woche)	88	Nein	Ja	Nein	
352 (51. Woche)	64	Nein	Ja	Nein	
358 (52. Woche)	57	Nein	Ja	Nein	
367 (53. Woche)	86	Nein	Ja	Nein	
374 (54. Woche)	60	Ja	Ja	Nein	Erste Aufnahme nach ECI
386 (56. Woche)	22	Ja	Ja	Nein	
397 (57. Woche)	49	Ja	Nein	Nein	
410 (59. Woche)	60	Ja	Nein	Nein	
415 (60. Woche)	60	Ja	Ja	Nein	
417 (60. Woche)	77	Ja	Ja	Nein	
420 (61. Woche)	59	Ja	Ja	Nein	
Σ	832				

k.A. Keine bekannten Angaben; x = Aufnahme unter Hörbeeinträchtigung; HH= Hörhilfe

Farblegende: Rot = Vor CI-Operation unter Therapie mit Hörhilfen
Orange = Nach CI-Operation und vor ECI
Grün = Nach ECI

2.3.1.4 Kind CI-AD

Bei Kind CI-AD wurden im Alter zwischen 300 und 501 Tagen insgesamt 39 Aufnahmen angefertigt. Der Proband hatte bereits im Neugeborenen-Hörscreening auffällige Befunde gezeigt und war bei Erstvorstellung an der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg im Alter von 300 Tagen bereits an seinem Heimatort mit Hörhilfen auf beiden Ohren versorgt worden (seit dem 80. Lebenstag). Diese hätte der Patient nach Angaben seiner Mutter nur schwer akzeptiert und ihr sei keine wesentliche Verhaltensänderung ihres Kindes bei Verwendung der Hörhilfen aufgefallen, die auf ein verbessertes Hörvermögen schließen ließen. Das Kind erhielt im Alter von 359 Tagen ein CI des Typs Pulsarci 100 auf dem rechten Ohr, welches im Alter von 403 Tagen erstangepasst wurde. Die Aufnahmen im Alter zwischen 300 und 355 Tagen erfolgten unter der Versorgung mit Hörhilfen beidseits, die jedoch aufgrund der mangelnden Akzeptanz des Kindes nur unregelmäßig getragen wurden. Im Zeitraum zwischen der CI-Operation und der Erstanpassung des Cochlea-Implantats trug der Patient eine Hörhilfe auf dem linken Ohr. Nach Erstanpassung des CI im Alter von 403 Tagen wurden sämtliche Aufnahmen bei getragener CI rechts sowie getragener Hörhilfe links angefertigt. Die Aufnahmedaten werden in folgender Tabelle 6 zusammengefasst:

Tabelle 6: Datenerhebung bei CI-AD

CI-AD					
Alter bei Aufnahme [d]	Anzahl der aufgezeichneten Laute	CI rechts	HH links	HH rechts	Bemerkungen
300 (43. Woche)	77	Nein	Nein	Nein	X
325 (47. Woche)	64	Nein	Nein	Nein	X
327 (47. Woche)	32	Nein	Ja	Ja	
328 (47. Woche)	45	Nein	Nein	Nein	X
332 (48. Woche)	64	Nein	Nein	Nein	X
334 (48. Woche)	13	Nein	k.A.	k.A.	X
335 (48. Woche)	95	Nein	Nein	Nein	X
351 (51. Woche)	80	Nein	Ja	Nein	
354 (51. Woche)	10	Nein	k.A.	Nein	X
355 (51. Woche)	65	Nein	k.A.	Nein	X
373 (54. Woche)	52	Nein	Ja	Nein	2 Wochen nach CI-Op
381 (55. Woche)	60	Nein	Nein	Nein	X
388 (56. Woche)	25	Nein	Ja	Nein	
390 (56. Woche)	51	Nein	Ja	Nein	
391 (56. Woche)	63	Nein	Ja	Nein	

392 (57. Woche)	71	Nein	Ja	Nein	
402 (58. Woche)	33	Nein	k.A.	Nein	X
403 (58. Woche)	97	Ja	Nein	Nein	Aufnahme bei ECI
405 (58. Woche)	15	Ja	Ja	Nein	
406 (59. Woche)	13	Ja	Ja	Nein	
409 (59. Woche)	29	Ja	Nein	Nein	
410 (59. Woche)	95	Ja	Nein	Nein	
417 (60. Woche)	56	Ja	Nein	Nein	
422 (61. Woche)	24	Ja	Nein	Nein	
423 (61. Woche)	39	Nein	Nein	Nein	Ab Laut 26 CI + HH
429 (62. Woche)	54	Ja	Ja	Nein	
430 (62. Woche)	53	Nein	Nein	Nein	Ab Laut 43 CI + HH
442 (64. Woche)	74	Ja	Ja	Nein	
445 (64. Woche)	53	Ja	Ja	Nein	
450 (65. Woche)	51	Ja	Ja	Nein	
454 (65. Woche)	55	Ja	Ja	Nein	
460 (66. Woche)	70	Nein	Nein	Nein	Ab Laut 56 CI + HH
466 (67. Woche)	60	Ja	Ja	Nein	
468 (67. Woche)	55	Ja	Ja	Nein	

478 (69. Woche)	50	Ja	Ja	Nein	CI neu angepasst
481 (69. Woche)	32	Ja	Ja	Nein	
482 (69. Woche)	25	Ja	Ja	Nein	
483 (70. Woche)	56	Nein	Nein	Nein	Ab Laut 31 CI + HH
501 (72. Woche)	51	Nein	Nein	Nein	Ab Laut 25 CI + HH
Σ	2007				

k.A. Keine bekannten Angaben, x = Aufnahme unter Hörbeeinträchtigung

Farblgende: Blau = Vor CI-Operation unter Therapie mit Hörhilfen
Orange = Nach CI-Operation und vor ECI
Grün = Nach ECI

2.3.1.5 Kind CI-AE

Bei Kind CI-AE wurden im Alter zwischen 465 und 645 Tagen insgesamt 23 Aufnahmen angefertigt. Bei diesem Probanden wurde die Schwerhörigkeit erst im Alter von 15 Monaten diagnostiziert, nachdem den Eltern die ausbleibende Sprachentwicklung ihres Kindes aufgefallen war. Die ersten Aufnahmen (Tage 465, 468, 474) erfolgten in diesem Fall vor der Primärversorgung der Patientin mit Hörhilfen, die folgenden unter der beidseitigen Versorgung mit Hörhilfen (Tage 477, 485, 502). Nach der rechtsseitigen CI-Operation im Alter von 506 Tagen wurden zunächst Aufnahmen mit sowie ohne Tragen der Hörhilfe auf dem linken Ohr erstellt (Tage 513-550), nach der Erstanpassung des Cochlea-Implantats im Alter von 552 Tagen wurden sämtliche Aufnahmen unter Tragen des CI auf dem rechten Ohr aufgezeichnet.

Am Tag vor der ersten aufgezeichneten Aufnahme war bei CI-AE durch BERA in Sedierung eine an Taubheit grenzende Schwerhörigkeit auf beiden Ohren gesichert worden. Das Alter bei Diagnosesicherung war unter allen aufgezeichneten Kindern bei diesem Probanden mit 465 Tagen am höchsten. Die Mutter berichtete, es sei ihr bereits ein halbes Jahr zuvor aufgefallen, dass ihr Kind im Gegensatz zu seinen Altersgenossen kein Babbeln entwickelt habe. Daraufhin sei sie mehrmals beim Kinderarzt vorstellig geworden, dieser habe sie aber mit einer leichten Entwicklungsverzögerung vertröstet. Sie habe sich daraufhin selbstständig um einen Termin in der Klinik für Hals-, Nasen-, und Ohrenkrankheiten in Würzburg bemüht, wo sich ihr Verdacht, das Kind könne einen Hörschaden haben, bestätigte. In der BERA unter Sedierung waren auf dem linken Ohr bis 100 dB, auf dem rechten Ohr bis 90 dB keine Signale ableitbar. Die Aufnahmedaten werden in folgender Tabelle 7 zusammengefasst:

Tabelle 7: Datenerhebung bei CI-AE

CI-AE					
Alter bei Aufnahme [d]	Anzahl der aufgezeichneten Laute	CI rechts	HH links	HH rechts	Bemerkungen
465 (67. Woche)	51	Nein	Nein	Nein	X
468 (67. Woche)	40	Nein	Nein	Nein	X
474 (68. Woche)	88	Nein	Nein	Nein	X
477 (69. Woche)	44	Nein	Ja	Ja	1. Aufnahme mit Hörhilfen
485 (70. Woche)	49	Nein	k.A.	k.A.	X
502 (72. Woche)	69	Nein	Ja	Ja	
513 (74. Woche)	22	Nein	Nein	Nein	Eine Woche nach CI-Op
521 (75. Woche)	66	Nein	Nein	Nein	X
531 (77. Woche)	54	Nein	Nein	Nein	X
537 (77. Woche)	50	Nein	Nein	Nein	X
541 (78. Woche)	75	Nein	Nein	Nein	X
550 (79. Woche)	36	Nein	Ja	Nein	Auftreten erster staccatoartiger Rhythmus Elemente
554 (80. Woche)	59	Ja	Nein	Nein	Erste Aufnahme nach ECI
565 (81. Woche)	58	Ja	Nein	Nein	Erste Babbellaute vorhanden
572 (82. Woche)	19	Ja	Nein	Nein	
575	28	Ja	Nein	Nein	

(83. Woche)					
583 (84. Woche)	79	Ja	Nein	Nein	
604 (87. Woche)	38	Ja	Nein	Nein	AE war zuvor 2 Wochen krank, erste kanonische Babbellaute
612 (88. Woche)	66	Ja	Nein	Nein	
617 (89. Woche)	2	Ja	Nein	Nein	Wackelkontakt in Gerät
618 (89. Woche)	52	Ja	Nein	Nein	
626 (90. Woche)	50	Ja	Nein	Nein	
645 (93. Woche)	60	Ja	k.A.	Nein	
Σ	1155				

k.A. Keine bekannten Angaben, x = Aufnahme unter Hörbeeinträchtigung; HH= Hörhilfe

Farblegende: Rot = Vor Beginn der Therapie der Schwerhörigkeit
Blau = Vor CI-Operation unter Therapie mit Hörhilfen
Orange = Nach CI-Operation und vor ECI
Grün = Nach ECI

2.4 *Datenanalyse*

2.4.1 Auswerteroutinen

Das Grundsystem für die Datenanalyse ist ein im Zentrum für vorsprachliche Entwicklung & Entwicklungsstörungen (Poliklinik für Kieferorthopädie der Universität Würzburg) installiertes Computer-Speech-Lab vom Typ CSL 4400 der Firma KAY Elemetrics/USA. Zusätzlich werden ein Ergänzungs-Software-Modul dieses Systems (MDVP-Modul) sowie ein spezielles Cry-DATA-Analyse-Programm (CDAP, Fa. pw-project) zur Auswertung verwendet. Diese Systeme sind für die klinische Lautanalyse zuverlässig erprobt und in zahlreichen Studien erfolgreich eingesetzt worden.

Die Analyse der erhobenen Daten wird in verschiedene Bearbeitungsschritte unterteilt. Diese Analyseschritte sind im nachfolgenden Flussdiagramm zusammengestellt.

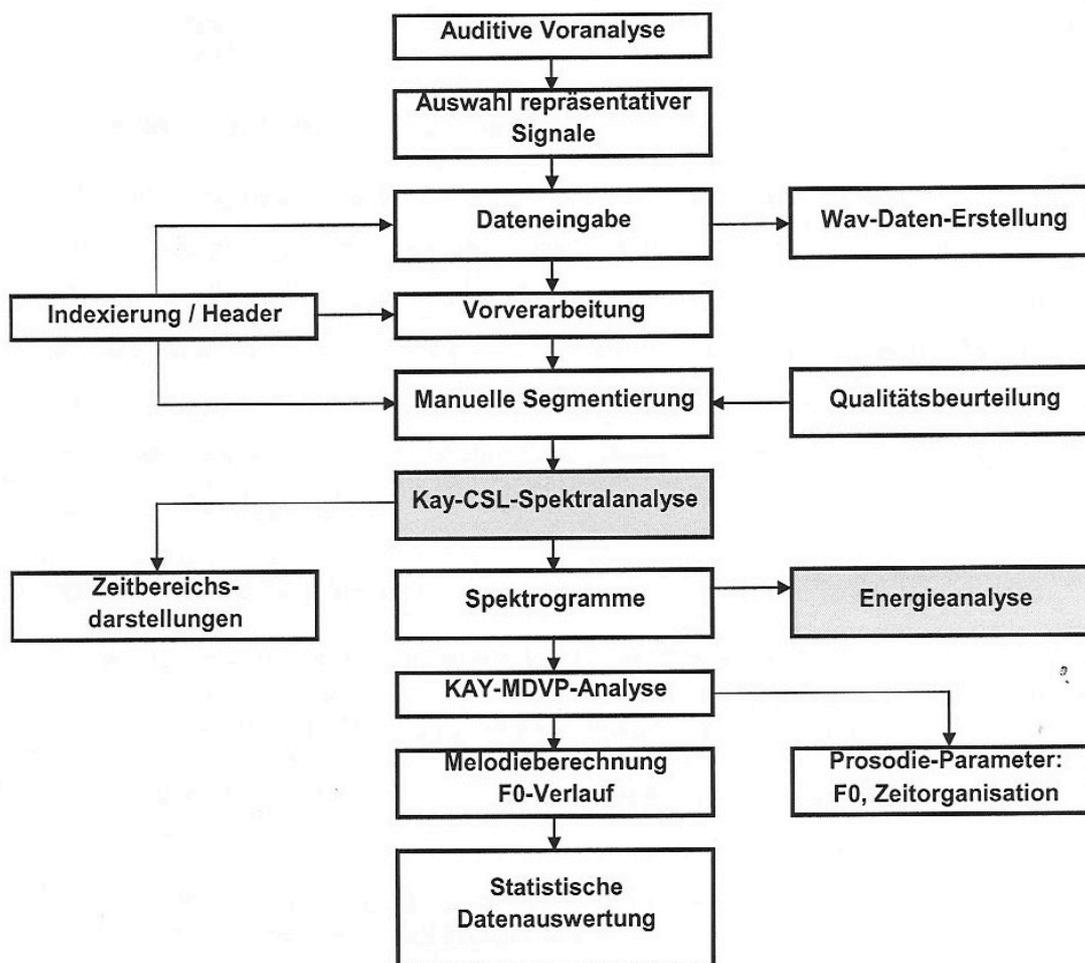


Abbildung 1: Flussdiagramm der verwendeten Auswerteroutinen (Quelle: Wermke 2002).

Mit Hilfe des CSL-Systems wurden die digital aufgezeichneten Lautaufnahmen in den Analysecomputer eingelesen, geeignete Signale (einzelne Laute) bzw. Signalserien (Schrei-, Babbelsequenzen) anhand der Ergebnisse der Zeitbereichsanalysen ausgewählt und abgespeichert. Diese Prozedur ist die Grundvoraussetzung für alle nachfolgenden signalanalytischen Auswertungen. Bei der Abspeicherung werden die Signale sowohl als Zeitsignal als auch als Audio-Signal archiviert bzw. in die Datenbank übernommen. Außerdem wurden mit Hilfe von manuell erstellten Protokollen (Digitalisierungsprotokollen) Besonderheiten einzelner Laute der Probanden dokumentiert.

2.4.2 Spektralanalyse

Nach der Digitalisierung wurden mit Hilfe des CSL-Systems von jedem der insgesamt 6787 Einzelsignale Frequenz-Spektrogramme (Schmalband-Spektrogramme, Bandbreite 45 Hz) errechnet und grafisch dargestellt. Die Energiedichte war hierbei in einer Grauwertskala codiert, wobei schwarz die höchste Energiedichte darstellt.

Mit Hilfe der Spektrogramme (Sonagramme) wurden spektrale Eigenschaften der Laute, wie ihre Harmonischen-Struktur, auftretende Frequenzsprünge und der veränderliche Gehalt an Subharmonischen (siehe Abbildung 3) oder phonatorischen Rauschbanden (siehe Abbildung 4) untersucht. Durch diese Darstellung in Form von Sonagrammen erhält man Informationen über die spektralen Änderungen in der Zeit sowie eine Visualisierung des gehörten Klangspektrums (siehe Abbildung 2). Die Sonagramme aller Lautäußerungen wurden für jeden einzelnen Probanden nach chronologischem Alter digital archiviert (CDAP). Damit ist ein direkter Vergleich erreichter Entwicklungsstadien zwischen den Kindern möglich.

In Abbildung 2 ist ein Beispiel für die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Schmalband-Spektrogramme dargestellt. Sofern nicht weiter angegeben sind alle abgebildeten Spektrogramme bis zu einer Frequenz von 4 kHz gezeichnet worden.

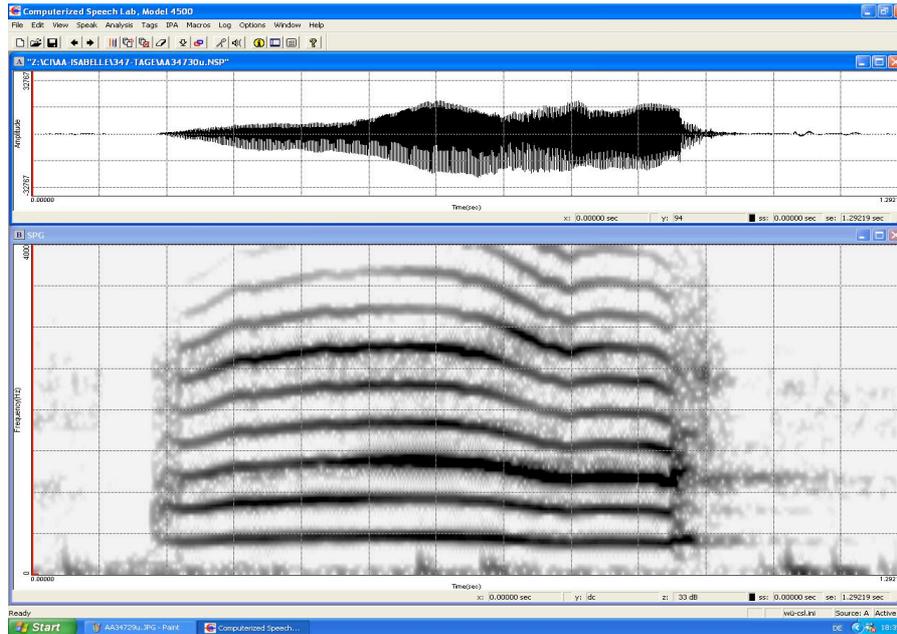


Abbildung 2: Beispiel eines Schmalband-Spektrogramms eines Säuglingslautes.

Das obere Fenster stellt die Amplitude (y-Achse) eines aufgezeichneten Signals im Zeitverlauf (x-Achse) dar, im unteren Fenster werden die einzelnen Frequenzkomponente bis 4 kHz (y-Achse) auf einer linearen Skala im Zeitverlauf (x-Achse) dargestellt. Die Melodie des Lautes fällt im letzten Drittel leicht ab um dann wiederum leicht anzusteigen, deutlich erkennbar an den oberen Harmonischen. Die dritte Harmonische weist in diesem Fall die stärkste Energiedichte auf.

In Abbildung 3 ist ein Spektrogramm eines Säuglingslautes dargestellt, der Subharmonische und einen plötzlichen Sprung der Grundfrequenz (Shift) enthält. Abbildung 4 enthält das Spektrogramm eines Lautes mit phonatorischen Rauschelementen (Dysphonation, vgl. Hirschberg 1999). Diese drei Lauteigenschaften entstehen bei Säuglingen durch Instabilitäten und Störungen der laryngealen Steuerung bei der Lautproduktion (Mende et al. 1990, Herzel et al. 1994, Steinecke, Herzel 1995). Sie treten bei jungen Säuglingen noch relativ häufig auf, werden mit zunehmendem Alter aber seltener (Mende et al. 1990).

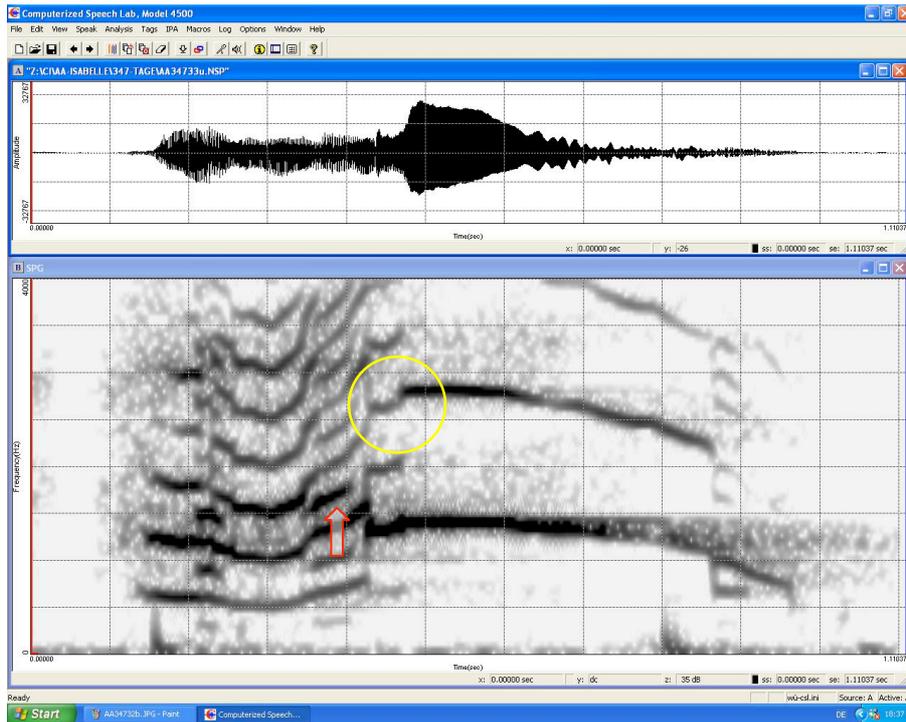


Abbildung 3: Beispiel eines Lautes mit Subharmonischen sowie einem Frequenzsprung
 Treten zwischen den Harmonischen weitere Frequenzbänder auf (Pfeil), spricht man von Subharmonischen. Etwa zu Beginn des zweiten Drittels des Lautes sieht man zusätzlich einen Frequenzsprung (Kreis).

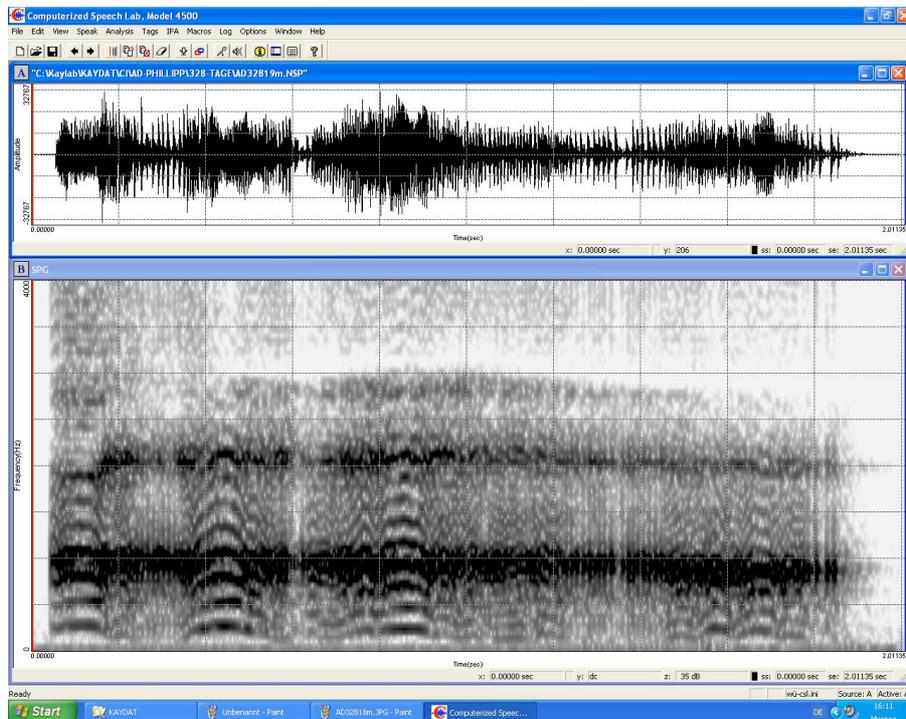


Abbildung 4: Beispiel eines Lautes mit phonatorischem Rauschen.

Auch Resonanzeigenschaften sind im Spektrogramm erkennbar. Für die Analyse von Resonanzeigenschaften (Formanten) werden in der Sprachforschung neben spezifischen Analysen wie dem Linear-Prediction-Coding (LPC) häufig Breitband-Spektrogramme genutzt. In der vorliegenden Arbeit werden keine Formantanalysen durchgeführt. Es werden hier nur Intensitätsunterschiede zwischen der Grundfrequenz und ihren Harmonischen betrachtet. Dazu eignen sich Schmalbandspektrogramme. Bei der Auswertung der Spektrogramme ist aufgefallen, dass die hörbeeinträchtigen Säuglinge und Kleinkinder häufig eine, im Vergleich zu Spektrogrammen nicht hörbeeinträchtigter Säuglinge und Kleinkinder, stark erhöhte Intensität der Grundfrequenz aufweisen. Dieses Phänomen führen wir auf die Wirkung einer taktil-kinästhetischen Wahrnehmung zurück und vermuten, dass die auditive Rückkopplung beim Erzeugen dieser Laute eine untergeordnete Rolle spielt. Die durchgeführten Analysen unterstützen diese Interpretation (siehe Kapitel 4). Dieses Phänomen ist bei hörbeeinträchtigten Säuglingen unseres Wissens bisher nicht in der Literatur beschrieben worden. In der vorliegenden Arbeit wird für Lautäußerungen, die dieses Phänomen zeigen, der Begriff „propriozeptive Laute“ eingeführt. Beispiele solcher Laute finden sich in Abbildung 5.

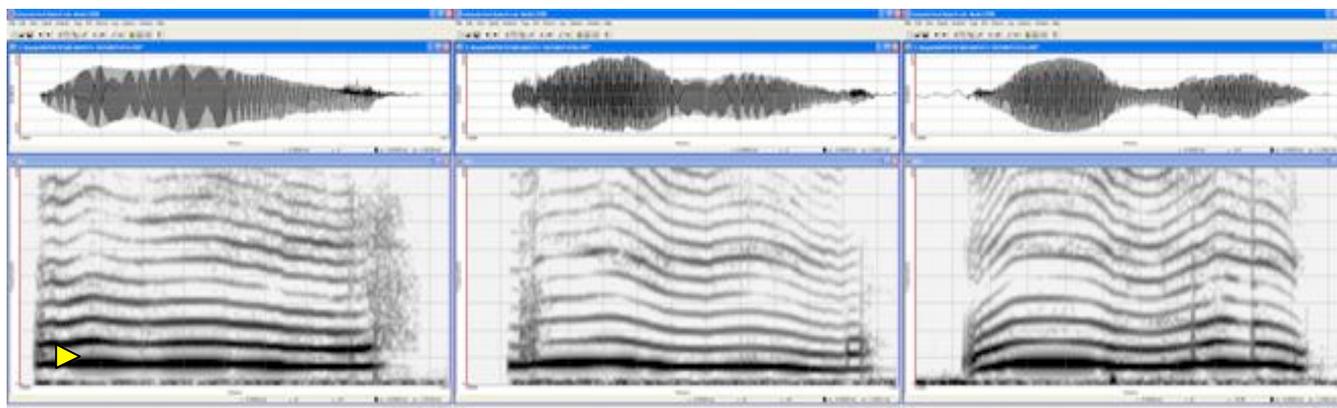


Abbildung 5: Beispiele von typischen propriozeptiven Lauten

Die Grundfrequenz (Pfeil) der dargestellten Laute weist eine deutlich stärkere Intensität als die darüberliegenden Harmonischen auf.

3. Ergebnisse

3.1 Auswertung prä- und postoperativer Lauteigenschaften

Sowohl die Diagnose einer hochgradigen Hörbeeinträchtigung, als auch die Indikation zur individuellen Therapie der Probanden ist in einem unterschiedlichen Alter gestellt worden. Um trotzdem eine relative Vergleichbarkeit zwischen den Probanden zu ermöglichen, bezieht sich die Interpretation der Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit auf das Höralter des individuellen Probanden. Hierbei wird bei Beginn der Therapie mittels Hörhilfen zum ersten Mal von einer relevanten Hörfähigkeit des jeweiligen Probanden ausgegangen und die Zählung des Höralters in Tagen hier begonnen. Dies ermöglicht einen geeigneten Vergleich der Probanden untereinander sowie den Vergleich der Probanden mit normal hörenden Kindern, deren Höralter mit dem chronologischen Alter identisch ist. Zusätzlich wird das tatsächliche Alter der Probanden angegeben, um Entwicklungsrückstände zu normal hörenden Kindern sowie abhängig vom Zeitpunkt der Primärversorgung mit Hörhilfen auch zu den anderen hörgeschädigten Probanden aufzeigen zu können.

3.1.1 Proband CI-AA

Die vorsprachliche Entwicklung von Kind CI-AA wurde bereits als Einzelfallstudie in der Magisterarbeit von Anette Schuhmann (2007) dargestellt. Die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Phänomene beziehen sich auf den Zeitraum von der ersten Aufnahme mit 297 Tagen (Höralter 179 Tage) bis zur Aufnahme am 469. Tag (Höralter 351 Tage) und sind in Anlehnung an die oben genannte Arbeit erstellt.

Zu Beginn der Aufnahmen im Höralter von 179 Tagen (chronologisches Alter 297 Tage) befand sich das Kind bereits im vorkanonischen Babbelstadium. Dieses hielt bis zum Höralter von 229 Tagen (chronologisches Alter 347 Tage) an. Das Kind war zu diesem Zeitpunkt bereits mit einem CI versorgt, das ungefähr 2 Monate vor dem ersten Auftreten von Babbellauten erstangepasst worden war. Zusätzlich trug AA eine Hörhilfe auf dem linken Ohr.

Bei der ersten Aufnahme im Höralter von 179 Tagen fielen zu Beginn eher propriozeptive Laute auf (siehe Abb. 6).

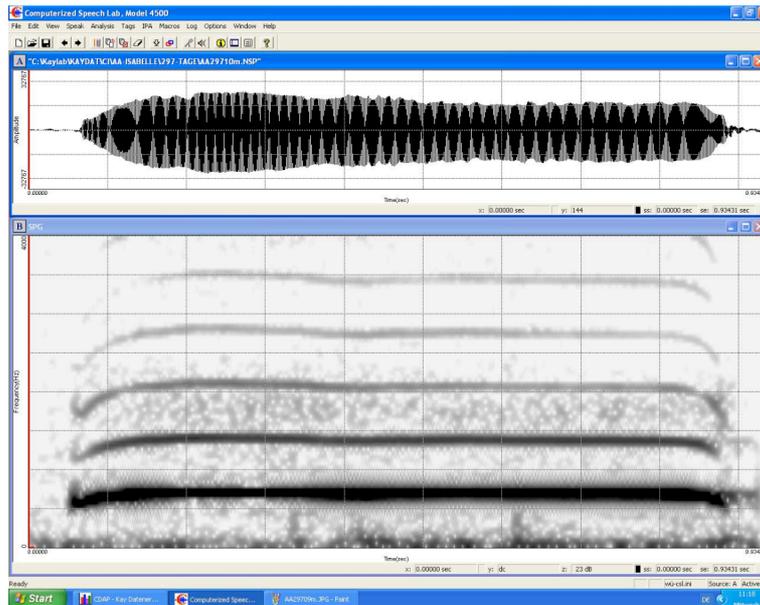


Abbildung 6: Beispiel eines propriozeptiven Lautes von CI-AA im Höralter von 179 Tagen (chronologisches Alter 297 Tage).

Im späteren Verlauf der Aufnahme desselben Tages traten jedoch auch vorkanonische Babbellaute mit „normaler“ Energieverteilung über die Harmonischen auf, die zusätzlich bereits deutliche Frequenzmodulationen aufwiesen (siehe Abb. 7).

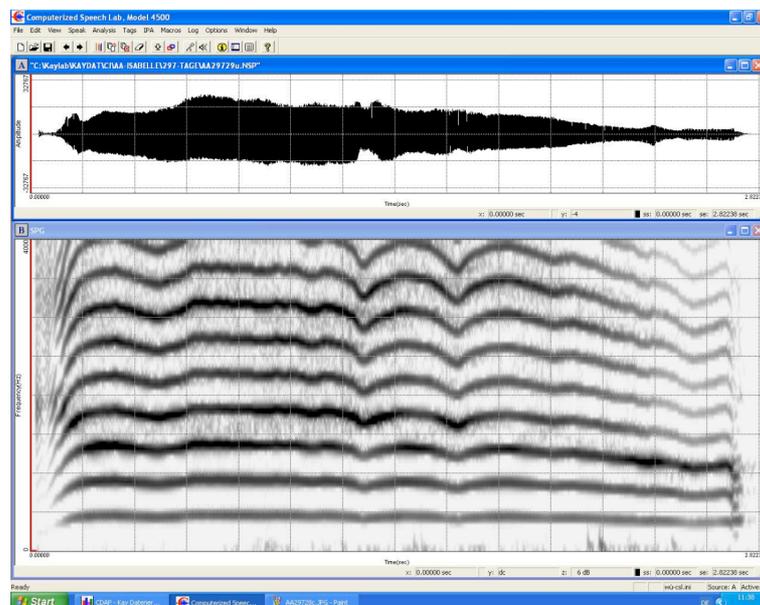


Abbildung 7: Beispiel eines vorkanonischen Babbellautes von CI-AA im Höralter von 179 Tagen (chronologisches Alter 297 Tage).

Außerdem erzeugt das Kind während dieser Aufnahme auch Laute im „Kopfreger“. Diese werden dann ausgiebig in den nachfolgenden 2 Aufnahmen im Höralter von 181 und 183 Tagen (chronologisches Alter 299 und 302 Tage) beobachtet (siehe Abb. 8).

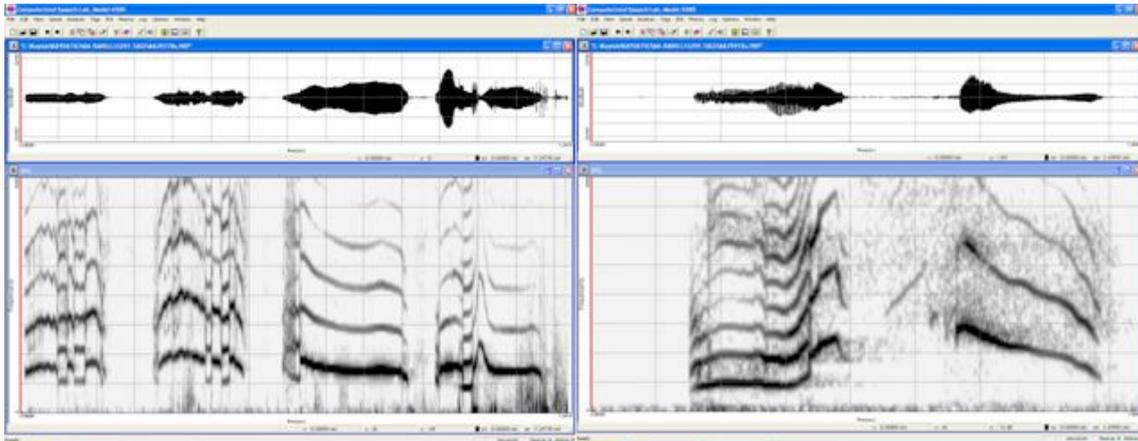


Abbildung 8: Übung von Lautproduktionen im „Kopfreger“ von CI-AA im Höralter von 179 und 181 Tagen (chronologisches Alter 297 und 299 Tage).

Im Höralter von 184 Tagen (chronologisches Alter 302 Tage) trat bei AA der erste Babbellaut im Sinne einer Konsonant-Vokal-Kombination auf (vgl. Definition des Babbelns durch Oller 2000). Diese Kombinationen wurden in den darauf folgenden Aufnahmen im Höralter von 185 und 186 Tagen (chronologisches Alter 303 und 304 Tage) häufiger beobachtet und erwecken den Eindruck eines intentionalen Ausprobierens („Üben“). Erste staccatoartig geformte Rhythmusübungen, wie sie auch bei den anderen in der vorliegenden Arbeit untersuchten Kindern vorkamen, traten bei CI-AA im Höralter von 229 Tagen (chronologisches Alter 347 Tage) auf (siehe Abb. 9).

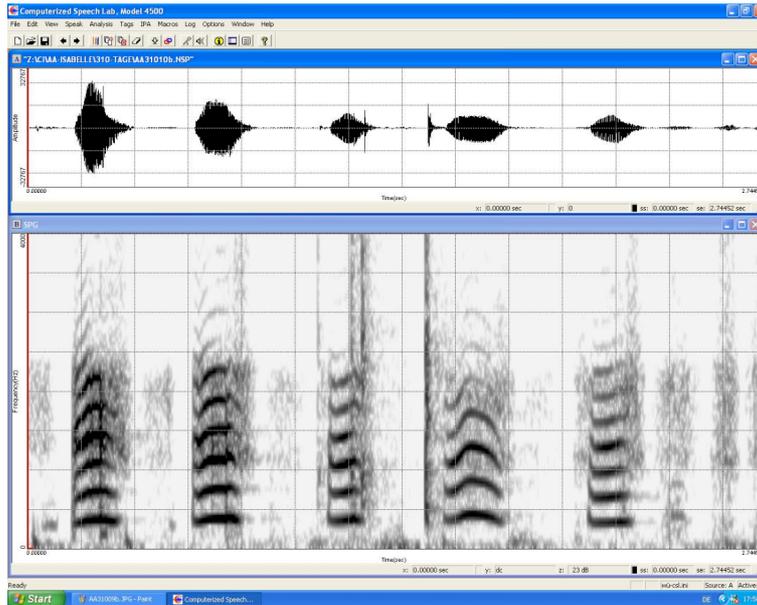


Abbildung 9: Erstes Auftreten von Sequenzen kurzer Laute auf den Vokal a im Höralter von 229 Tagen (chronologisches Alter 347 Tage).

Im Höralter von 234 Tagen (chronologisches Alter 352 Tage) traten bei CI-AA auch das erste Mal neben reduplizierten (Abbildung 10) auch variierte Babbelsilben auf, d.h. eine Kombination verschiedener Konsonant-Vokal-Verbindungen (siehe Abbildung 11).

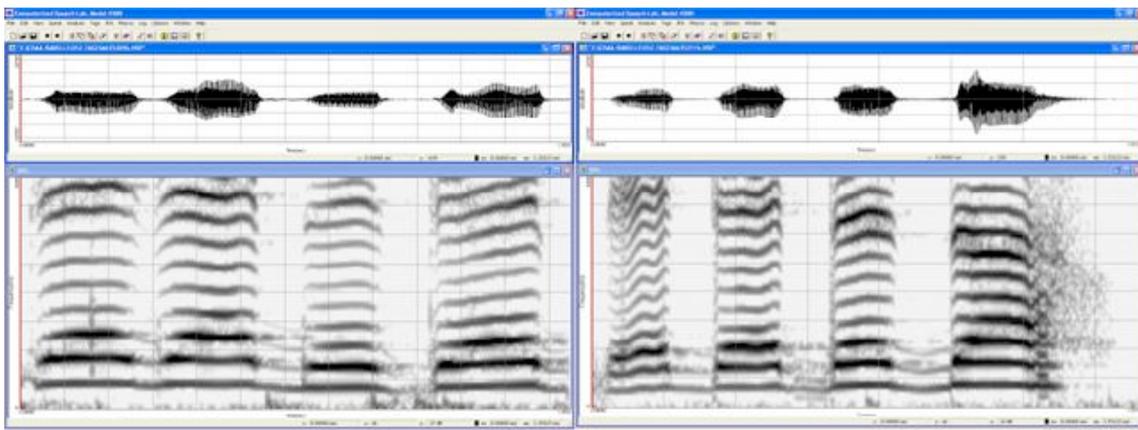


Abbildung 10: Erstes Auftreten kanonischen Babbels bei CI-AA im Höralter von 234 Tagen (chronologisches Alter 352 Tage).

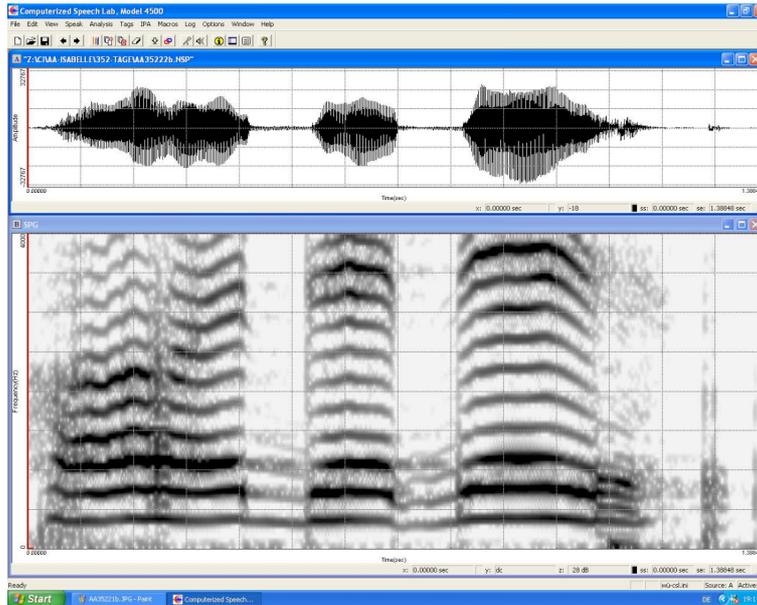


Abbildung 11: Beispiel eines variierten Babbel-Lautes von CI-AA im Höralter von 234 Tagen (chronologisches Alter 352 Tage).

Diese ersten kanonischen Babbel-Laute wurden in der darauf folgenden Aufnahme im Höralter von 240 Tagen (chronologisches Alter 358 Tage) weiter „geübt“ und bezüglich ihrer Frequenzmodulation variiert. Außerdem erzeugte CI-AA die erlernten Babbler auch im Kopfregeister, also auf einem höheren Grundfrequenzniveau.

Bei der darauf folgenden Aufnahme im Höralter von 244 Tagen (chronologisches Alter 362 Tage) traten wiederum vermehrt einfache, kurze sowie hochfrequente Übergangslaute auf, wie sie bereits zu Beginn des Aufnahmezeitraums im Höralter von 179 Tagen (chronologisches Alter 297 Tage) aufgefallen waren.

Im Höralter von 254 Tagen (chronologisches Alter 372 Tage) kam das im Höralter von 234 Tagen beschriebene Lautrepertoire mit reduplizierten sowie variierten Babbel-Lauten wieder vollständig vor. Zusätzlich kamen bei dieser Aufnahme erstmals prosodische Lautelemente vor, die belegten, dass das Kind die mütterliche Sprechweise nachahmte ohne dabei schon verständliche Worte zu artikulieren („talking“, Locke 1993).

Im darauf folgenden Zeitraum bis zum Höralter von 283 Tagen (chronologisches Alter 401 Tage) wurden die erlernten Lauteigenschaften in verschiedenen Variationen weiter „geübt“ und dadurch in ihrer Ausführung verfeinert.

Ab der Aufnahme im Höralter von 290 Tagen (chronologisches Alter 408 Tage) verweigerte das Kind das linksseitige Tragen der Hörhilfe. Daher sind die Aufnahmen ab diesem Zeitpunkt ausschließlich mit rechtsseitig getragenen CI erstellt. In der Aufnahme im Höralter von 290 Tagen (chronologisches Alter 408 Tage) fallen neben Babbelsilben mit unterschiedlichen prosodischen Elementen wieder hochfrequente, einfachere Laute auf.

Im Höralter von 304 Tagen (chronologisches Alter 422 Tage) tritt erstmals eine direkte Reaktion des Kindes auf die mütterliche Sprache auf. CI-AA ahmt dabei auf die Frage der Mutter: "Wo ist der Ball?" das Wort „Ball“ nach (siehe Abbildung 12).

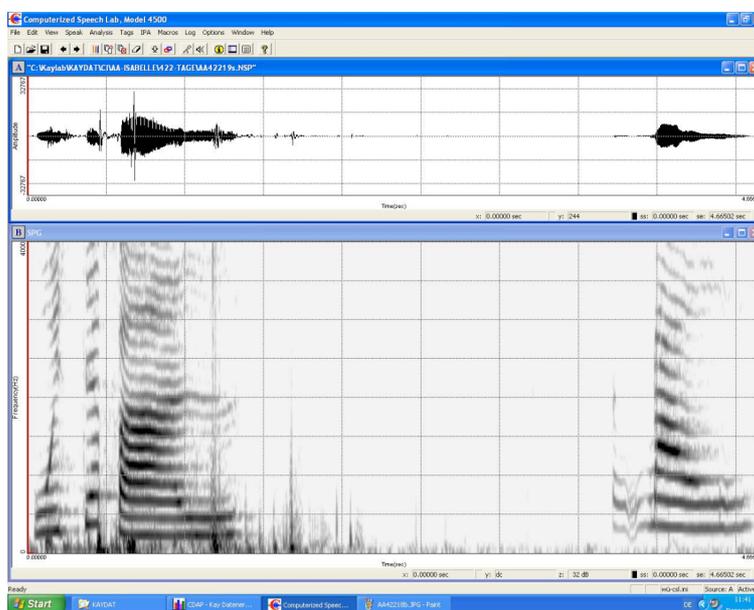


Abbildung 12: Erstes Imitieren von Wörtern als direkte Reaktion von CI-AA auf mütterliche Sprache im Höralter von 304 Tagen (chronologisches Alter 422 Tage).

3.1.2 Proband CI-AB

Die erste Aufnahme von Kind AB liegt im Höralter von 2 Tagen (Alter 214 Tage) vor. Beim Vergleich mit Kind AE, bei welchem eine Aufnahme im exakt gleichen Höralter vorliegt, fallen sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede auf. Bei Kind AB sind die für hörbeeinträchtigte Säuglinge typischen hochfrequenten Lautäußerungen ($F_0 > 1000$ Hz) nachweisbar. Diese hochfrequenten Laute sind aber, im Gegensatz zu Kind

AE im selben Höralter (siehe Abb. 58), alle deutlich stabiler moduliert. Es treten Doppel- und Dreifachbögen auf (siehe Abb. 13). Die Dreifachbögen treten auch im normalen, nicht hochfrequenten Phonationsmodus auf (siehe Abb. 16). Dies konnte bei Kind AE im selben Höralter nicht beobachtet werden (siehe Kap. 3.1.5).

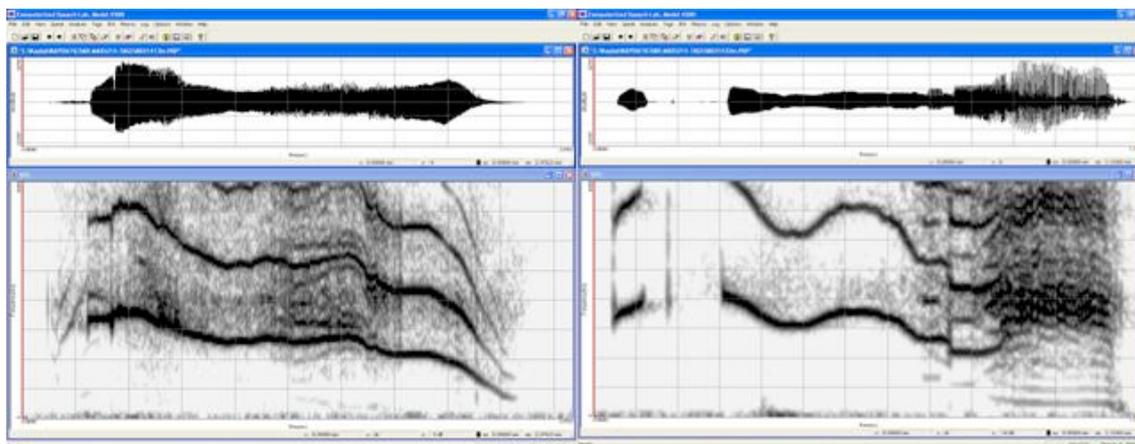


Abbildung 13: Modulierte hochfrequente Laute bei CI-AB im Höralter von 2 Tagen (chronologisches Alter 214 Tage).

Eine weitere Gemeinsamkeit mit den anderen Probanden ist das Auftreten propriozeptiver Laute (siehe Abb. 14). Kind AB zeigt aber neben einfachen einbögenigen propriozeptiven Lauten (Abb.14 links im Bild) bereits doppelböge, einfache Babbellaute (Abb. 14 mittig und rechts im Bild). Diese kommen sowohl im Zusammenhang als auch segmentiert vor.

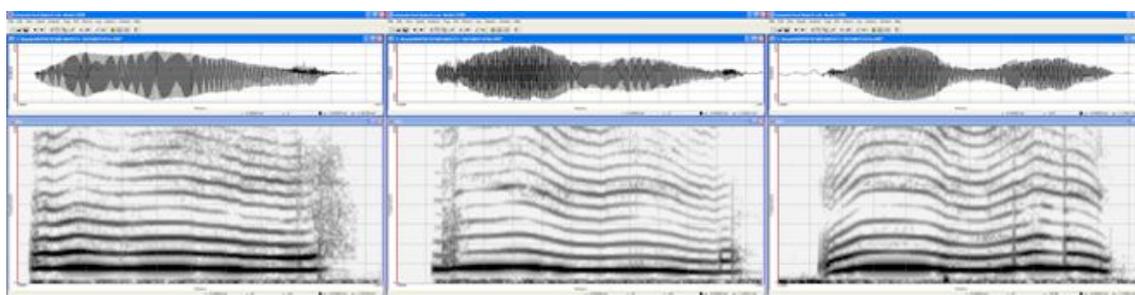


Abbildung 14: Beispiele propriozeptiver Laute von Kind AB im Höralter von 2 Tagen (chronologisches Alter 214 Tage). Links ein einfacher propriozeptiver Laut, mittig und rechts propriozeptive Laute in Form von doppelbögenigen, einfachen Babbellauten.

Im Zeitraum vor der CI-Operation, in welchem das Kind mit Hörhilfen versorgt war, gab es auch zwei Aufnahmen, die ohne Hörhilfen erstellt wurden. Ein Vergleich der Lautäußerungen an diesen Tagen mit denen von Tagen mit eingesetztem Hörgerät zeigt deutliche Unterschiede: In Abbildung 15 ist ein dreibögiger einfacher Babbellaut dargestellt, der ohne eingesetzte Hörhilfen am 225. Tag (Höralter 13 Tage) erzeugt wurde.

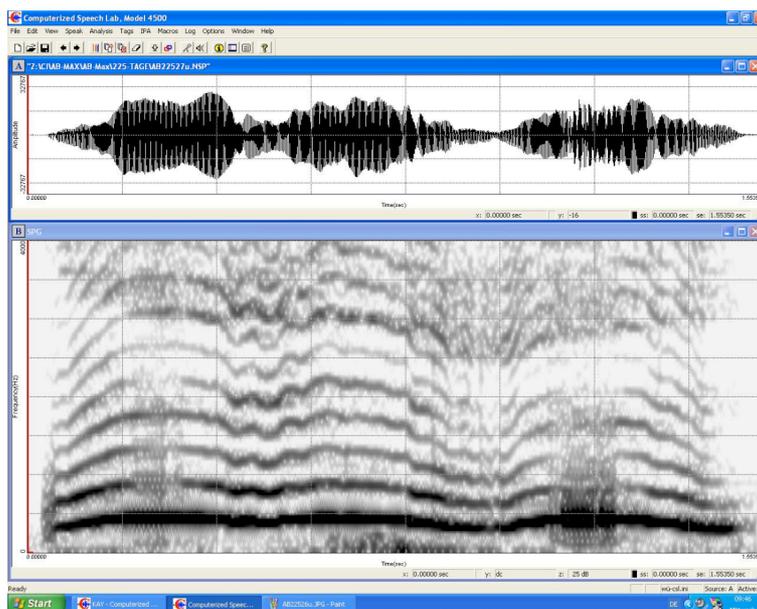


Abbildung 15: Dreibögiger Babbellaut ohne Verwendung von Hörhilfen im Höralter von 13 Tagen (chronologisches Alter 225 Tage).

Von der Melodiestructur (3 Bögen) ähnelt er dem in Abbildung 16 dargestellten Laut, der mit eingesetzten Hörhilfen bereits 11 Tage früher im Höralter von 2 Tagen erzeugt wurde. Die Wirkung der auditiven Hörkontrolle auf die Lautproduktion erkennt man zum einen am Wegfallen der Resonanz auf der Grundfrequenz (propriozeptiver Laut) sowie an der Abnahme der Kurzzeitvariabilität der Grundfrequenz (Instabilität), die sich als Vibrato-ähnliches Phänomen in dem Laut in Abbildung 15 zeigt.

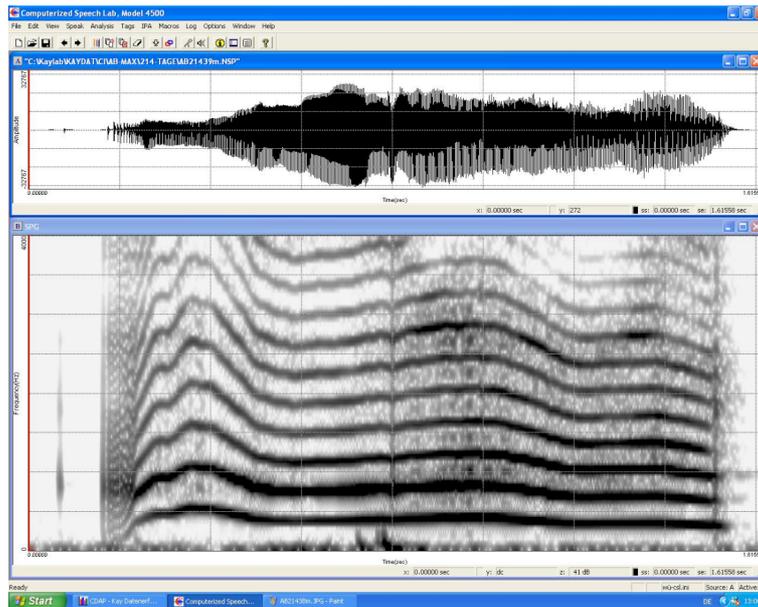


Abbildung 16: Dreibögiger Babbellaut unter Therapie mit Hörhilfen im Höralter von 2 Tagen (chronologisches Alter 215 Tage).

Die Lautaufnahmen von AB wurden teilweise nur unter einseitig getragener Hörhilfe, teilweise mit beidseitig getragenen Hörhilfen durchgeführt.

Die mittels Frequenzspektren ausgewerteten Lautstrukturen, die bei einseitig getragendem Hörgerät von Kind AB erzeugt wurden, unterscheiden sich bei den hier durchgeführten Analysen nicht von denen, die bei beidseitig eingesetzten Hörhilfen beobachtet wurden. Es treten in beiden Fällen sowohl hochfrequente Laute, als auch Dysregulationsphänomene wie Subharmonische, phonatorische Rauschbanden und Frequenzsprünge auf. Dies gilt auch für alle nachfolgend beschriebenen Lauteigenschaften von Kind AB, so dass hier nicht zwischen Lauten bei einseitig bzw. beidseitig getragenen Hörhilfen unterschieden wird.

Kind AB zeigt hierbei kinästhetisch wirkungsvolles Lautieren in Form von Lippenvibrationen (siehe Abb. 17).

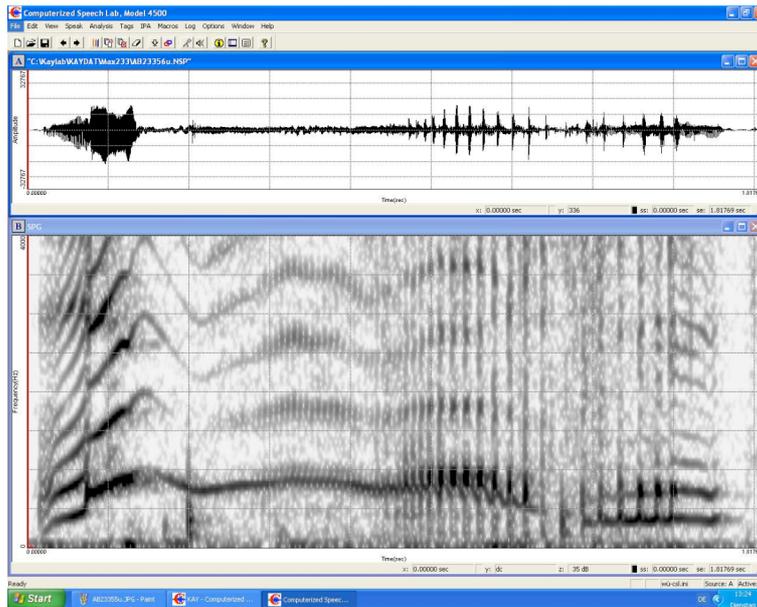


Abbildung 17: Beispiel eines von CI-AB durch Lippenvibration modifizierten Lautes im Höralter von 21 Tagen (chronologisches Alter 233 Tage).

Im Höralter von 43 Tagen (chronologisches Alter 255 Tage) zeigt Kind AB staccatoartige rhythmische Lautsequenzen (Abbildung 18).

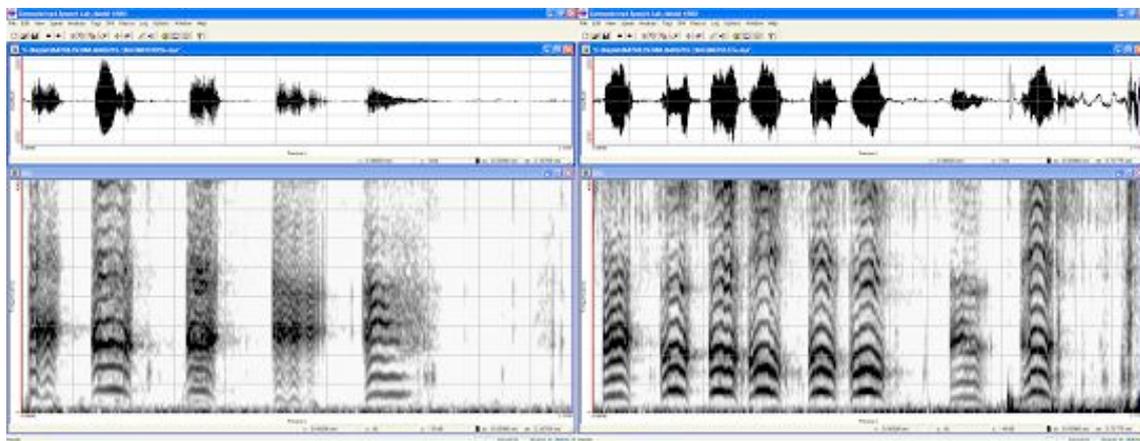


Abbildung 18: Erstmaliges Auftreten von rhythmischen Sequenzen bei CI-AB im Höralter von 43 Tagen (chronologisches Alter 225 Tage).

Im Höralter von 78 Tagen (chronologisches Alter 290 Tage) probiert Kind AB diese Staccatorhythmen in den verschiedensten Variationen aus, indem er einzeln sowie nacheinander den Rhythmus und die Betonung der einzelnen Elemente variiert (siehe Abb. 19).

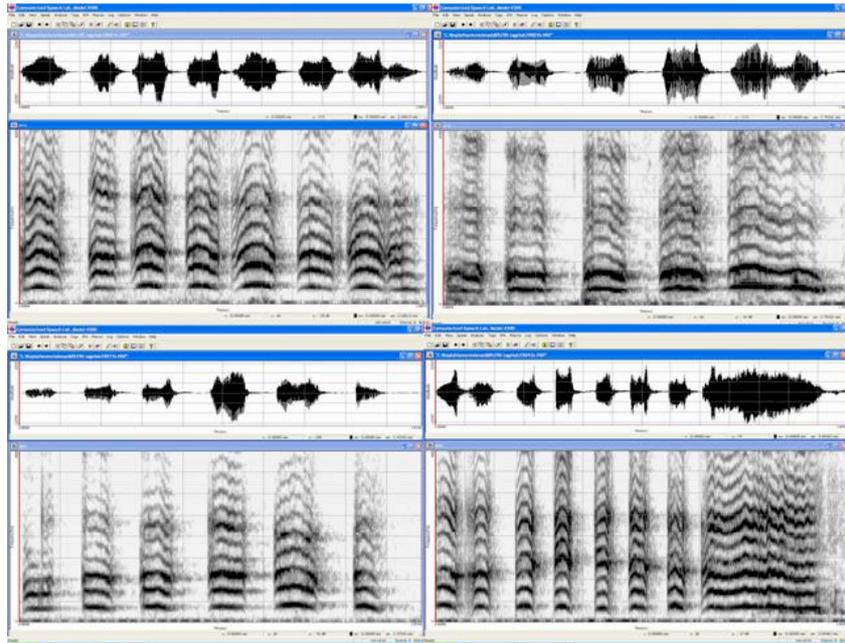


Abbildung 19: Rhythmus- und Betonungselemente durch CI-AB im Höralter von 78 Tagen (chronologisches Alter 290 Tage).

An diesem Tag tritt auch der erste zweisilbige Babbellaut auf, der eine Konsonant-Vokal-Kombination enthält (Abbildung 20). Obwohl man hier wieder die starke Resonanz auf den ersten beiden Harmonischen erkennt, reflektiert sich die Artikulation im Übergang vom Konsonanten zum Vokal im Spektrogramm (siehe Abbildung 20).

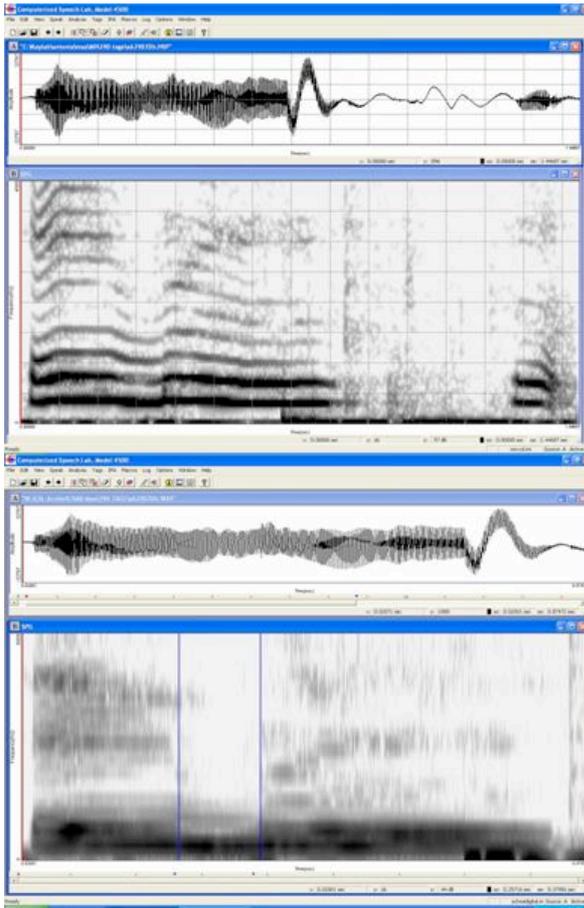


Abbildung 20: Auftreten der ersten Konsonant-Vokal-Kombination. Im unten gezeigten Ausschnitt des korrespondierenden Breitband-spektrogramms zeigt sich der mit dem blauen Cursor markierte Übergang vom Konsonant zum Vokal. Auch ein Formantübergang ist sichtbar.

Im Höralter von 107 Tagen (chronologisches Alter 319 Tage) übt AB diese Rhythmusvariationen auch in höheren Frequenzen (Kopfreger) (Abbildung 21).

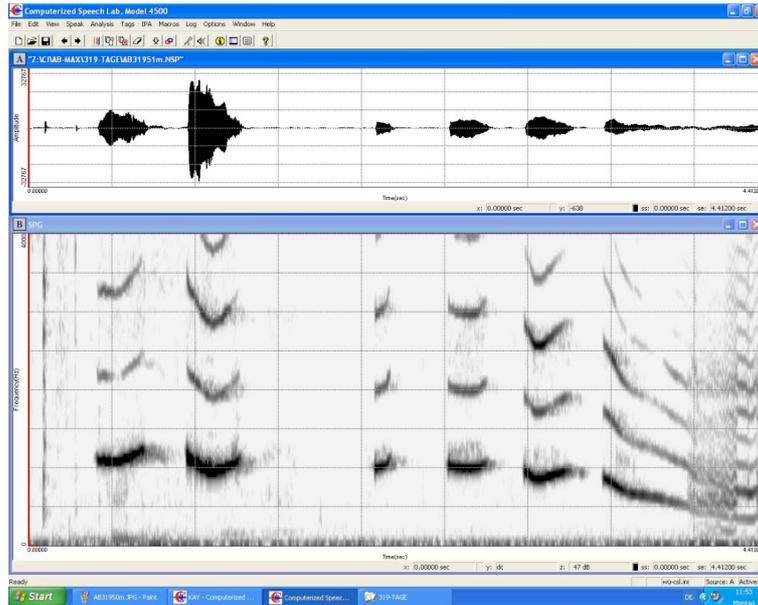


Abbildung 21: Rhythmusvariationen mit hoher Grundfrequenz im Höralter von 107 Tagen (chronologisches Alter 319 Tage).

In der folgenden Zeit werden vor allem langsame Frequenzmodulationen beobachtet, so dass von zwei- bis fünfbögigen Melodien verschiedenste Varianten auftreten. Alle diese Bögen zeichnen sich durch eine geringe Kurzzeitvariabilität bei gleichzeitiger Vergrößerung der Frequenz-Modulations-Amplituden der Melodiebögen aus.

Ab einem Höralter von 133 Tagen (chronologisches Alter 345 Tage) treten diese Mehrfachbögen kombiniert mit ausgeprägten artikulatorischen Aktivitäten auf, die den Beginn der Entwicklungsstufe des kanonischen Babbelns anzeigen (Abbildung 22).

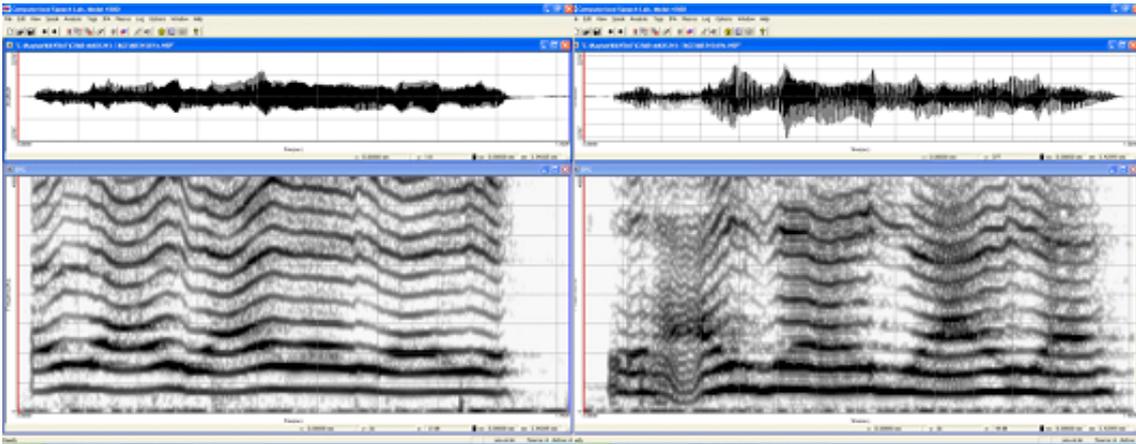


Abbildung 22: Erstes Auftreten von kanonischem Babbeln bei CI-AB im Alter von 345 Tagen (Höralter 133 Tage).

Am 346. Tag (Höralter 134 Tage) variiert er auf diese Weise bereits Vokale und Konsonanten (Abbildung 23).

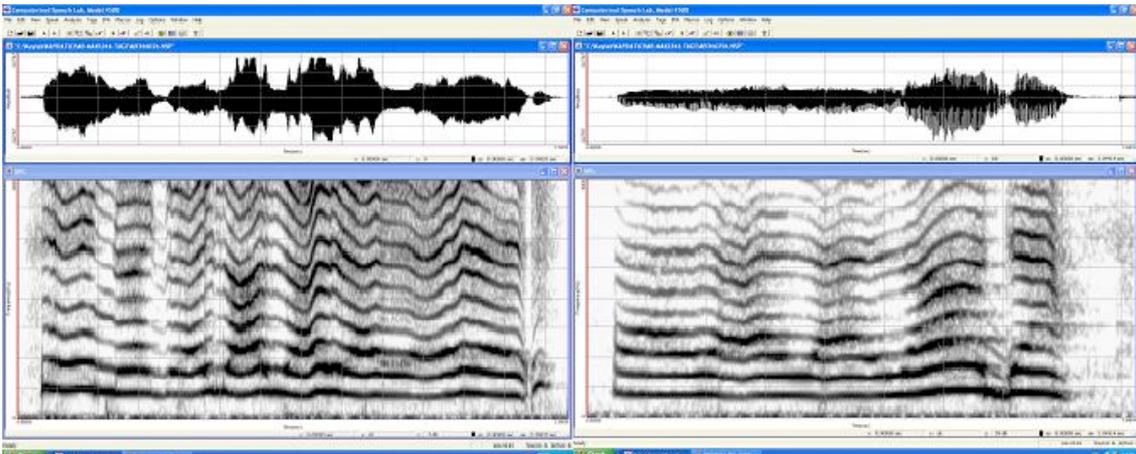


Abbildung 23: Erste Konsonant-Vokal-Kombinationen innerhalb des kanonischen Babbelns bei CI-AB.

Hierbei werden die Silben noch nicht präzise repetitiv artikuliert (Oller 2000), sondern klingen noch „verwaschen“. Wohlgeformte kanonische Silben treten das erste Mal mit 372 Tagen im Höralter von 160 Tagen auf (Abbildung 24).

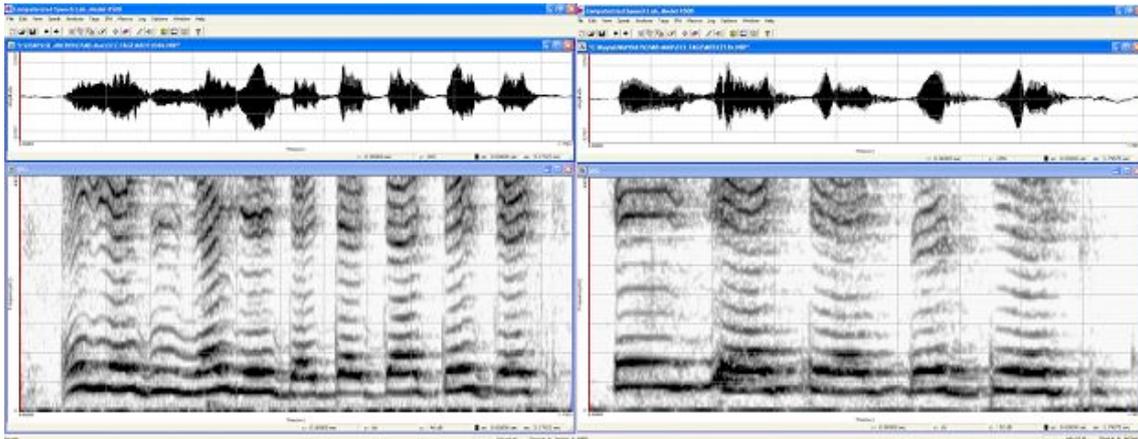


Abbildung 24: Erstes Auftreten von präzisen repetitiven Silben im Höralter von 160 Tagen (chronologisches Alter 372 Tage).

Im Höralter von 223 Tagen (chronologisches Alter 435 Tage) treten wohlgeformte kanonische Babblers auf, welche die für das Deutsche typische Prosodie zeigen. Das Kind variiert die Prosodie, so dass die produzierten Lautsequenzen wie Sprechen klingen („talking“ Locke 1993). Damit ist die nächste Stufe in der vorsprachlichen Entwicklung erreicht.

Die ersten Wörter oder Protowörter treten am 439. Tag (Höralter 227 Tage) beim Anschauen von Bilderbüchern auf, z.B. „se-se“ für Katze).

In den folgenden 45 Tagen zeigt AB ein ausgeprägtes freudvolles Lautieren mit intensiver Nutzung aller ihm zur Verfügung stehenden Mittel (Registerwechsel, Rhythmuswechsel, Silbenvariation, Betonungsübung).

Am 485. Tag (Höralter 273 Tage) erzeugt AB verschiedene, auch für Aussenstehende verständliche Tierlaute („Wau-wau“, „Mäh“, „Kikeriki“, „Miau“, Pferdewiehern). Daneben tritt das erste Mal ein Wort für Ball auf. Dieses ist unverständlich artikuliert, aber im Kontext zu erkennen. Außerdem formuliert er das Wort Tick-Tack für Uhr.

Bis zum 567. Tag bleibt es im Wesentlichen bei diesen Lauten, die wiederum in verschiedensten Variationen modifiziert, moduliert und dadurch trainiert werden. Am 567. Tag (Höralter 355 Tage) wird ein neuer Entwicklungsschritt deutlich: AB benennt Personen anhand von Photos und artikuliert dabei deutlich „Opa“ und „Oma“.

Erste Zweiwortsätze treten im Alter von 593 Tagen (Höralter 381 Tage) auf. Diese sind allerdings nur aus dem Kontext heraus verständlich wie „ha baj“ (da Ball), „ei bäh“ (ein Schaf) oder „da bau“ (der Baum). Auch die isoliert gesprochenen Einzelwörter werden

noch häufig mit fehlenden oder „falschen“ Konsonanten artikuliert z.B. „bei“ für Ball oder „geiss“ für „heiß“ (heiße Kerze).

In den nächsten Tagen bildet AB ausgiebig Zweiwortsätze in der Form „da xx“ (xx=Substantiv).

Am 597. Tag (Höralter 385 Tage) erfolgte die CI-Operation. Die darauf folgenden Aufnahmen, einschließlich der im Alter von 635 Tagen (Höralter von 423 Tagen), wurden unter einseitiger Hörgeräteversorgung links und nicht aktiviertem CI rechts erstellt.

Auf Photos benennt er am 619. Tag (Höralter 407 Tage) weitere Personen wie „Anna“ („Anda“) und „Klaus“ („die Gau“). „Da Ball“ wird das erste Mal verständlich artikuliert. Am 619. Tag (Höralter 407 Tage) tritt auch der erste Mehrwortsatz auf („Da Kucku-geh-ma-oh-oh-Papa“). Der Mehrwortsatz wurde an diesem Tag erstmalig und bis zum 751. Tag (Höralter von 539 Tagen) einmalig beobachtet. In den folgenden Tagen bis zur Erstaktivierung des CI im Alter von 636 Tagen (Höralter 424 Tage) werden weiterhin Zweiwortsätze in Form von Substantiven und zugehörigen Artikeln geäußert (teilweise richtige Artikel). Auch ein deutlicher Zuwachs im Wortrepertoire ist zu beobachten. Allerdings fallen bei der Artikulation der Wörter nach wie vor das Fehlen von Konsonanten bzw. die Substitution von Konsonanten durch inkorrekte auf (z.B. für Fisch „Dich“ und für Haus „Hauf“, für Nein „Nei“, „Giegagu“ für Gießkanne).

Am 636. Tag erfolgte die Erstanpassung des CI (Höralter 424 Tage).

Die erste Aufnahme nach CI-Anpassung erfolgte am 658 Tag (Höralter 446 Tage) mit aktiviertem CI rechts und Hörhilfe links. Bei gleicher Syntaxstruktur (Zeiwortsätze, Artikel und Substantiv) fällt im Vergleich zu der Zeit vor der Erstaktivierung eine erstaunliche Verbesserung in der Artikulationsqualität und damit der Verständlichkeit der Laute auf. Die Worte und Sätze sind jetzt auch unabhängig vom Kontext für Außenstehende verständlich artikuliert.

Am 751. Tag (Höralter 539 Tage) fallen vor allen Dingen Dreiwortsätze der syntaktischen Form „Da ist xx“ auf. Daneben treten deutlich artikuliert Zweiwortsätze auf (z.B. „Die Ente“) und daneben auch Vierwortsätze in denen die oben erwähnte

Struktur („da ist xx“) erweitert wird. Bei den Substantiven treten jetzt häufiger dreisilbige Wörter auf (Tomate, Banane, Hubschrauber, Pandabär). Am 890. Tag (Höralter 678 Tage) äußert Kind AB ein großes Repertoire an Mehrwortsätzen die aus variablen syntaktischen Strukturen bestehen. Sie sind teilweise artikulatorisch noch inkorrekt aber von einer erstaunlichen Vielfalt an syntaktischen Strukturen.

3.1.3 Proband CI-AC

Die ersten Aufnahmen von Kind AC liegen im Höralter von 82 und 83 Tagen (chronologisches Alter 315 und 316 Tage) vor. AC trug bei diesen Aufnahmen keine Hörhilfen und es sind bei diesem Kind die einzigen zwei Aufnahmen die im Zeitraum vor der CI-Operation im Höralter von 90 Tagen (chronologisches Alter 323 Tage) vorliegen.

Das Kind zeigt ein- und doppelböigige, relativ kurze Nicht-Schrei-Laute, die mit geschlossenem Mund in Form des Konsonanten „m“ gebildet werden (siehe Abb. 25).

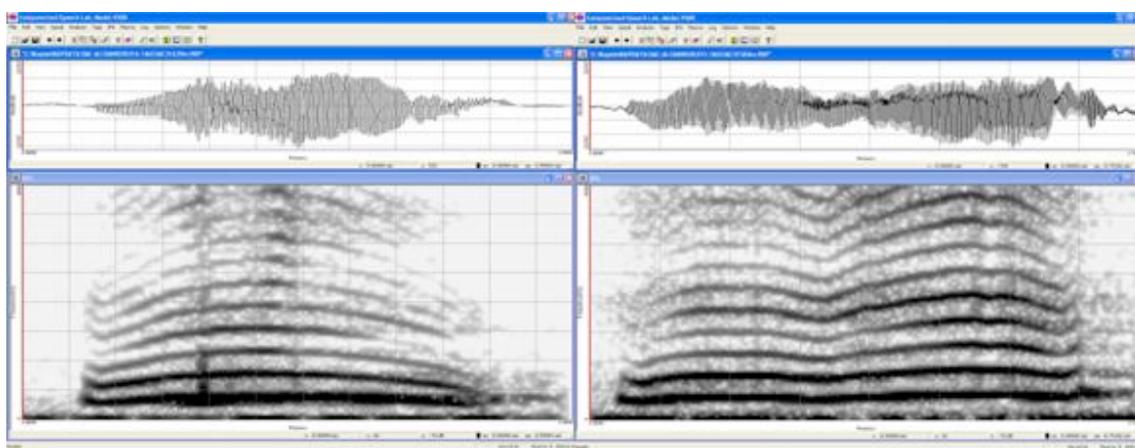


Abbildung 25: Nicht-Schrei-Laute bei Proband AC im Höralter von 82 und 83 Tagen. Auf der linken Abbildung sieht man einen einböigen, auf der rechten einen zweiböigen Laut.

Trotz dieser einfachen, relativ monotonen Struktur variiert AC in seinen Lautäußerungen die Betonung. Er zeigt auch segmentierte Strukturen (siehe Abb. 26) bei diesen einfachen Babblern. Hochfrequente Laute kommen im Vergleich zu den anderen in dieser Studie untersuchten Kindern selten vor.

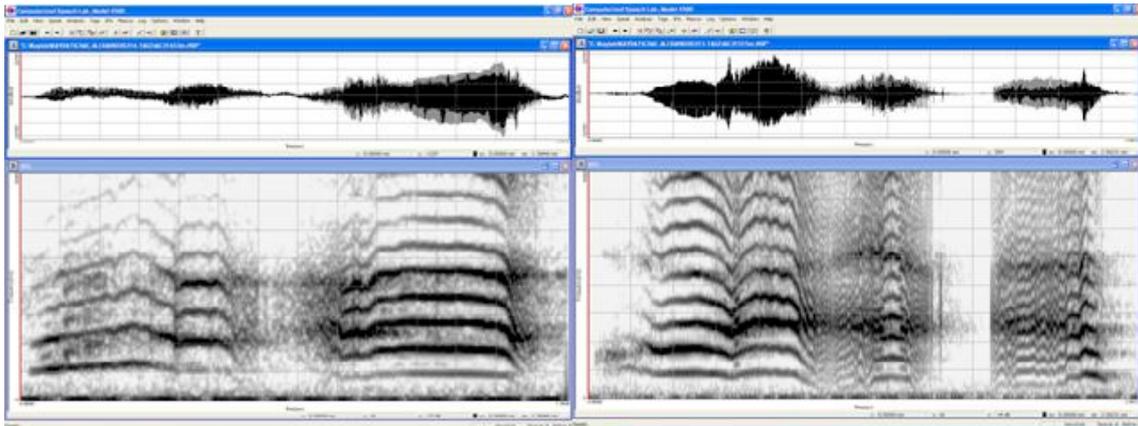


Abbildung 26: Segmentierte Strukturen bei AC im Höralter von 82 und 83 Tagen.

Zwischen dem 341. Tag (Höralter 108 Tage, 18 Tage nach der CI-Operation) und dem 367. Tag (Höralter 134 Tage) wurden 6 Aufnahmen mit links getragener Hörhilfe sowie nicht aktiviertem CI rechts erstellt.

Die Laute sind vorwiegend von einfacher Struktur (ein Melodiebogen), es treten jedoch erste artikulatorische Aktivitäten auf.

Zusätzlich beginnt AC im Alter von 345 Tagen (Höralter 112 Tage) Babbellaute bestehend aus Vokalen und nasalen Konsonanten zu zeigen. Weiterhin kommen jedoch überwiegend propriozeptive Laute sowie Lippenvibrationsmuster vor (Abb. 27).

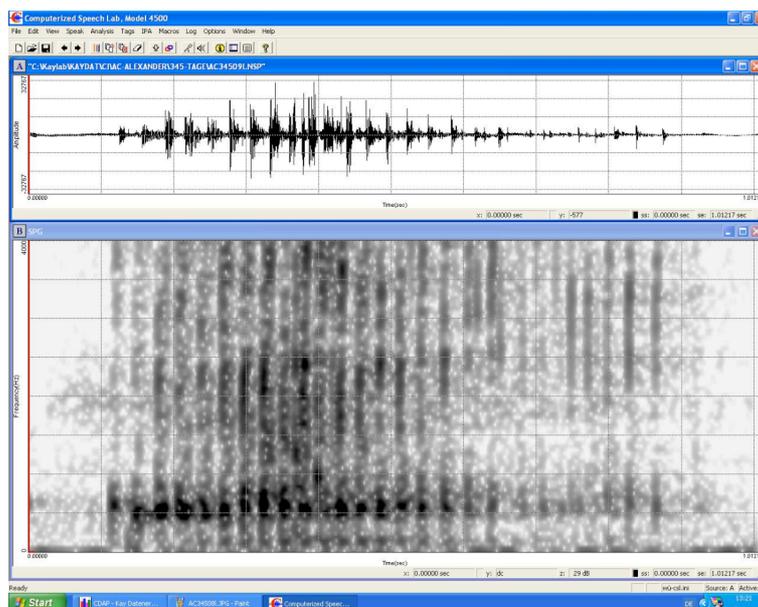


Abbildung 27: Von AC durch Lippenvibration modifizierter Laut im Höralter von 112 Tagen.

Am 345. Tag (Höralter 112 Tage) wird das Tuning zwischen Melodie- und Resonanzfrequenzen in ein- und mehrsilbigen Lauten trainiert (Abb. 28). Hierbei handelt es sich um eine Vorstufe der späteren Artikulationsfähigkeit. Mit 352 Tagen (Höralter 119) treten relativ plötzlich hochfrequente Laute auf.

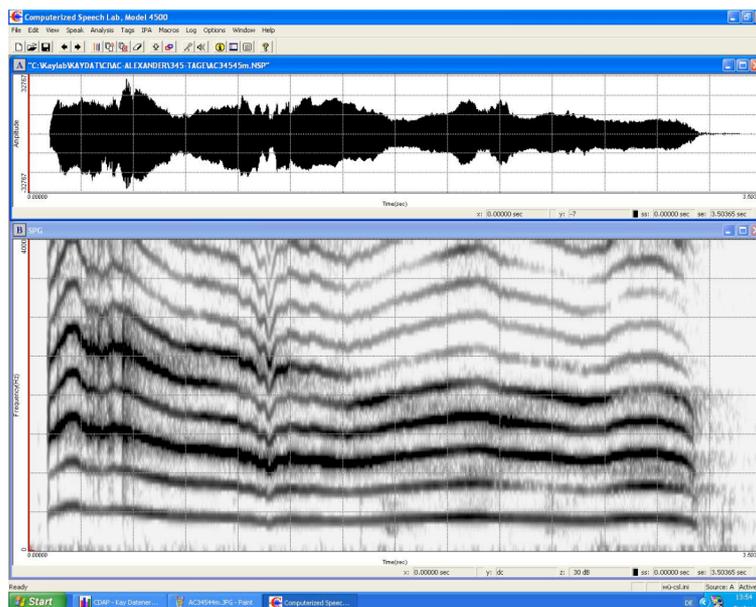


Abbildung 28: Auftreten intentionaler prä-artikulatorischer Fähigkeiten im Höralter von 112 Tagen.

6 Tage später, am 358. Tag (Höralter 125 Tage) wird das Lautrepertoire auffallend variabler. Die hochfrequenten Laute werden jetzt in Form von ausgeprägten Bögen moduliert (Abb. 29), Doppel- und Dreifachbögen werden unterschiedlich moduliert und segmentiert (Abb. 30).

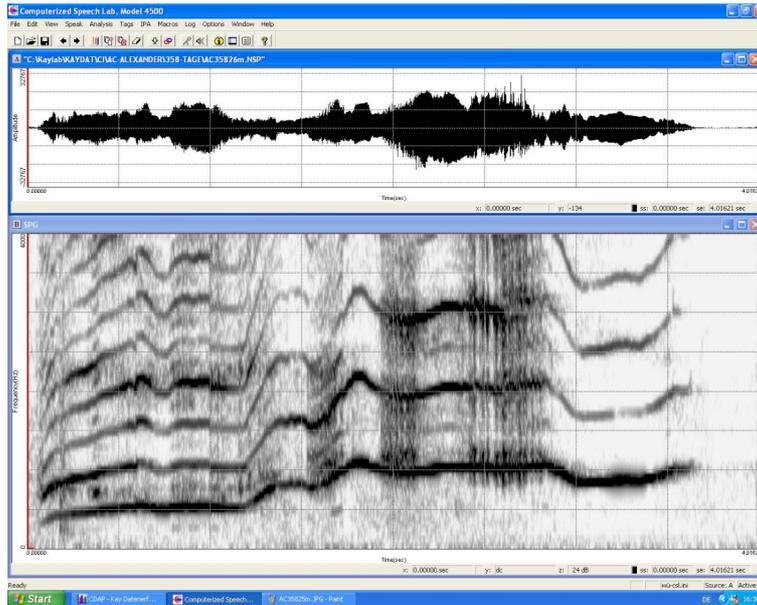


Abbildung 29: Modulation und Segmentierung eines hochfrequenten Lautes durch AC im Höralter von 125 Tagen.

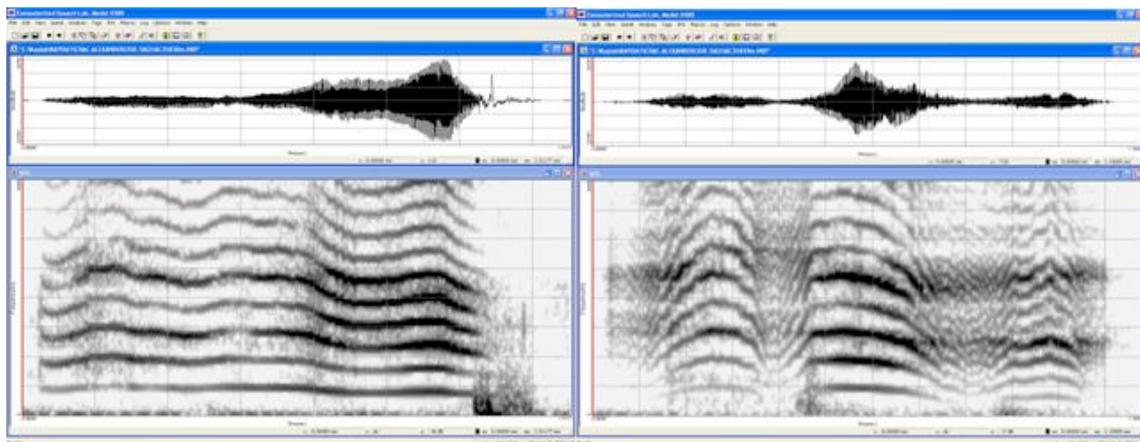


Abbildung 30: Modulation und Segmentierung eines zwei- und eines dreiböigen Lautes durch AC im Höralter von 125 Tagen.

Vokal-Konsonant/Vokal-Babbler einfachster Struktur treten auf. Trotz der Fähigkeit, diese Lautvariationen zu erzeugen, treten immer noch einfache propriozeptive Laute sowie Lippen-Vibrations-Laute (Abb. 31) in zahlreicher Form auf.

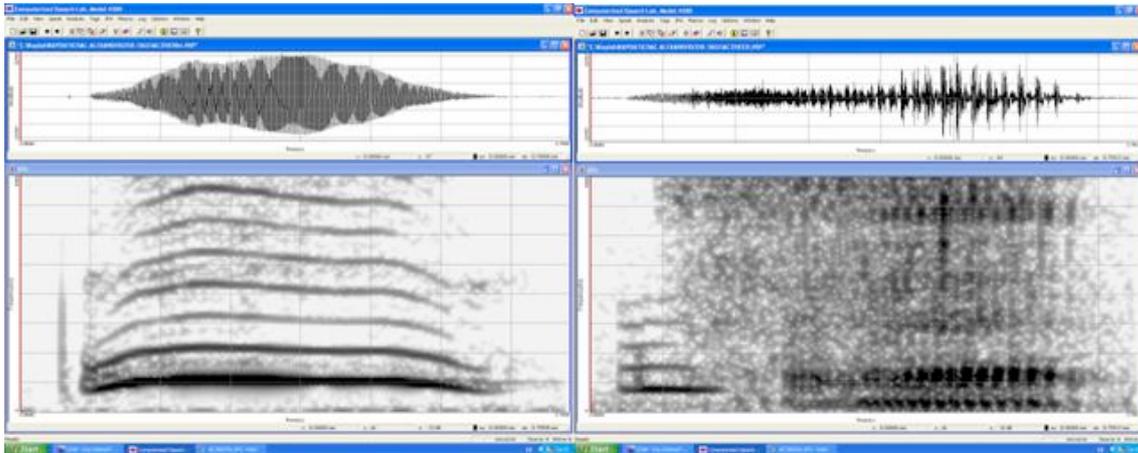


Abbildung 31: Propriozeptiver (links) und Lippen-Vibrations-Laut (rechts) von AC im Höralter von 125 Tagen.

Staccato-Rhythmen treten in einfacher Form das erste Mal im Alter von 367 Tagen (Höralter 134 Tage) auf (Abbildung 32). Diese sind jedoch stark von Rauschbanden überlagert.

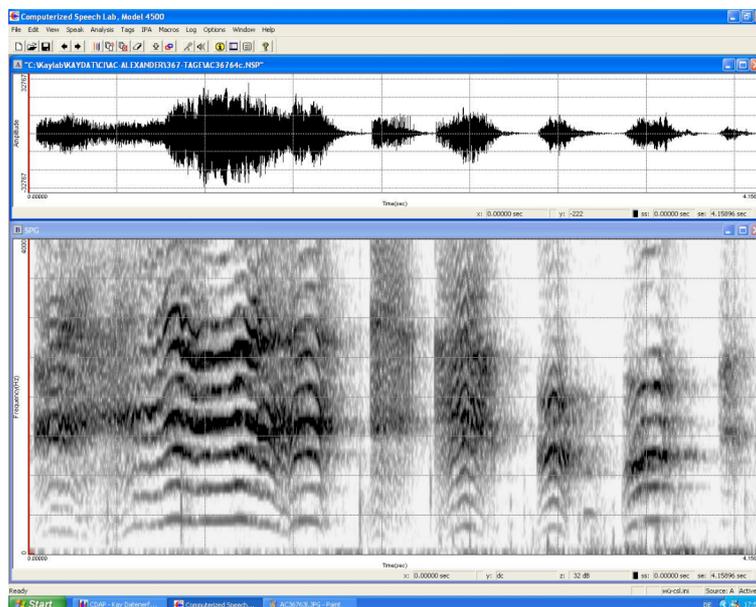


Abbildung 32: Erstes Auftreten von staccato-artigen Rhythmus-elementen bei AC im Höralter von 134 Tagen (chronologisches Alter 367 Tage).

Am 374. Tag (141 Tage Höralter), 6 Tage nach der Erstaktivierung des Cochlea-Implantats, werden diese staccatoartigen Sequenzen bereits wesentlich melodischer ausgeformt (Abbildung 33), die in der Abbildung 32 beschriebenen Rauschbanden sind deutlich zurückgegangen.

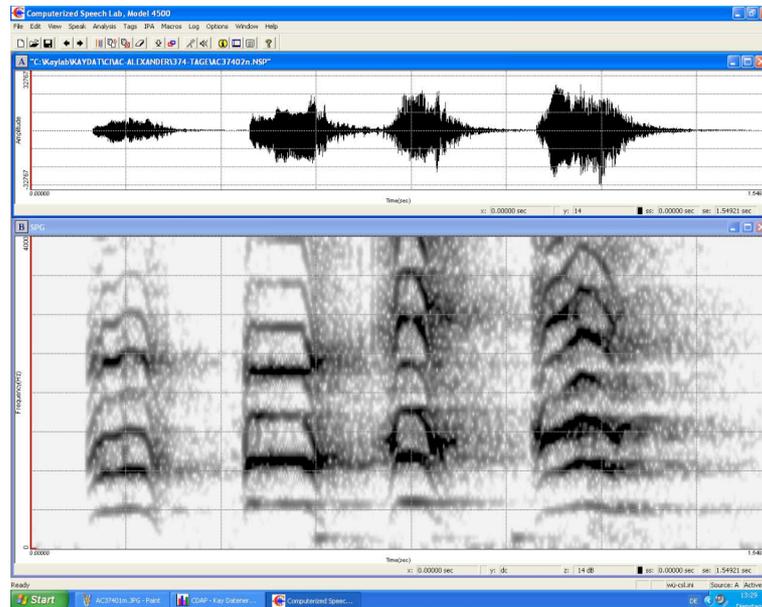


Abbildung 33: Deutlich melodisch ausgeformte rhythmisch erzeugte Elemente im Höralter von 141 Tagen (chronologisches Alter 374 Tage), 6 Tage nach Erstaktivierung des Cochlea-Implantats.

Unter Nutzung von Segmenten werden Rhythmusvariationen erzeugt (Abbildung 34), allerdings sind „Rauschkomponenten“ dabei relativ prominent.

Dies zeigt sich besonders deutlich am Beispiel des in Abbildung 35 dargestellten, glottal gepressten, unvollständig segmentierten Lautes. Zusätzlich tritt ein glottal gepresster, segmentierter Laut auf (Abb. 35).

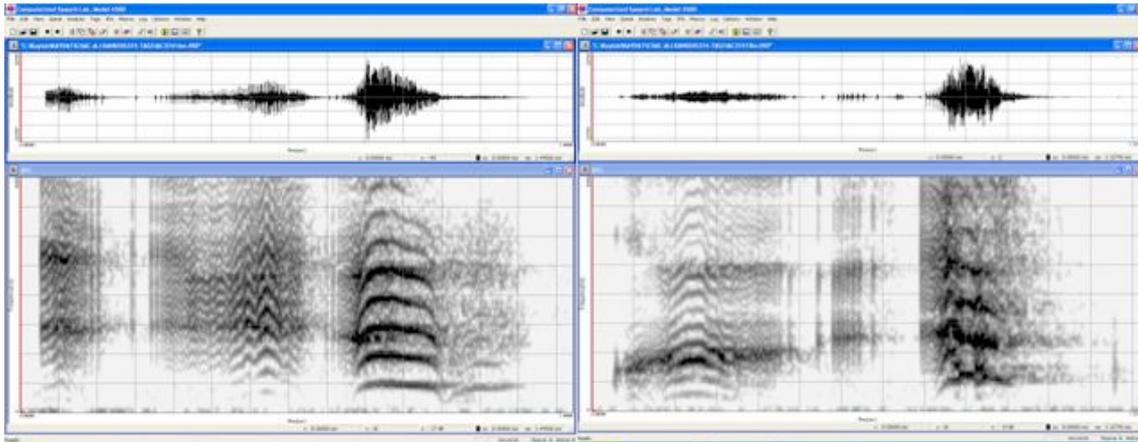


Abbildung 34: Rhythmusvariationen durch Segmentierungspausen - AC im Höralter von 141 Tagen (chronologisches Alter 374 Tage).

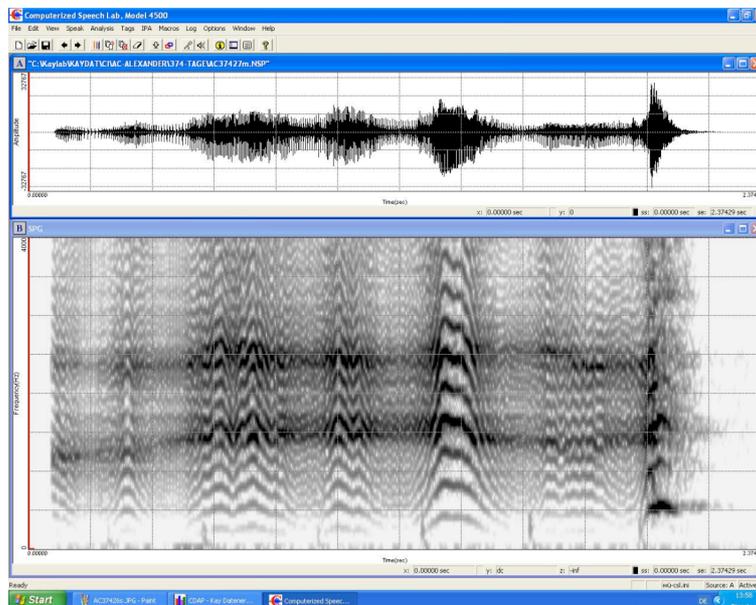


Abbildung 35: Auftreten eines glottal gepressten Lautes von AC im Höralter von 141 Tagen (chronologisches Alter 374 Tage).

Obwohl auch in diesem Alter immer noch propriozeptive Laute vorkommen (Abb. 36) und die Resonanzfrequenzen noch relativ „starr“ sind (siehe Abb. 35), fallen an diesem Tag vereinzelt auch Resonanzfrequenzbewegungen auf, die bis dahin so nicht beobachtet wurden (Abb.37).

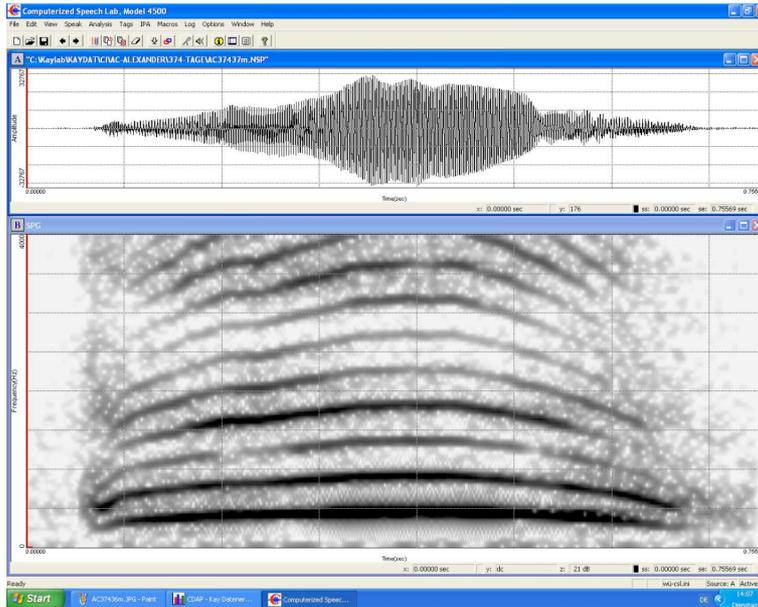


Abbildung 36: Auftreten eines propriozeptiven Lautes bei AC im Höralter von 141 Tagen (chronologisches Alter 374 Tage).

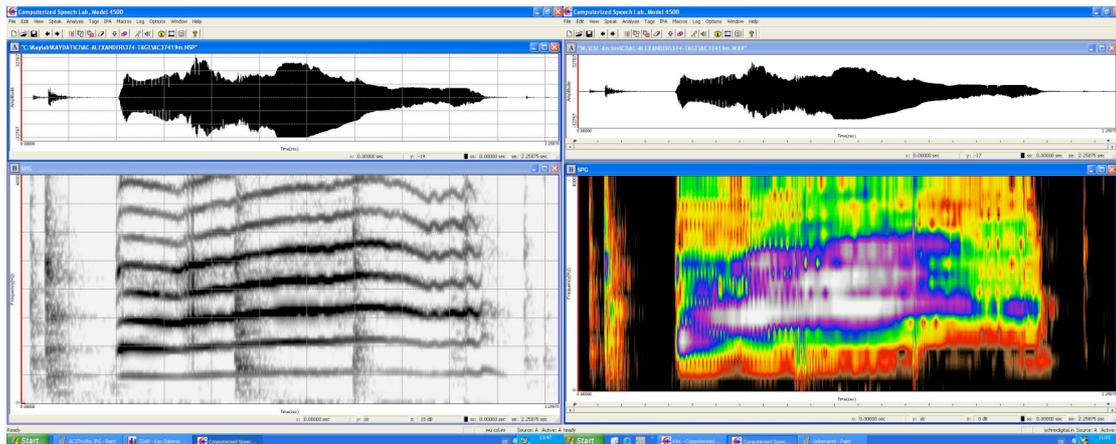


Abbildung 37: Erstmaliges Vorkommen einfacher Resonanzbewegung bei AC im Höralter von 141 Tagen (chronologisches Alter 374 Tage). Diese werden auch im rechts gezeigten korrespondierenden Breitbandspektrogramm deutlich.

Am 417. Tag (Höralter 184 Tage) treten noch einmal hochfrequente Laute auf, welche aber relativ stabil geregelt werden, so dass keine Frequenzsprünge und ähnliche Dysregulationsphänomene darin vorkommen (Abb. 38).

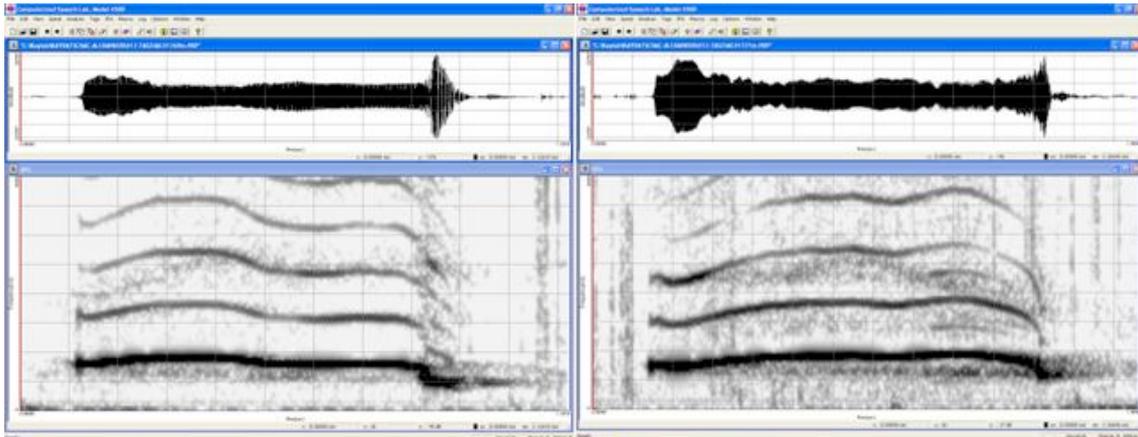


Abbildung 38: Hochfrequente Laute im Höralter von 184 Tagen (chronologisches Alter 417 Tage). Diese imponieren deutlich stabiler geregelt als bei hochfrequenten Lauten früherer Aufnahmen.

Drei Tage später am 420. Tag (Höralter 187 Tage) tritt eine erste silbenartige Sequenz auf, in welcher die Struktur allerdings noch stark durch Melodiemodulation geprägt ist (siehe Abb. 39). Leider liegen keine weiteren Aufnahmen vor.

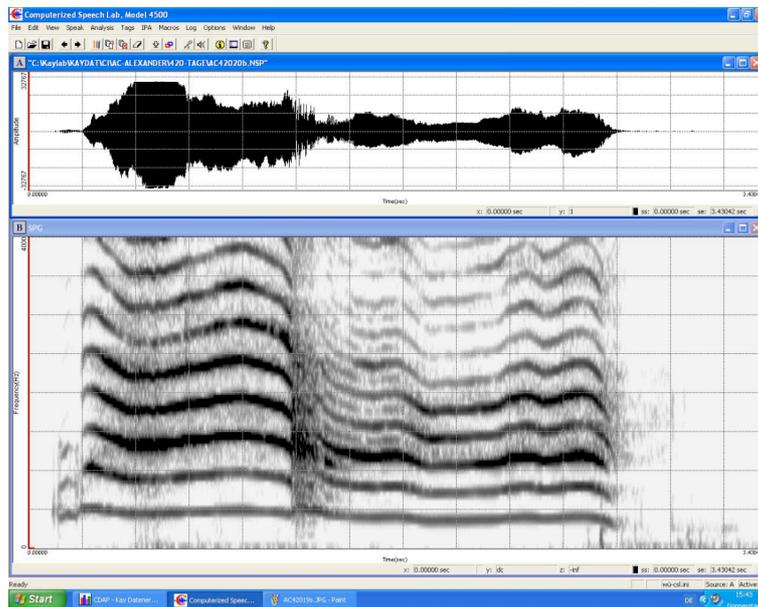


Abbildung 39: Silbenartige Sequenz im Höralter von 187 Tagen (chronologisches Alter 420 Tage).

3.1.4 Proband CI-AD

Kind AD ist seit dem 80. Lebenstag mit Hörhilfen versorgt. Im Alter von 276 Tagen (Höralter 196 Tage) wurde eine beidseitige Parazentese durchgeführt. Im Anschluss an die Parazentese seien nach Angaben der Mutter die Hörhilfen von AD deutlich schlechter akzeptiert worden, so dass das Kind häufig keine Hörhilfen trug. Die erste Aufnahme liegt im Alter von 300 Tagen (Höralter 220 Tage) vor. Sie wurde bei nicht getragenen Hörhilfen erstellt. Das Kind zeigt sehr einfache Nicht-Schrei-Laute (einbögig auf den Konsonant „m“) bei geschlossenem Mund mit einer niedrigen Resonanzfrequenz (propriozeptive Laute), durch welchen er offensichtlich kinästhetische Empfindungen erzeugt (Abb. 40).

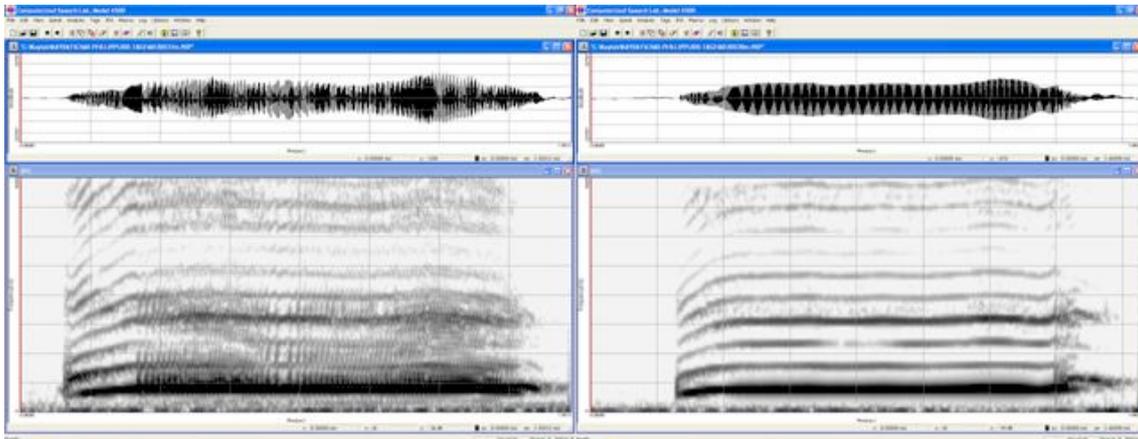


Abbildung 40: Einbögige Nicht-Schrei-Laute welche von Kind AD im Höralter von 220 Tagen produziert werden.

Daneben treten viele hochfrequente Laute auf, die deutlich stärker moduliert sind (Abbildung 41). Rhythmische Elemente treten vor allen Dingen in Verbindung mit Lachen auf.

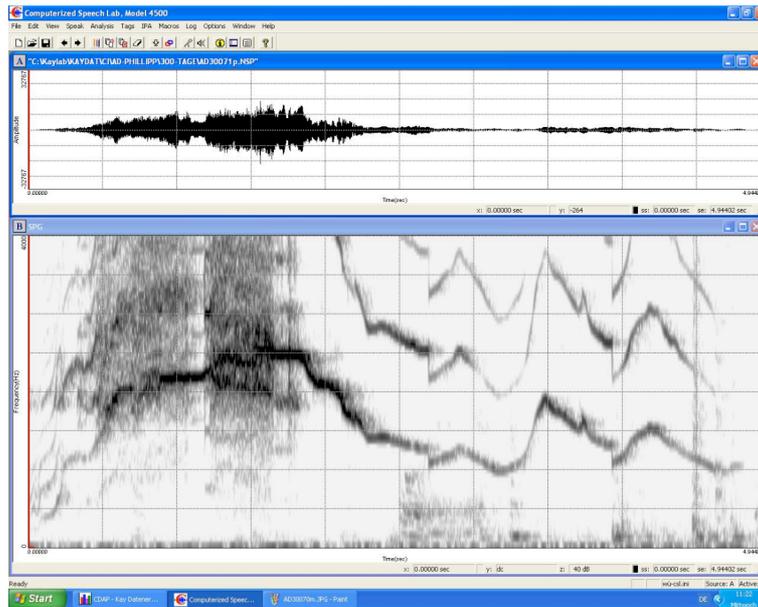


Abbildung 41: Hochfrequenter, modulierter Laut von AD im Höralter von 220 Tagen.

Am 328. Tag (Höralter 248 Tage) werden zum ersten Mal glottale Presslaute mit unvollständigen Segmentierungen beobachtet (Abb. 42).

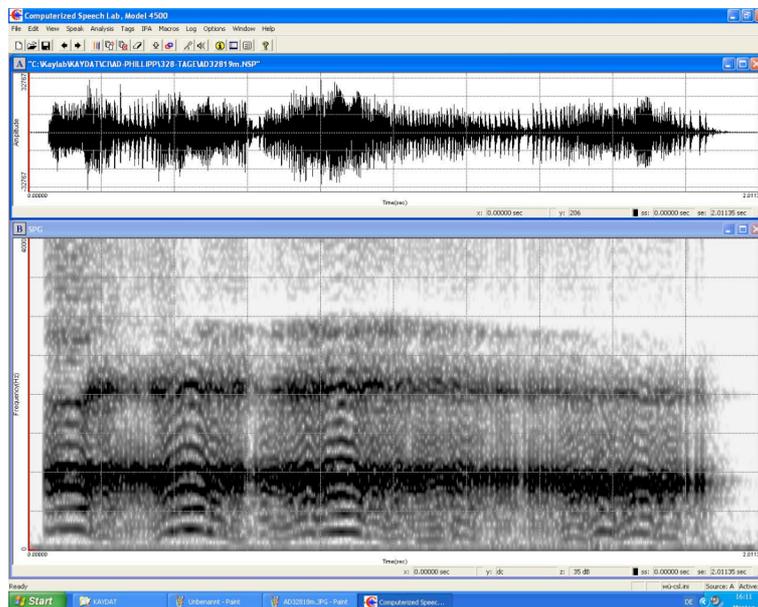


Abbildung 42: Erster Auftreten glottaler Presslaute mit unvollständiger Segmentierung auf den Vokal „a“ bei AD im Höralter vom 248 Tagen bei starkem glottalem Pressen.

Am 335. Tag (Höralter 255 Tage) treten wiederum, wie bereits 36 Tage früher die Nicht-Schrei-Laute bei geschlossenem Mund auf den Konsonanten „m“ auf (vgl. Abb.

25 bei AC). Im Unterschied zu früheren Aufnahmen sind diese Lautäußerungen nun zweibögig in ihrer Melodie sowie segmentiert.

Durch Kombination dieser „m“-Laute mit einer Segmentierungspause und einer „ma“-Silbe tritt an diesem Tag der erste primitive Babblers auf, der monoton wiederholt wird indem die Betonung des Lautes ein Mal auf der ersten und ein Mal auf der zweiten Silbe liegt (siehe Abb. 43).

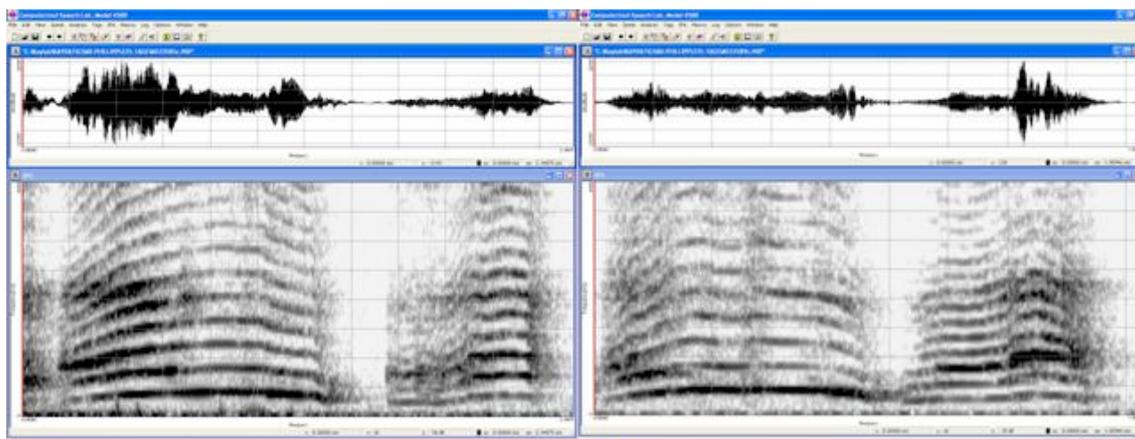


Abbildung 43: Erstes Auftreten eines primitiven Babbler durch Kombination eines Lautes auf „m-ma“ mit einer Segmentierungspause im Höralter von 255 Tagen.

Auch in den nächsten Tagen erzeugt das Kind einfache Babbler, bei denen man zwar Vokale (a,e) und den Konsonanten „m“ klanglich identifizieren kann, bezüglich ihrer Struktur und Klangeigenschaften erinnern sie jedoch an die Gurrlaute 3 Monate alter Säuglinge.

Außerdem zeigen sich in diesem Alter immer noch sehr viele hochfrequente Laute.

Im Alter von 359 Tagen (Höralter 279 Tage) erfolgte die CI-Operation rechts. Danach sind mehrere Aufnahmen mit nur linksseitig getragener Hörhilfe ausgewertet worden.

Am 388. Tag (Höralter 308 Tage) fallen dabei vor allem propriozeptive Laute auf, bei denen man jetzt den Eindruck hat, sie dienen einer Resonanzabstimmung, also der Verarbeitung intentionaler Artikulationsbewegungen (Abb. 44). Trotz regressiver Merkmale beobachtet man hier möglicherweise eine Entwicklung.

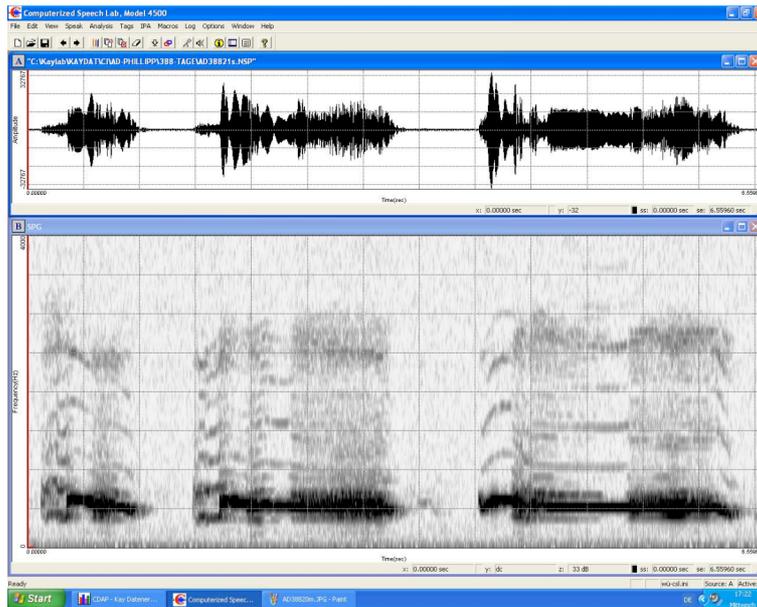


Abbildung 44: Auftreten einer entwickelten Form propriozeptiver Laute im Höralter von 308 Tagen, die offenbar die Funktion einer Resonanzabstimmung haben.

Am 403. Tag (Höralter 321 Tage) erfolgte die Erstanpassung des CI-AD trug an diesem Tag keine Hörhilfe.

Vor, während und unmittelbar nach der Erstanpassung wurden Lautaufnahmen gemacht. Vor der Anpassung treten hochfrequente Laute auf, die im Spiel mit dem Vater erzeugt wurden (Abbildung 45).

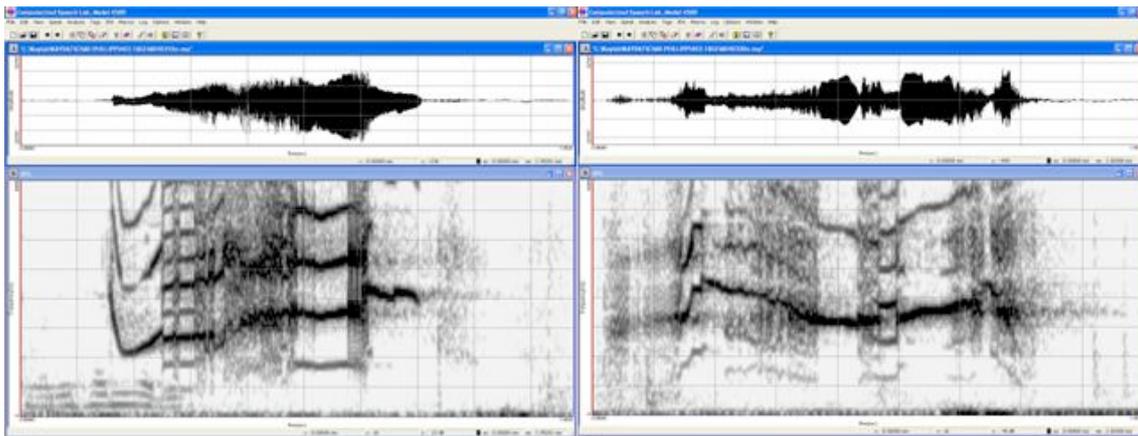


Abbildung 45: Auftreten von hochfrequenten Lauten die im Höralter von 321 Tagen während der Erstanpassung des CI im Spiel von AD produziert werden.

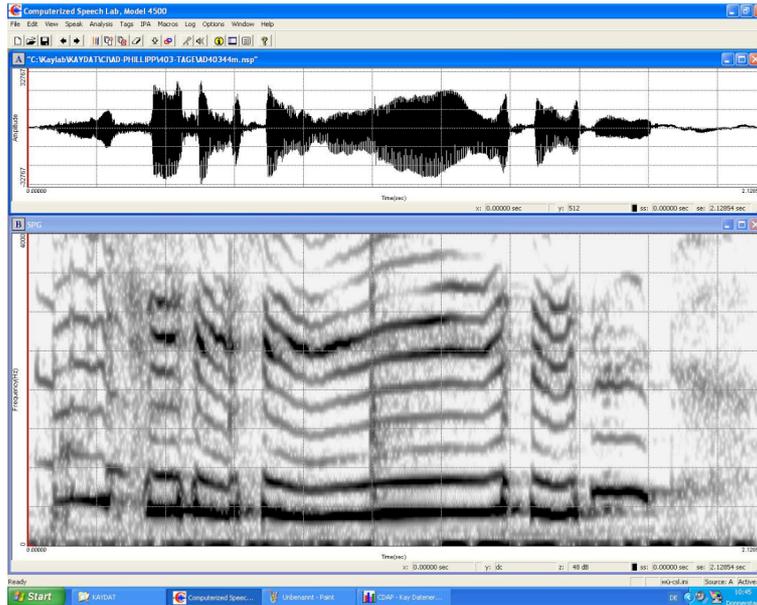


Abbildung 47: Änderung der Lauteigenschaften bei AD in Reaktion auf die Stimulation des Hörnervs durch Erstaktivierung des CI.

Nach Beendigung der ersten Anpassung aller Kanäle und Regulation der korrespondierenden Lautstärken konnte ein auffälliges Phänomen beobachtet werden: Das Kind „spielt“ mit den Resonanzeigenschaften und variiert dabei auch die laryngealen Anregungsprozesse (verstärktes Auftreten Subharmonischer) (Abbildung 48). Unmittelbar danach wird das CI noch einmal deaktiviert, woraufhin das Kind wieder dieselben Laute erzeugt, die es kurz vor der CI-Anpassung geäußert hat.

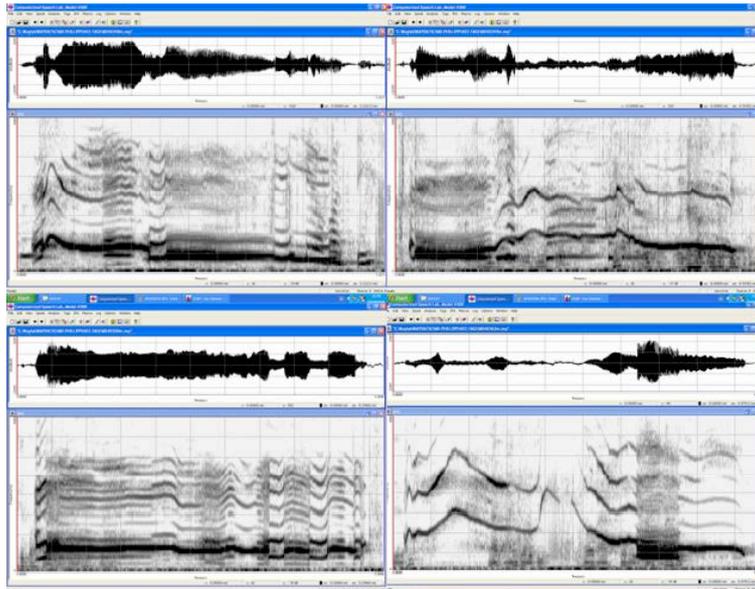


Abbildung 48: „Spiel“ von AD mit Resonanzeigenschaften seiner Laute als direkte Reaktion auf die Erstaktivierung und –anpassung des CI.

Die Aufnahmen am 409. und 410. Tag (Höralter 327 und 328 Tage) wurden bei rechts getragenen CI und ohne Hörhilfe links erstellt. Am 409. Tag treten hochfrequente Laute von einfacher Struktur auf, am 410. Tag erscheinen diese hochfrequenten Laute schon stark frequenzmoduliert (Abb. 49).

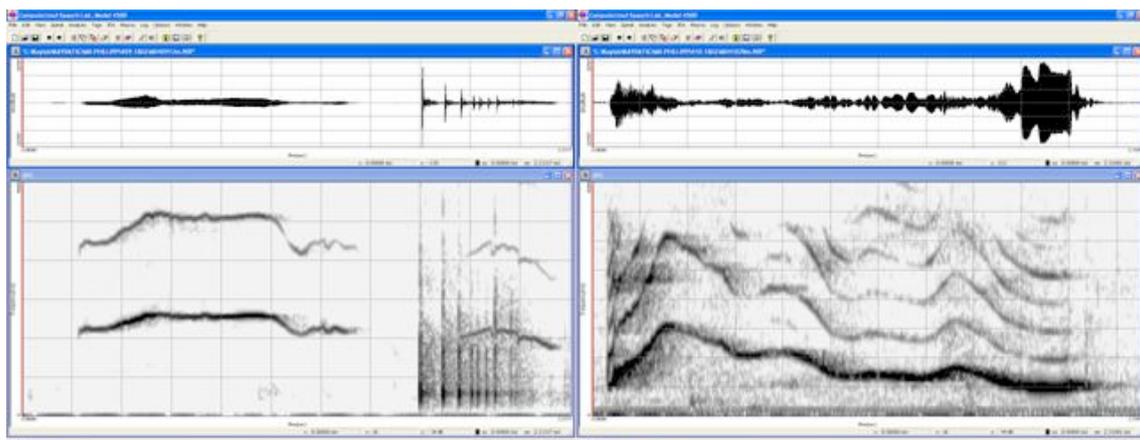


Abbildung 49: Beispiele von einfachen (links) und stark frequenzmodulierten (rechts) hochfrequenten Lauten von AD im Höralter von 328 Tagen.

Außerdem traten auch an diesem Tag bereits komplexere (viersilbige) Babbellaute mit einer Grundfrequenz von 1-2 kHz auf. Daneben weiterhin die propriozeptiven Laute, wie sie in Reaktion auf die CI-Anpassung beobachtet wurden. Diese treten auch im raschen Wechsel mit den hochfrequenten modulierten Lauten auf (Abbildung 50).

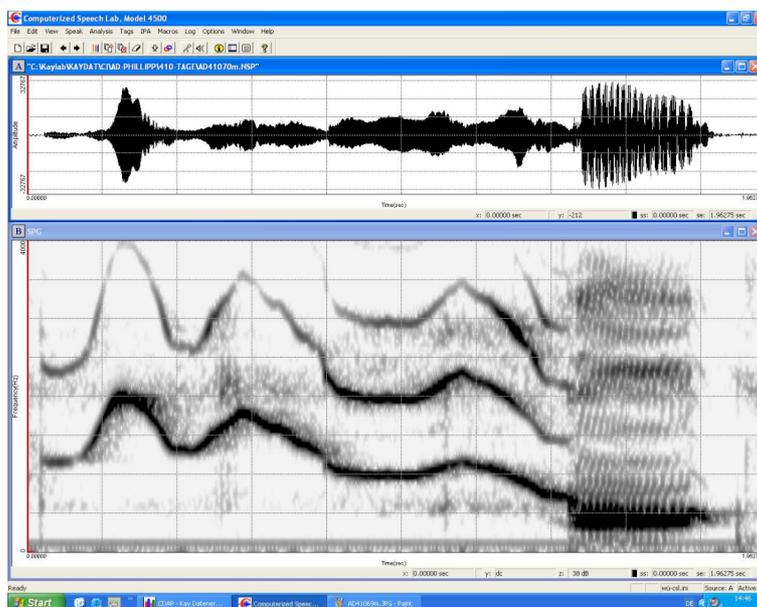


Abbildung 50: Beispiel eines gemischt propriozeptiv-hochfrequent-modulierten Lautes von AD im Höralter von 328 Tagen.

Die beobachteten Phänomene treten unabhängig davon auf, ob zusätzlich zum CI die Hörhilfe getragen wird oder nicht.

Im Alter von 443 Tagen (Höralter 363 Tage) imitiert Kind AD die Laute eines durch die Mutter gespielten Musikinstruments, es „singt“ mit. Hierbei zeigt er eine ausgeprägte Frequenzmodulation und schöne Melodien.

Erste staccatoartige wohlgeformte Rhythmussequenzen auf „a“ treten am 445. Tag im Höralter von 365 Tagen auf und werden ausgiebig variiert, d.h. „trainiert“ (Abbildung 51).

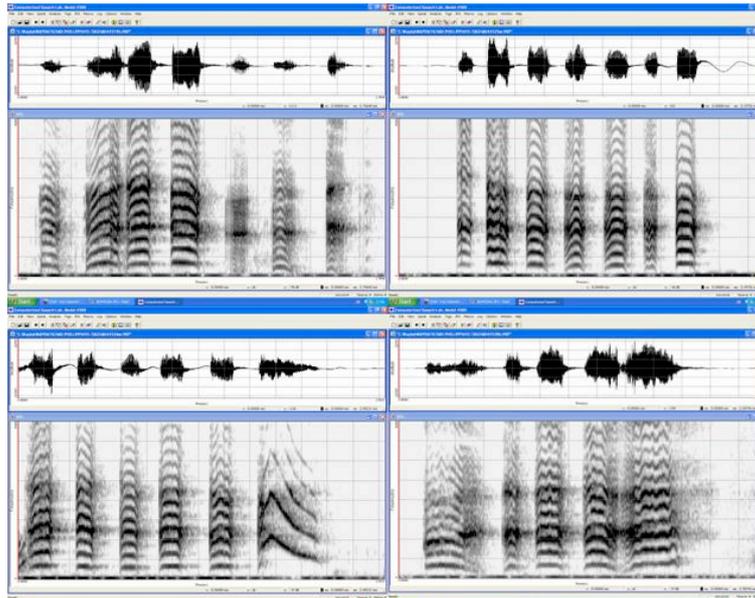


Abbildung 51: Erstes Auftreten staccatoartiger Rhythmen bei AD im Höralter von 365 Tagen.

Die komplexen Melodien sowie die dargestellten Rhythmussequenzen „übt“ AD an den folgenden Tagen weiter. Am 460. Tag (Höralter 370 Tage) wurde eine Aufnahme bei nicht getragenen CI sowie nicht getragener Hörhilfe erstellt. In dieser kehren die vorher beschriebenen Lippenvibrations-Laute wieder (Abbildung 52).

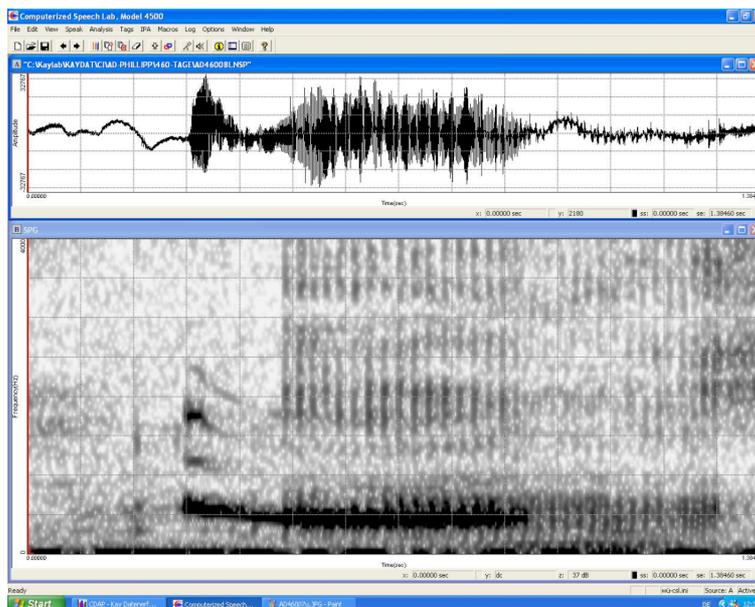


Abbildung 52: Wiederkehren von Lippenvibrationslauten bei nicht getragenen CI und nicht getragener Hörhilfe bei AD im Höralter von 370 Tagen.

Die Aufnahme im Alter von 478 Tagen (Höralter 388 Tage) wurde nach einer weiteren Anpassung des CI im Alter von 476 Tagen angefertigt. Hierbei wurde die Lautstärke um 10% erhöht. Im Zeitraum danach übt das Kind weiter die bekannten Strukturen. Das Babbeln wird variabler, neue Konsonanten kommen hinzu.

Erste klare Silbenstrukturen treten am 558. Tag (Höralter 468 Tage) auf (Abbildung 53).

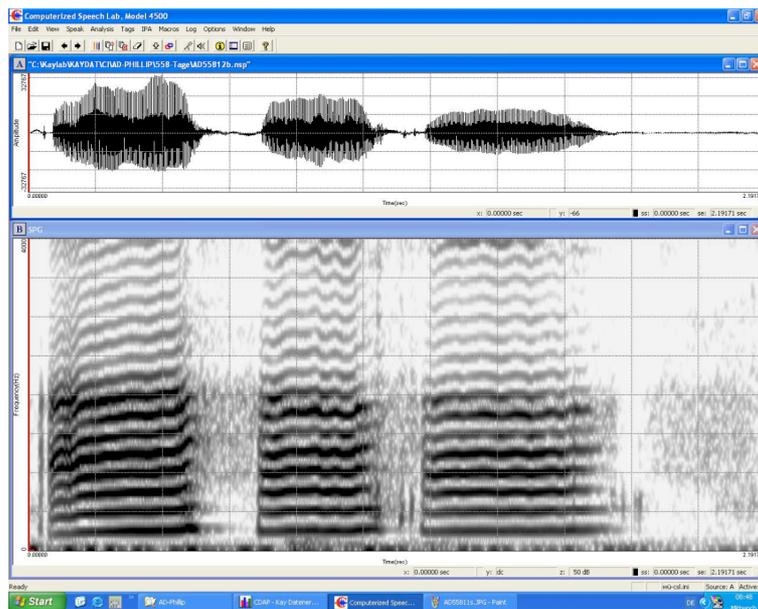


Abbildung 53: Erstes Auftreten von klaren Silbenstrukturen bei AD im Höralter von 468 Tagen.

Damit erreicht das Babbeln eine neue Qualität. Es werden neue Konsonanten erzeugt, neue Konsonant-Vokal-Kombinationen treten auf, die Silben werden wohlgeformt, und man kann vom Beginn des kanonischen Babbelns ausgehen. Am 576. Tag imitiert AD auch erste Wörter („mal“, „rein“, Abbildung 54). Hier werden klar strukturierte Formantübergänge sichtbar.

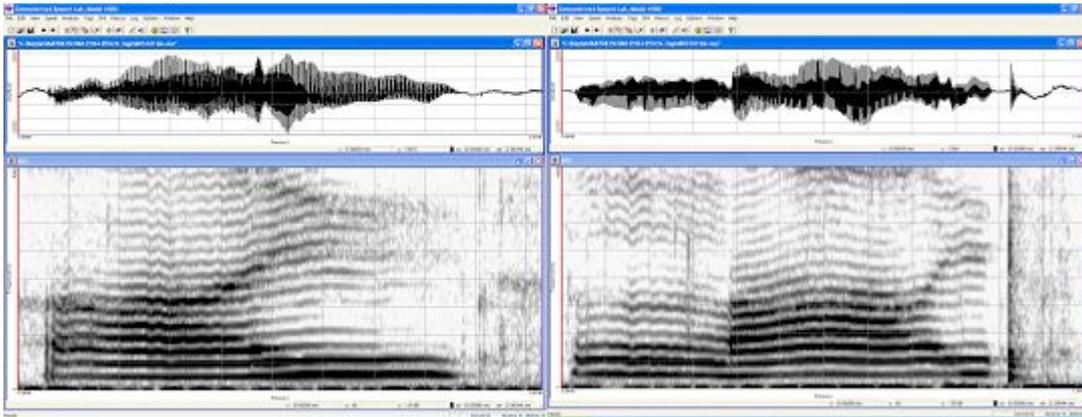


Abbildung 54: Erste Imitation von Wörtern durch AD (rechts: „mal“, links „rein“) im Höralter von 486 Tagen.

3.1.5 Proband CI-AE

Zwischen dem Zeitpunkt der Diagnosestellung und dem Zeitpunkt, an welchem Kind AE mit Hörhilfen versorgt wurde, wurden insgesamt drei Aufnahmen erstellt (465 Tage, 468 Tage, 474 Tage). Damit war dieses Kind faktisch 475 Tage lang ohne adäquate auditive Stimulation. Bei allen Aufnahmen fiel das Auftreten von Frequenzsprüngen (Shift) in den Lautäußerungen auf. So zeigten 8,3% (Shift 477d: 4 von 44, 485d: 4 von 46, 502: 5 von 67) aller an diesen drei Aufnahmetagen aufgezeichneten Lautäußerungen dieses Strukturelement. In Abbildung 55 sind typische Beispiele für solche Lautäußerungen wiedergegeben.

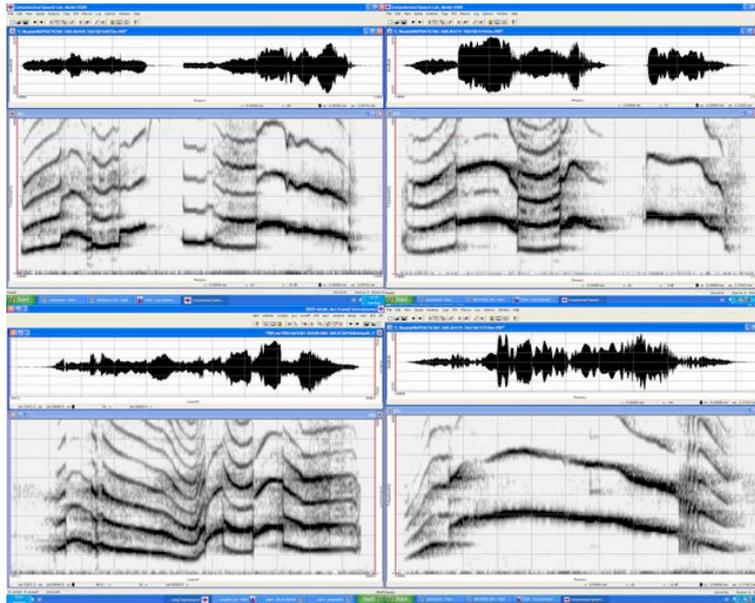


Abbildung 55: Beispiele für Lautäußerungen mit Frequenzsprüngen (Shift) vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen (chronologisches Alter 468 Tage).

Ebenfalls auffällig waren von der normalen Grundfrequenz (F_0) deutlich abweichende hochfrequente Laute, welche vor allem in Situationen produziert wurden, in denen das Kind während seines Spiels positive Emotionen zeigte (beispielsweise Begeisterung über ein Versteckspiel mit dem Vater). Diese wurden auch bei Kind AD beobachtet.

Weiterhin auffällig waren Lautäußerungen, die eine gewisse taktile kinästhetische Empfindung erlauben wie ein durch Pusten erzeugtes Vibrieren der Lippen (siehe Abbildung 56) oder stimmlose am Larynx erzeugte Laute („vocal fry“ Locke et. al. 1995, siehe Abbildung 57).

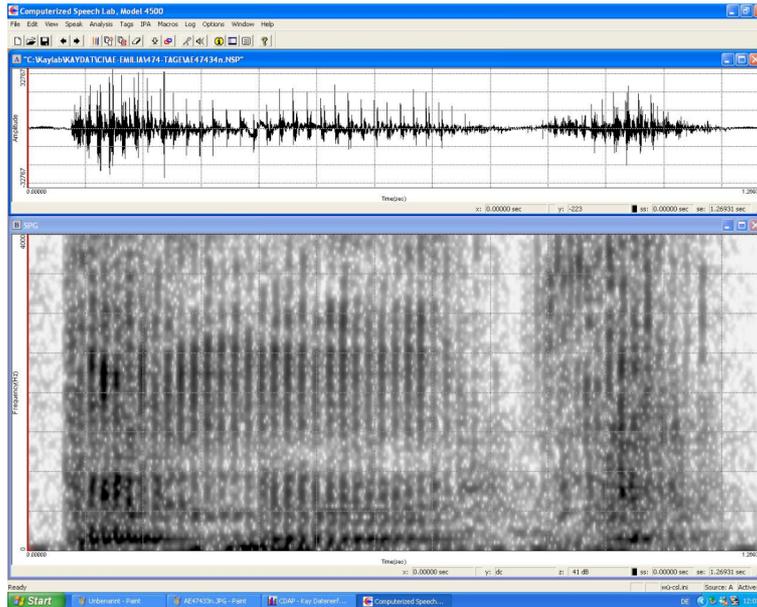


Abbildung 56: Beispiel eines durch Lippenvibration produzierten Lautes am Tag vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen (chronologisches Alter 474 Tage).

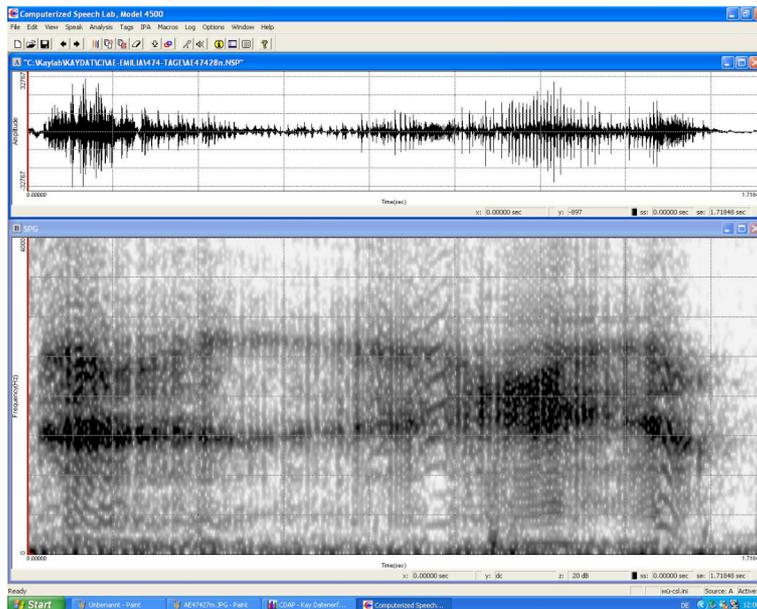


Abbildung 57: Beispiel eines „stimmlosen“ am Larynx produzierten Lautes am Tag vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen (chronologisches Alter 474 Tage).

Die Aufnahmen im Alter von 477, 485 und 502 Tagen wurden unter Tragen von Hörhilfen beidseits angefertigt, welche das Kind im Alter von 475 Tagen erhielt. Das Kind befand sich damit in einem Höralter von 2, 9 und 16 Tagen. Die oben beschriebenen Strukturelemente Shift, stimmlose sowie hochfrequente Laute traten

zwar noch auf, jedoch im Vergleich zu den Aufnahmen ohne Hörhilfen weniger häufig. Im Höralter von 2 Tagen fallen bereits deutliche Klangveränderungen in den von AE geäußerten primitiven Babbellauten auf. Die vor Einsetzen der Hörhilfen stark rückverlagerte Lautproduktion ist zurückgegangen. Im Gegensatz zu den relativ starren Resonanzfrequenzen bei den Aufnahmen vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen wird schon nach diesen wenigen Tagen der Hörerfahrung eine Veränderung in den Resonanzfrequenzen sichtbar, die jetzt deutlich variabler werden und eine intentionale artikulatorische Aktivität reflektieren. Dies erklärt auch die oben beschriebenen Veränderungen in den Klangeigenschaften der Laute. Des Weiteren fällt auf, dass auch die höheren Harmonischen jetzt einen stärkeren Energiegehalt besitzen, während in den Aufnahmen ohne Versorgung mit Hörhilfen (siehe Abb. 55) ein drastischer Energieabfall ab einer Frequenz von 2000 Hz zu sehen ist. Bereits in den ersten Tagen nach Beginn der Therapie mit Hörhilfen sind auch deutliche Frequenzbänder oberhalb von 2000 Hz sichtbar. Auch das „Spiel“ mit der Melodie wird variabler, es treten innerhalb eines Lautes Frequenzwechsel von mehr als einer Oktave auf (vgl. Abb. 58).

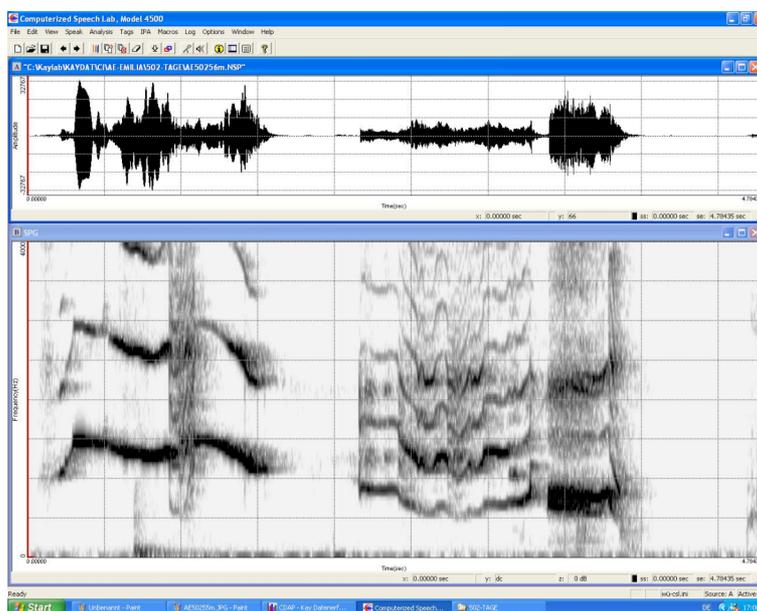


Abbildung 58: Beispiel eines Lautes mit Grundfrequenzvariationen von über einer Oktave (1460 auf 670 Hz).

Kurze Zeit später erfolgte die rechtsseitige CI-Operation im Alter von 506 Tagen. Die darauf folgenden Aufnahmen vom 513. bis zum 550. Tag fanden zwischen der CI-

Operation und der Erstanpassung des Cochlea-Implantats statt. In diesem Zeitraum war das Kind linksseitig mit einer Hörhilfe versorgt. Im Vergleich zu den Aufnahmen, die unter beidseitigem Tragen von Hörhilfen aufgezeichnet wurden, sind keine wesentlichen Unterschiede zu erkennen. Sie zeigen häufig glottal gepresste, segmentierte (siehe Abbildung 59), sowie durch Lippenvibration erzeugte Laute (vgl. Abb. 56).

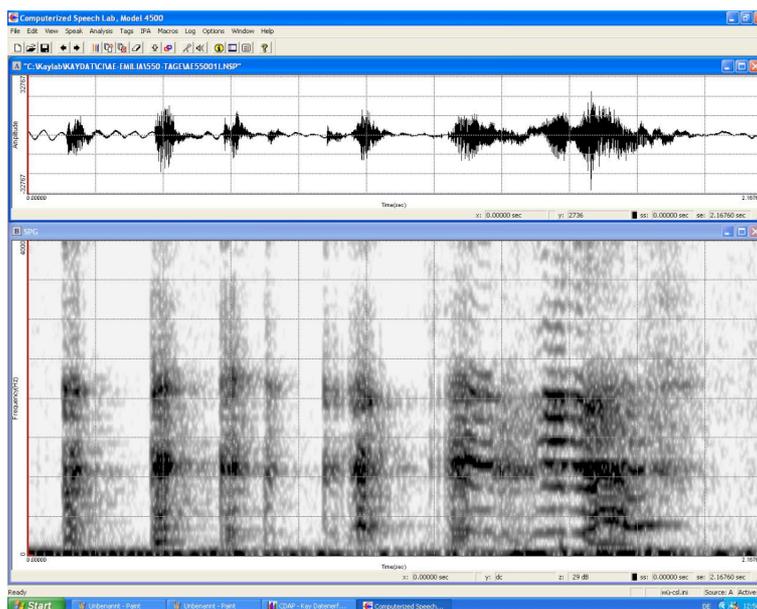


Abbildung 59: Beispiel eines glottal gepressten, segmentierten Lautes bei CI-AE.

Unabhängig von den anderen Klangeigenschaften, die oft noch relativ einfach und damit auf einem entwicklungsmäßig „frühem“ Stadium sind, befindet sich AE bezüglich des prosodischen Elements Rhythmus in einer fortgeschrittenen Lautentwicklungsetappe. Das Kind zeigt am 550. Tag (Höralter 74 Tage) erstmalig rhythmische Sequenzen die aus kurzen glottalen Pulsen während einer Expiration bestehen. Diese pulsartigen Laute werden in ihrer Zeitdauer variiert und zeigen Ähnlichkeiten zu einfachen Rhythmusvariationen in der Musik (siehe Abb. 60). Zum Vergleich ist in Abbildung 61 eine analoge Rhythmussequenz eines normal hörenden Kindes im Alter von 460 Tagen gezeigt.

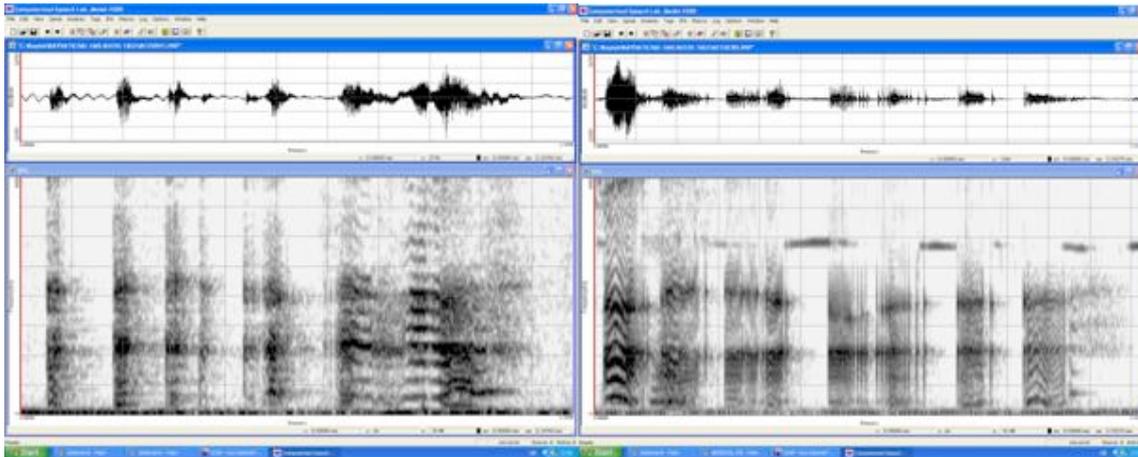


Abbildung 60: Erstmaliges Auftreten von rhythmischen Sequenzen bei AE im Alter von 550 Tagen (Höralter 74 Tage).

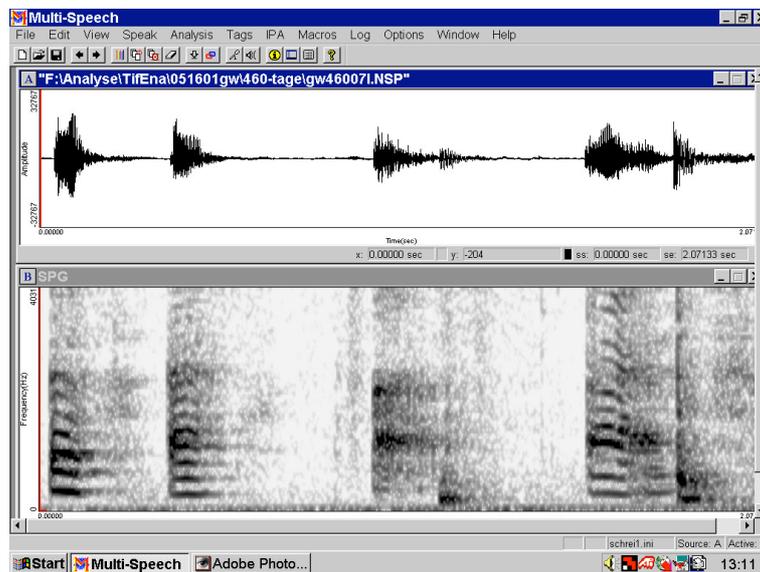


Abbildung 61: Beispiel einer rhythmischen Frequenz eines normal hörenden Kindes im Alter von 460 Tagen.

Ohne Hörhilfen fällt AE in die Lautmuster zurück, die vor der Versorgung mit Hörhilfen beobachtet wurden. Es treten sowohl die bereits beschriebenen Lippen- und stimmlosen Laute als auch Shifts, hohe Töne und propriozeptive Laute auf. Die Resonanzfrequenzen werden wieder starr.

Am 552. Tag wurde das CI erstmalig aktiviert. 2 Tage später ist die erste Aufnahme nach der Aktivierung gemacht worden. AE zeigt bei dieser Aufnahme wiederum einen stark erhöhten Anteil hochfrequenter Laute bzw. Laute, die Shifts enthalten (20,68 %

Shifts, 12,07 % hochfrequente Laute). Zusätzlich zeigt sie erneut Lippen- und stimmlose Laute. Vergleicht man die hochfrequenten Laute mit denen vor der Zeit, als AE mit Hörhilfen versorgt war, fällt ein Unterschied in der Frequenz-Modulations-Kapazität auf. Bei prinzipiell ähnlichem Melodieverlauf ist die Grundfrequenz deutlich komplexer moduliert (Abbildung 62).

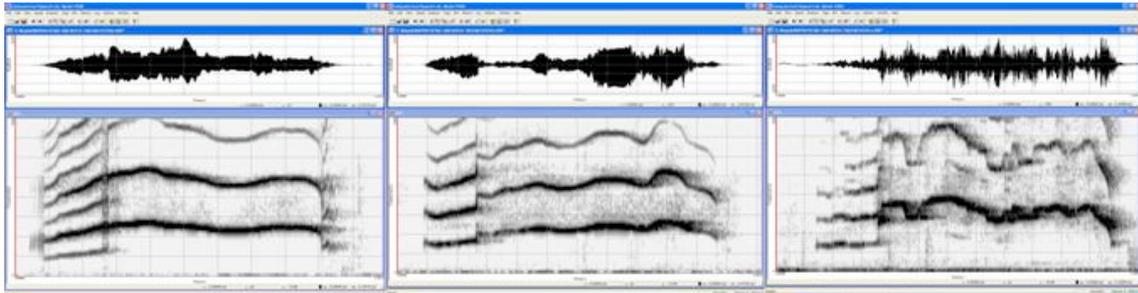


Abbildung 62: Im Vergleich zu den Aufnahmen vor ECI (links) stärker modulierte Grundfrequenzen (2 Tage nach ECI, mittig, rechts).

Eine deutliche Veränderung der Lauteigenschaften zeigt sich 12 Tage später am 565. Tag (Höralter 90 Tage). Hochfrequente Laute treten nicht mehr, Shifts treten nur in 2 von 58 Lauten auf. Stimmlose Larynxaute sowie Lippenlaute sind nach wie vor vorhanden. Die stimmlosen Larynxaute werden jedoch innerhalb einer Expiration durch glottale Stopps rhythmisiert (siehe Abbildung 63). Ab diesen Zeitpunkt werden die von AE produzierten Melodien komplexer.

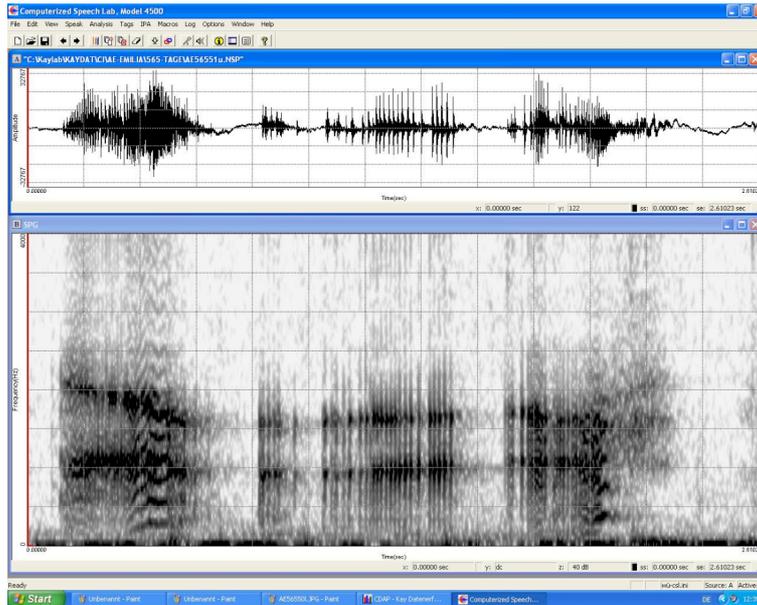


Abbildung 63: Rhythmisierter stimmloser Larynxlaut im Höralter von 90 Tagen (chronologisches Alter 565 Tage).

Im Alter von 575 Tagen (Höralter 100 Tage, 23 Tage nach Erstanpassung des CI) ahmte AE gehörte Laute eines Spielzeugs, bei gleichzeitiger Transposition um eine Oktave nach unten, nach (siehe Abbildung 64, „Miau-miau“ vom Spielzeug, „miau“ von AE). Das korrespondierende Breitbandspektrogramm in Abbildung 65 zeigt deutliche Formantwechsel zwischen dem Vokal „mi“ und dem Diphtong „au“ in dem imitierten Wort „miau“.

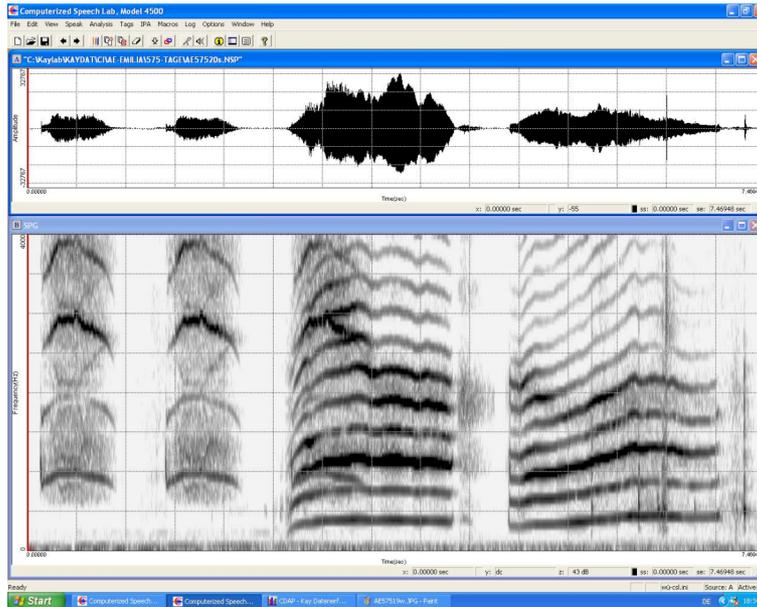


Abbildung 64: Imitation bei Transposition eines gehörten Lautes durch AE um eine Oktave nach unten (Höralter 100 Tage, chronologisches Alter 575 Tage).

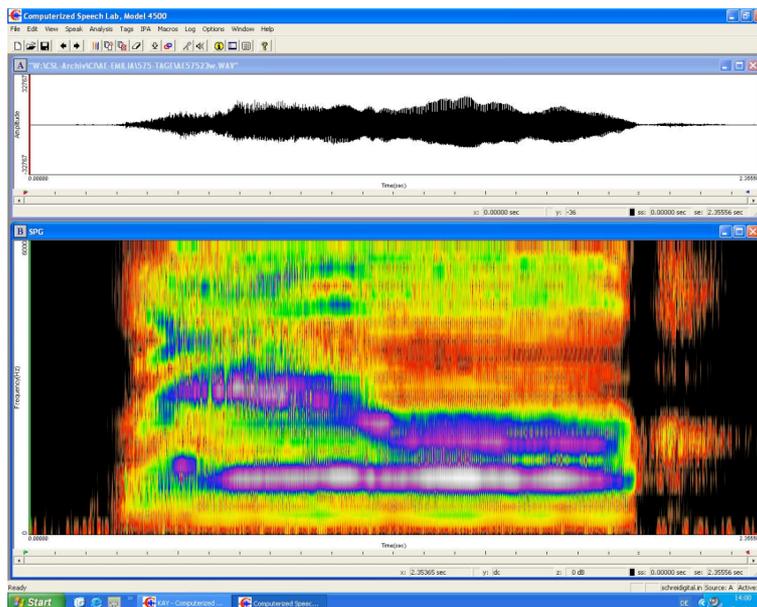


Abbildung 65: Deutlicher Formantwechsel im korrespondierenden Breitbandspektrum innerhalb eines nachgeahmten Lautes von Abbildung 64.

Des Weiteren fällt die Weiterentwicklung der rhythmischen Kurzton-Sequenzen auf. Diese sind den späteren Babbelsequenzen in ihrer Struktur bereits ähnlich geworden (vgl. Abbildung 66 mit Abbildung 60).

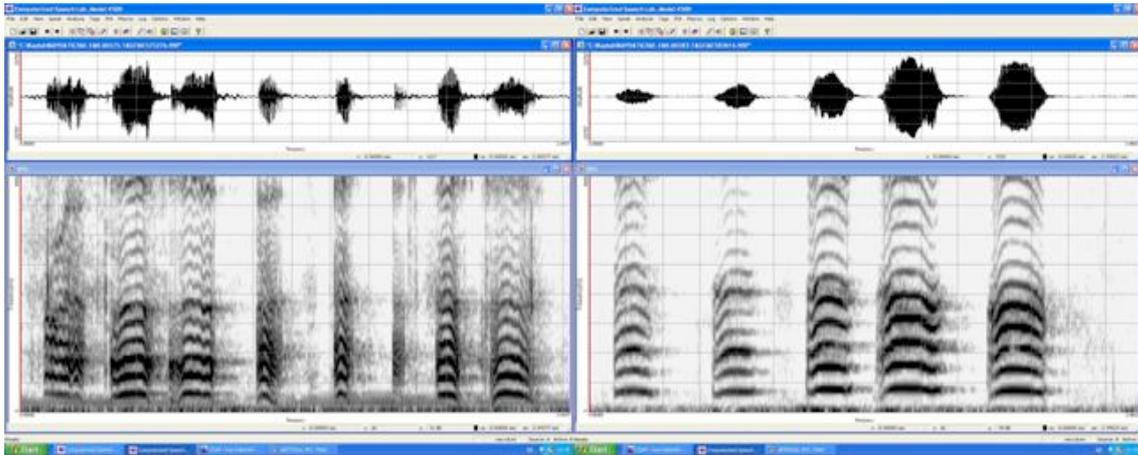


Abbildung 66: Rhythmische Kurzlaut-Sequenzen (Höralter 100 Tage, chronologisches Alter 575 Tage).

Im Alter von 601 Tagen (Höralter 126 Tage) erfolgte eine zweite Anpassung des CI. Das auffallendste Merkmal nach der Zweit Anpassung des CI ist die Zunahme von rhythmischen Elementen bei einer gleichzeitigen Fähigkeit, Zeitstrukturen mit relativ hoher Präzision zu wiederholen (siehe Abbildung 67). Es handelt sich um zweisilbige Laute, in welchen beide Laute aus Vokalen bestehen („a-a“).

Beide Silben sind kürzer als 500 ms und entsprechen damit dem von Oller (2000) beschriebenen Kriterium für eine „echte“ Silbe.

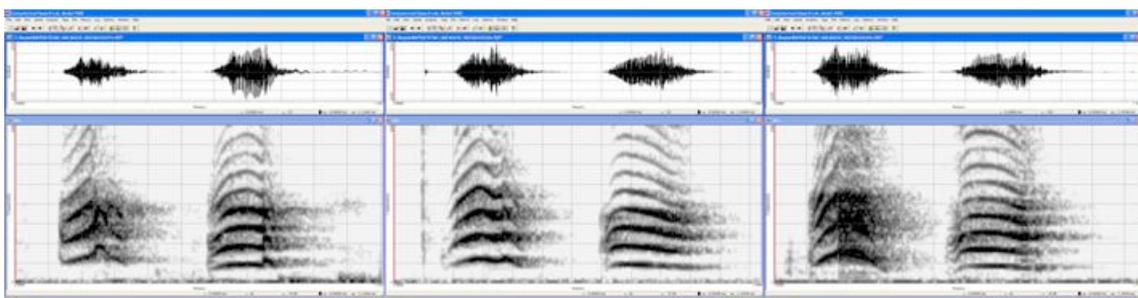


Abbildung 67: Wiederholung rhythmischer Kurzlaut-Kombinationen.

4. Diskussion

4.1 Besonderheiten der vorsprachlichen Entwicklung der Probanden vor Erstanpassung des Cochlea-Implantats

Zu Proband CI-AA liegen keine Daten für den Zeitraum vor der Erstanpassung des Cochlea-Implantats vor.

Gemeinsamkeiten und Unterschiede der anderen Probanden werden nachfolgend diskutiert.

Die erste Aufnahme von Kind AB liegt im Höralter von 2 Tagen (Alter 214 Tage) vor. Beim Vergleich mit Kind AE im selben Höralter fallen sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede auf. Sowohl bei Kind AB als auch bei den Kindern AD und Kind AE sind typische hochfrequente Lautäußerungen ($F_0 > 1000$ Hz) nachweisbar. Diese hochfrequenten Laute sind aber bei Kind AB im Gegensatz zu Kind AE im selben Höralter alle deutlich moduliert (siehe Abbildung 68). Damit ist Kind AB in seiner vorsprachlichen Entwicklung fortgeschrittener als Kind AE.

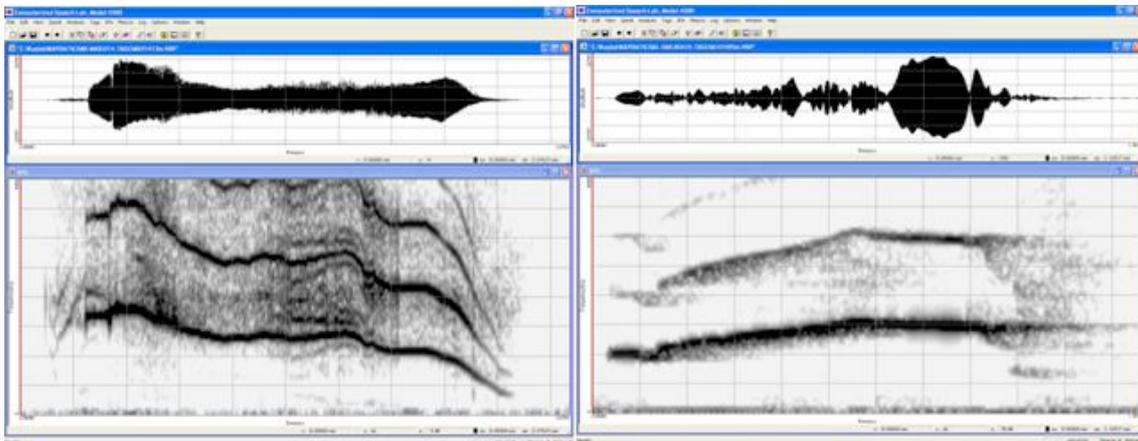


Abbildung 68: Hochfrequente Lautäußerungen von Kind AB (links) und Kind AE (rechts), die bei beiden Kindern im Höralter von 2 Tagen aufgenommen wurden. Bei CI-AB sind die Laute deutlich modulierter (drei Melodiebögen).

Das auffällig häufige Vorkommen der erhöhten Grundfrequenz bei den Kindern AB, AD und AE sowie die abrupten Sprünge zu hohen Frequenzen (Shift) vor Erstanpassung des Cochlea-Implantats (CI) scheinen ein Zeichen für die fehlende

auditive Rückkopplung bei der Stimmregulation zu sein. Das Phänomen auffallend hochfrequenter Laute ist für hochgradig hörbehinderte Kinder bekannt (z.B. Oller 2008). Während gleichaltrige gesunde Kinder in diesem Alter bereits Babbellaute bestehend aus variablen Silbenkombinationen („varigated babbling“) und erste Worte äußern, sind die bei AE beobachteten Laute, wahrscheinlich aufgrund der fehlenden auditiven Rückkopplung, von sehr einfacher Struktur. Sie bestehen noch vollständig aus vokalähnlichen Lauten, die rückverlagert erzeugt werden. Von ihrer akustischen Struktur her ähneln diese einfachen Nicht-Schreilaute den Gurrlauten oder ersten primitiven Babbellauten junger, normal hörender Säuglinge. Obwohl man bei einem Vergleich der Frequenz-Spektrogramme auf den ersten Blick keinen Unterschied bemerkt, zeigen die Resonanzfrequenzanalysen Unterschiede im Erzeugungsmodus dieser Laute bei hörbehinderten im Vergleich zu nicht hörbehinderten Kindern.

Bei gleichaltrigen hörenden Kindern kommen sowohl das Phänomen „Shift“ als auch die bei CI-AB, CI-AC, CI-AD und CI-AE beobachteten Lippen- und Larynx-Laute nicht vor. Damit zeigt das Kind AE noch im chronologischen Alter von 15 Monaten Merkmale der primitiven Phonation junger Säuglinge, es stagniert quasi auf frühesten vorsprachlichen Entwicklungsstadien (vergleichbar einem 3-4 Monate altem Säugling). Gleichzeitig zeigt es aber bereits Nichtschrei-Laute, die im Kontext der Kommunikationssituation die Funktion von Pseudowörtern haben (wie in den parallel zur Aufnahmesituation erstellten Protokollen beschrieben). Darin zeigt sich das Dilemma zwischen einerseits relativ altergerechtem Entwicklungsstatus der sozioemotionalen und kognitiven Entwicklung bei gleichzeitig stark retardiertem sprachlichen Entwicklungsstand (vgl. Schumann 2007).

Diese hochfrequenten Laute traten bei Kind CI-AC im Vergleich zu den anderen Probanden dieser Studie deutlich seltener auf.

Im Höralter von 119 Tagen kamen jedoch relativ plötzlich auch bei diesem Kind hochfrequente Laute vor. Mit der Bildung der hochfrequenten Lauten läge es, bezogen auf das Höralter, genau in der Normalentwicklung, da man bei normal hörenden Kindern um den 120. Lebenstag transitorisch ebenfalls Registerübungen sowie Frequenzwechsel erwarten würde (Wermke 2002). Bei diesem Kind korreliert das Höralter damit relativ gut mit dem chronologischen Alter normalhörender Kinder,

während dies bei den Kindern AB und AE nicht der Fall ist. Ein Höralter von 2 Tagen entspräche dem Neugeborenenalter. Die von den Kindern AB und AE geäußerten Laute sind aber bezüglich ihrer Frequenzeigenschaften nicht mit Neugeborenen schreien vergleichbar.

Die Frequenzmodulationen im „Kopfreger“, wie sie AC im Höralter von 119 Tagen zeigt, lassen nach normalem vorsprachlichen Programm erwarten, dass in den nachfolgenden Tagen neue Laute im Repertoire auftreten. Dies ist auch der Fall: wenige Tage später zeigt Kind AC ein auffallend variables Lautrepertoire mit unterschiedlichen Modulationen und Segmentierungen der einzelnen Laute (siehe Abbildung 30).

Trotz dieser augenscheinlichen Fähigkeit zur Erzeugung derartiger Lautvariationen treten auch immer wieder in zahlreicher Form einfache propriozeptive Laute sowie Lippen-Vibrations-Laute auf. Dies unterscheidet AC von einem gleichaltrigen normal hörenden Säugling im korrespondierenden Alter. Es ist auffällig, dass AC, obwohl er augenscheinlich fähig ist, zu variieren und modulieren, eine Vorliebe für propriozeptive und taktil-kinästhetische Laute hat.

Es kann hier nicht geklärt werden, ob AC bei individuell optimierter häuslicher Förderung oder veränderter Einstellung der Hörhilfen unter Umständen schnellere Fortschritte gezeigt hätte. Vom Höralter ausgehend war er in seiner vorsprachlichen Entwicklung nicht wesentlich retardiert und hatte somit sehr gute Ausgangsbedingungen (vgl. AE ohne Hörhilfen 465-474 Tage).

Eine weitere Gemeinsamkeit aller Probanden ist das Auftreten propriozeptiver Laute vor Erstanpassung der Cochlea-Implantate. Kind AB zeigt aber neben einfachen einbögigen propriozeptiven Lauten bereits doppelböigige, einfache Babbel-Laute. Diese kommen sowohl im Zusammenhang als auch segmentiert vor. Bei diesem Probanden zeigen sich bei gleichem Lauttyp damit deutlich akzeleriertere Melodiestrukturen. Dies spricht bei Kind AB für eine etwas bessere Hörfähigkeit im Vergleich zu den anderen Probanden.

Ähnlich wie Kind AE zeigt auch Kind AB kinästhetisch wirkungsvolle Lautelemente in Form von Lippenvibrationen.

Trotzdem zeigen sich aufgrund der weiter fortgeschrittenen vorsprachlichen Entwicklung bei AB im Vergleich zu Kind AE deutliche Unterschiede. Kind AB erzeugt einen vierbögigen Babbellaut, bei dem die Lippenvibrationen mit „normalen“ Melodiebögen kombiniert werden. Vergleicht man dagegen die korrespondierende Lautbildung bei AE, zeigt sich die deutlich einfachere Struktur bei letzterem Laut (siehe Abbildung 69). Diese charakteristische Entwicklungsstufe ist ein typischer Entwicklungsmarker. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich beide Probanden in einem vergleichbaren vorsprachlichen Stadium. Das chronologische- sowie das Höralter dagegen sind sehr unterschiedlich. Damit zeigt sich hier die nur bedingte Eignung des Höralters beim Vergleich von vorsprachlichen Leistungen.

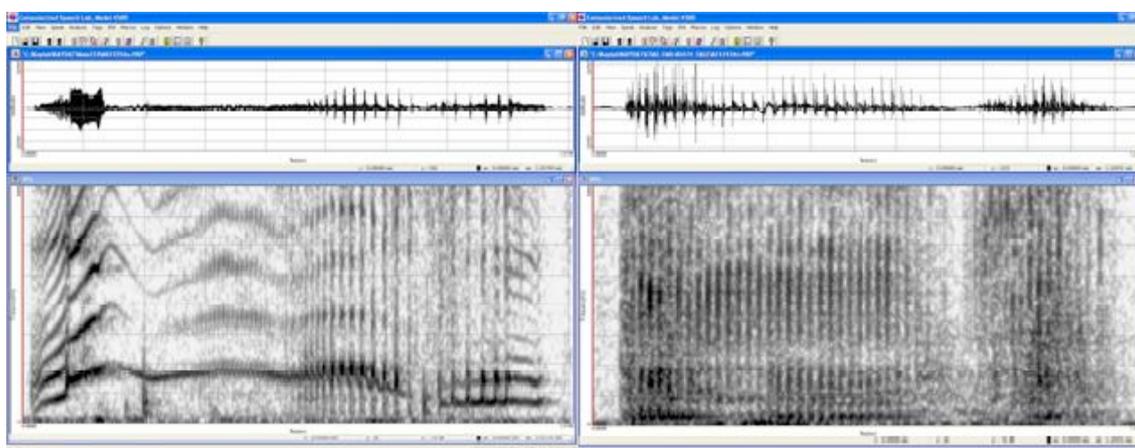


Abbildung 69: Korrespondierende Lautäußerung bei AB unter bereits begonnener Therapie mit Hörhilfen (links) sowie bei AE vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen.

Im Höralter von 43 Tagen (chronologisches Alter 255 Tage) zeigt Kind AB die staccatoartigen rhythmischen Lautsequenzen, die auch bei den Kindern AE und AC beobachtet wurden (siehe Abbildung 70).

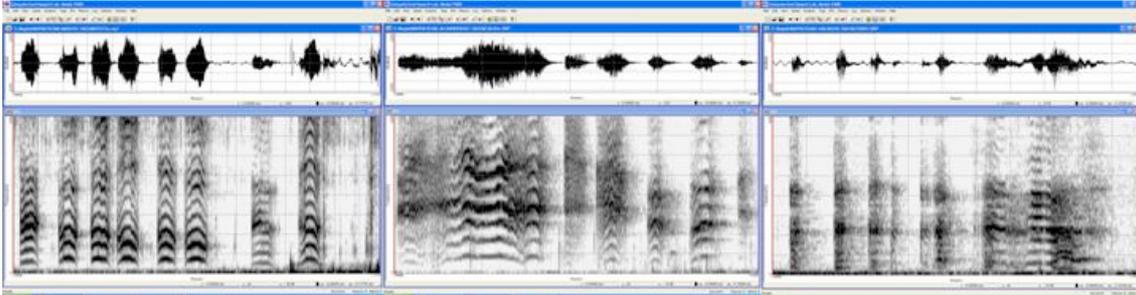


Abbildung 70: Erstes Auftreten von rhythmischen Kurzton-Sequenzen bei CI-AB (links, Höralter 43 Tage), CI-AC (mittig, Höralter 134 Tage) sowie CI-AE (rechts, Höralter 74 Tage).

Bei einem Vergleich der drei Kinder fällt auch hier wiederum die fortgeschrittene Entwicklungsstufe bei Kind AB auf. Die Kurzton-Sequenzen haben hier bereits die Qualität (klare Harmonischenstruktur und Rhythmik), welche Kind AE erst 25 Tage nach der ersten CI-Aktivierung im Höralter von 100 Tagen erreicht.

Das Auftreten dieser und ähnlicher Rhythmus-elemente ist ein regulärer Entwicklungsschritt in der vorsprachlichen Entwicklung. Der Befund, dass Kind AE dieses Element im Höralter von 74 Tagen zeigt, könnte als direkte Folge der Versorgung mit Hörhilfen interpretiert werden: Dadurch, dass das Kind damit begonnen hat, intentionale Stimmodulationen zu trainieren, ist sie faktisch in eine nächst höhere Stufe des vorsprachlichen Entwicklungsprogramms aufgestiegen. Ein Argument dafür, dass es sich hierbei nicht um einen Automatismus in der Sprachentwicklung handelt ist, dass sich bei AE dieser Entwicklungsschritt erst 74 Tage nach dem Erhalt von Hörhilfen einstellt. Ein weiteres Argument für die Annahme, dass der Fortschritt in der Rhythmusproduktion mit dem besseren Hören in Verbindung steht ist der Befund, dass in keiner der fünf Aufnahmen, die im vergleichbaren Zeitraum ohne Hörhilfen gemacht wurden, solche Sequenzen beobachtet werden konnten. Die rhythmische Stimmodulation bildet die Grundlage der Sequenzierung in Babbelsilben.

Ab dem Höralter von 248 Tagen macht auch Kind AD einfache Babblers, bei denen man Vokale und den Konsonanten „m“ klanglich identifizieren kann, die jedoch bezüglich ihrer Struktur noch an die Gurrlaute 3 Monate alter Säuglinge erinnern.

Hier sieht man die Diskrepanz zwischen der akustischen Signatur der Laute von AD, die denen junger Säuglinge ähnelt, und ihrer Funktionalität. Sie werden im sozialen

Kontext einer Interaktion mit Bezugspersonen ganz anders eingesetzt. Man findet damit Zeichen einer relativen kognitiven Reife bei gleichzeitiger kommunikativer Stagnation (Schumann 2007). Diese Befunde implizieren, dass Kind AD einen vergleichsweise geringen Nutzen aus den Hörhilfen zieht.

4.2 Besonderheiten der vorsprachlichen Entwicklung der Probanden nach Erstanpassung des Cochlea-Implantats

Sprachliche Entwicklung von Proband CI-AB nach Erstanpassung des Cochlea-Implantats

Proband CI-AB befand sich bei CI-Op und -Erstanpassung bereits in der Phase der Zweiwortsätze. Bei der einzigen Aufnahme 22 Tage nach Erstanpassung des Cochlea-Implantats fiel weniger ein direkter Zugewinn der bereits erworbenen Sprachkenntnisse auf, sondern eher das erneute Verknüpfen von Substantiven und zugehörigen Artikeln. Dieses war bereits in der Phase vor der Cochlea-Implantation aufgetreten, in der Phase zwischen CI-Op und Erstanpassung des CI jedoch wieder ausgeblieben. Da CI-AB durch eine beidseitige Versorgung mit Hörhilfen bereits vor dem Erhalt des CI über längere Zeit Hörerfahrung gesammelt hatte und diese in Spracherwerb umsetzen konnte, würde dieser Befund den Beobachtungen von Szagun 2002 entsprechen. Sie postuliert, dass das präoperative Hörvermögen ein entscheidender Faktor für die postoperativen Sprachleistungen ist, entscheidender als das Alter bei CI-Operation. Wüsste man den Zeitpunkt der CI-Operation bei Kind AB nicht, fiel es schwer, überhaupt Anzeichen eines Wechsels der Hörhilfen festzustellen. Die Sprachentwicklung von Kind AB läuft kontinuierlich weiter. Damit muss man die in der Literatur häufig formulierte Aussage „CI-Operation so früh wie möglich“ (z.B. Sharma et al. 2004, Kirk 2000, Moore et al. 2002) relativieren.

Eine gut eingestellte Hörhilfe (Hörgerät) ermöglicht unter Umständen das normale Durchlaufen der vorsprachlichen Entwicklungsphasen ebenso gut wie ein CI, wenn das Kind einen Nutzen aus den Hörhilfen zieht. Die hier gemachten Befunde sind damit in guter Übereinstimmung mit denen von Szagun (2002).

Direkte Reaktion von CI-AD auf die Erstaktivierung des CI

Die frühesten Aufnahmen mit aktiviertem CI liegen von Proband CI-AD vor, da ein Mitarbeiter des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen unmittelbar bei Erstaktivierung der CI-Elektroden an der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg anwesend war. Die Erstaktivierung erfolgte im Höralter von 321 Tagen und der Proband trug an diesem Tag keine zusätzliche Hörhilfe.

Direkt nach der Erstaktivierung reagiert AD mit der Produktion propriozeptiver Laute, die im Spiel unmittelbar zuvor nicht vorkamen und die den starken Eindruck eines Resonanz-Tunings hervorrufen. Bei hoher Verstärkung dieser Aufnahme ist im Hintergrund ein konstanter Tieftone zu hören. Es ist wahrscheinlich, dass auch AD diesen Tieftone wahrnimmt und sich wundert wo dieser seinen Ursprung hat. Deswegen ahmt er diesen Ton nach, um auszuprobieren, ob er diesen selbst produziert oder ob er von außen kommt.

Nach Beendigung der ersten Anpassung aller Kanäle und Regulation der korrespondierenden Lautstärken "spielt" das Kind mit den Resonanzeigenschaften und variiert dabei auch die laryngealen Anregungsprozesse (verstärktes Auftreten Subharmonischer) (siehe Abbildung 48). Unmittelbar danach wird das CI noch einmal deaktiviert, woraufhin das Kind wieder dieselben Laute erzeugt, die es kurz vor der CI-Anpassung geäußert hat. Man kann hier deutlich die direkte Wirkung der Höreindrücke an der Veränderung der Lauteigenschaften beim Ein- und Ausschalten des CI nachvollziehen.

Vorsprachliche Entwicklung nach Erstanpassung des Cochlea-Implantats (ECI)

CI-AA war bei Beginn der Aufnahmen bereits mit einem aktivierten CI rechts sowie einer linksseitigen Hörhilfe versorgt. Kind CI-AA befand sich zu Beginn der Aufnahmen bereits im vorkanonischen Babbelstadium. Bevor die ersten kanonischen Babbel-Laute bei CI-AA auftraten, fielen gehäuft auftretende Shifts und Subharmonische sowie propriozeptive und hochfrequente Laute auf.

Erste Staccato-Rhythmen wie sie bei CI-AB sowie CI-AE bereits vor Erstaktivierung des Cochlea-Implantats vorkamen, treten bei CI-AC 6 Tage nach der Erstaktivierung des CI im Höralter von 141 Tagen (chronologisches Alter 374 Tage) auf (Abbildungen

33, 34). Während die meisten der beobachteten Fortschritte bei Kind AC am 374. Tag auch auf die fortschreitende vorsprachliche Entwicklung zurückzuführen sind, sind wahrscheinlich die höheren Resonanzfrequenzen, die in einzelnen Lauten zu beobachten sind (siehe Abbildung 37), auf die einsetzende Wirkung des Cochlea-Implantats zurückzuführen. Dies bestätigt sich auch dadurch, dass an den folgenden Tagen solche Laute mit höheren Resonanzfrequenzen häufiger auftreten. Im Höralter von 187 Tagen (chronologisches Alter 420 Tage) treten erste Silbensequenzen auf, welche das baldige Einsetzen des Babbelns vermuten lassen. Dies wird im Vergleich zu ähnlichen Silbensequenzen bei CI-AB deutlich, welche bei dem Kind kurz vor dem Auftreten des Babbelns vorkamen (siehe Abbildung 71). Dies ist wohl auf die durch das Cochlea-Implantat gewonnene Hörfähigkeit zurückzuführen. Einschränkend muss man sagen, dass AC immer wieder zu propriozeptiven Lauten mit niedrigen Resonanzfrequenzen zurückkehrt. Trotzdem nehmen die Laute mit höheren Resonanzfrequenzen im Zeitverlauf zu. Aus der Sicht der vorsprachlichen Diagnostik kann bei entsprechender intensiver therapeutischer Begleitung auch bei diesem Kind eine positive Prognose gestellt werden. Die Tatsache, dass dieses Kind immer wieder sehr stark zu den „alten Mustern“ (propriozeptive Laute) neigt, impliziert aber die Notwendigkeit einer deutlich intensiveren individuellen therapeutischen Förderung, als dies bei den anderen hier untersuchten Kindern der Fall ist (Ruben 1991, Löhle et al 1999). Auch die besondere familiäre Situation könnte dafür sprechen (Mutter alleinerziehend mit weiteren Kindern, bilinguale Sprachumgebung).

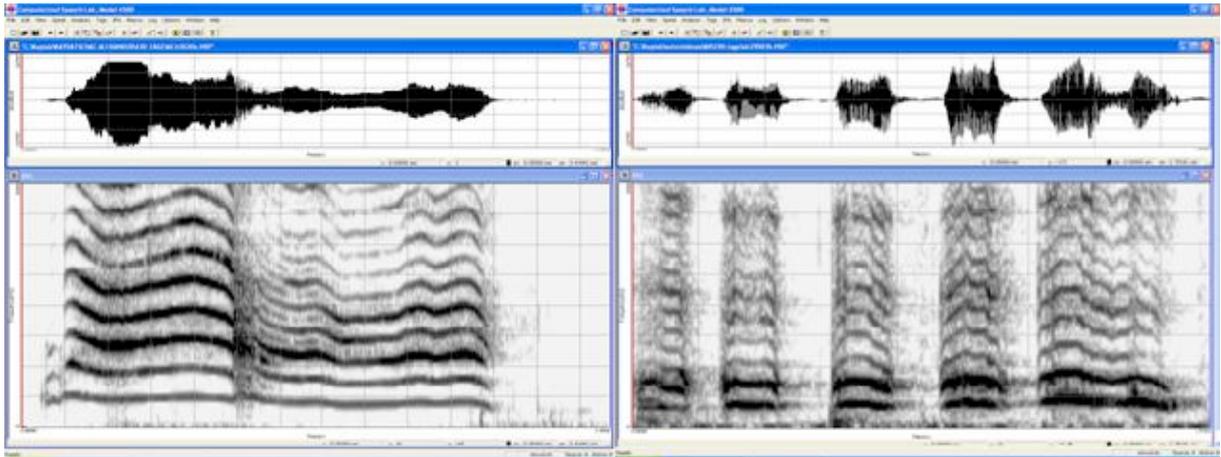


Abbildung 71: Vergleich von ersten Silbensequenzen bei CI-AC (links) im Höralter von 187 Tagen nach ECI und CI-AB (rechts) im Höralter von 78 Tagen vor CI-Op unter Therapie mit Hörhilfen beidseits.

Proband CI-AD, der im Alter von 403 Tagen die Erstanpassung des Cochlea-Implantats erhielt, zeigte in der Woche nach der Erstanpassung des Cochlea-Implantats eine Fortführung der bereits vor Erstanpassung bestehenden häufigen propriozeptiven und hochfrequenten Laute sowie häufiger Shifts, wenn auch die hochfrequenten Laute am Ende der Woche nach ECI den Eindruck einer erweiterten Frequenzmodulation erwecken. Durch die schnellen Wechsel von hoch- und tieffrequenten Lauten entstand der Eindruck einer deutlich größeren Flexibilität in der Regulation der Phonationsmechanismen.

Die beobachteten Phänomene treten unabhängig davon auf, ob zusätzlich zum CI die Hörhilfe getragen wird oder nicht, wären also damit allein auf die Wirkung des CI zurückzuführen.

Im Zeitraum der Aufnahmen vom 410. Tag bis zum 443. Tag traten zunehmend differenzierte Modulation sowie ein stetiger Rückgang der propriozeptiven und hochfrequenten Laute und Shifts auf. Diesen Befund kann man als deutlichen Entwicklungsschritt interpretieren.

Proband CI-AE erhielt die Erstanpassung des CI im Alter von 552 Tagen (Höralter 77 Tage). Zwei Tage nach Erstanpassung traten wieder hochfrequente Laute auf. Die Art dieser Laute ist charakteristisch für hörbehinderte Kinder ohne Versorgung mit Hörhilfen. Es könnte bedeuten, dass die mit dem CI erzeugte auditive Empfindung vom

Kind noch nicht dazu genutzt wird, um die Stimmregulation intentional zu steuern – der auditive Rückkopplungsmechanismus ist möglicherweise noch nicht aktiv bzw. wird noch nicht bewusst genutzt.

Auftreten von Babbellauten

Im Höralter von 234 Tagen (chronologisches Alter 352 Tage), 100 Tage nach Erstanpassung des CI, traten bei CI-AA erste kanonische Babbellaute auf (siehe Abbildung 11). Ab dem Alter von 393 Tagen (Höralter 275) war bei AA eine kontinuierliche Steigerung des Spektrums der Babel-Silben als auch deren Kombination miteinander zu beobachten. Ab dem Höralter von 304 Tagen traten erste Versuche der Wortbildung als direkte Reaktion auf gehörte Sprache auf (Imitation).

Bei CI-AC traten im Aufnahmezeitraum bis 47 Tage nach der Erstanpassung im Höralter von 187 Tagen keine Babbellaute auf.

Bei AD traten im Höralter von 365 Tagen, 42 Tage nach Erstanpassung des CI, erste Babel-Laute auf. Hierbei ahmte der Proband eine Spielzeugente nach, es trat also eine direkte Reaktion auf Gehörtes auf. Diese Rhythmik verfestigte sich in den folgenden Aufnahmen. Auffällig war jedoch bei der Aufnahme im Höralter von 370 Tagen, während welcher der Proband zwischenzeitlich weder CI noch Hörhilfe trug, dass dieser, auch bei kurzzeitigem Verlust seiner Hörfähigkeit, wieder vermehrt propriozeptive und hochfrequente Laute sowie Shifts produzierte. Bei erneutem Einsetzen von CI und Hörhilfe traten die zuvor beschriebenen Babel-Laute wieder auf. Dies ist wiederum ein deutliches Argument für die direkte Reflexion der Hörhilfen in den akustischen Eigenschaften der produzierten Laute.

Erste klare abgetrennte Silbenstrukturen treten am 558. Tag (Höralter 468 Tage) auf (Abb. 53). Damit erreicht das Babbeln eine neue Qualität. Es werden neue Konsonanten sichtbar, neue Silben-Kombinationen treten auf, die Phase des kanonischen Babbelns ist erreicht. Am 576. Tag (Höralter 486 Tage) imitiert CI-AD erste Wörter. Hier werden bereits klar strukturierte Formantübergänge sichtbar, ein Hinweis auf eine intentionelle artikulatorische Aktivität.

CI-AE ahmte bereits 23 Tage nach der Erstanpassung des Cochlea-Implantats im Höralter von 100 Tagen (chronologisches Alter 575 Tage) unmittelbar Gehörtes nach, wobei sowohl eine deutliche Sequenzierung der Laute als auch Formantwechsel

auftraten. Nach Zweitangepassung des CI im Höralter von 126 Tagen (chronologisches Alter 601 Tage) fiel eine Zunahme rhythmischer Elemente bei gleichzeitiger Fähigkeit, Zeitstrukturen mit relativ hoher Präzision zu wiederholen, auf. Hierbei handelte es sich um zweisilbige Laute auf „a“. Beide Silben sind kürzer als 500 ms und entsprechen damit dem von Oller (2000) beschriebenen Kriterium für eine „echte“ Silbe.

Im direkten Vergleich der ersten kanonischen Babbellaute der Probanden CI-AA, CI-AD und CI-AE fällt eine bei CI-AA deutlich ausgeprägtere Melodik auf, welche den Eindruck einer im Vergleich mit CI-AD und CI-AE fortgeschrittenen Stimmregulation erweckt. Dies ist wohl damit zu begründen, dass die Hörbeeinträchtigung von CI-AA bereits sehr früh therapiert wurde und dieser Proband daher nur einen kurzen Zeitraum ohne auditive Rückkopplung war. CI-AD erhielt die Hörhilfen zwar zu einem noch früheren Zeitpunkt, es kann aber nach Berichten der Mutter über mangelnde Akzeptanz davon ausgegangen werden, dass diese nur unzureichend eingestellt waren und daher nicht den gewünschten Nutzen gebracht haben. Bei CI-AE war die Diagnose der Hörbeeinträchtigung unter allen Probanden am spätesten gestellt und konsekutiv auch die Therapie zu einem späteren Zeitpunkt eingeleitet worden. Wie in Abbildung 72 zu sehen, fällt eine zu den anderen beiden Probanden deutlich primitivere Stimmodulation auf. CI-AE war unter den Probanden derjenige mit dem längsten Zeitraum ohne Hörerfahrung. Dennoch schafft es der Proband in relativ kurzer Zeit wesentliche Entwicklungsschritte bis zum Auftreten der ersten Babbel-Laute zu durchlaufen (Entwicklungsakzeleration).

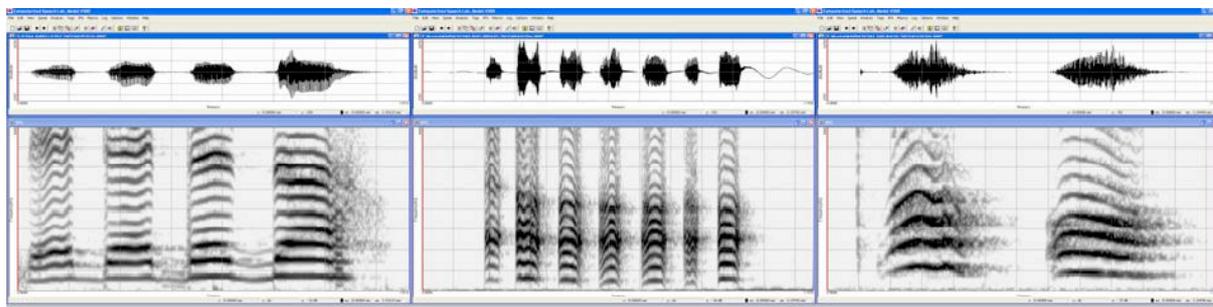


Abbildung 72: Auftreten erster Babbellaute bei CI-AA (links), CI-AD (Mitte) sowie CI-AE (rechts).

Eine synoptische Übersicht über die vergleichende Lautentwicklung aller in dieser Studie untersuchten Probanden gibt die nachfolgende Tabelle 8:

Tabelle 8: Vergleich der vorsprachlichen Entwicklung der Probanden

	CI-AA	CI-AB	CI-AC	CI-AD	CI-AE
Dauer der Hörbeeinträchtigung vor Therapiebeginn	118 Tage	212 Tage	233 Tage	80 Tage	503 Tage
Höralter (chronologisches Alter) bei Erstaufnahme	73 Tage (179 Tage)	2 Tage (214 Tage)	82 Tage (315 Tage)	220 Tage (300 Tage)	-10 Tage (465 Tage) (10 Tage vor Beginn der Therapie mit Hörhilfen)
Gemeinsamkeiten in der vorsprachlichen Entwicklung mit anderen Probanden	Verhalten wurde im Untersuchungszeitraum nicht beobachtet	Hochfrequente Laute, propriozeptive Laute	Verhalten wurde im Untersuchungszeitraum nicht beobachtet	Hochfrequente Laute, propriozeptive Laute	Hochfrequente Laute, propriozeptive Laute
Höralter (chronologisches Alter) bei ersten Staccatorhythmen	123 Tage (347 Tage)	43 Tage (255 Tage)	134 Tage (367 Tage)	Verhalten wurde im Untersuchungszeitraum nicht beobachtet	74 Tage (550 Tage)
HH/CI bei ersten Staccatorhythmen	CI re., HH li	HH bds.	HH li.	Verhalten wurde im Untersuchungszeitraum nicht beobachtet	CI re., HH li
Höralter (chronologisches Alter) bei erstem kanonischem Babbeln	234 Tage (352 Tage)	78 Tage (290 Tage)	Verhalten wurde im Untersuchungszeitraum nicht beobachtet	468 Tage (558. Tage)	129 Tage (604 Tage)
CI/HH bei erstem Babbeln	CI re., HH li	HH bds.	Verhalten wurde im Untersuchungszeitraum nicht beobachtet	CI re., HH li	CI re., HH li
Zeit zwischen ersten Staccatorhythmen und erstem kanonischem Babbeln	5 Tage	35 Tage			29 Tage

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden spektrographische Analysen spontaner Lautäußerungen von fünf hochgradig hörbeeinträchtigten Säuglingen und Kleinkindern durchgeführt. Die Aufnahmen wurden im Zeitraum vor, während und kurz nach der Versorgung mit einem Cochlea-Implantat, meist in häuslichem Rahmen, aber auch während Untersuchungen an der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg erstellt.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte sowohl unter Berücksichtigung des chronologischen Alters, als auch des Alters der Probanden gerechnet ab Beginn der Therapie mit Hörhilfen (Höralter). Dies ermöglichte den Vergleich vorsprachlicher Entwicklungsschritte trotz interindividueller Unterschiede im Diagnosealter und dem Therapieverlauf.

In der Auswertung ergaben sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede im Verlauf der vorsprachlichen Entwicklung der Probanden. Diese standen mit dem Alter der Kinder bei Diagnose der Hörbeeinträchtigung und der daraufhin begonnenen Therapie mittels Hörhilfen und/oder CI im Zusammenhang. Vor Beginn der Therapie fiel bei den untersuchten Probanden häufig eine stark erhöhte Intensität der Grundfrequenz auf, was wir auf die Wirkung einer taktil-kinästhetischen Wahrnehmung zurückführen.

Auch bei später Diagnosestellung, nicht ausreichender Einstellung der Hörhilfen oder des CI und/oder weniger intensiver häuslicher und logopädischer Förderung traten wesentliche Merkmale vorsprachlicher Entwicklungsschritte auf: Die Kinder benötigten jedoch meist einen längeren Zeitraum um den nächst höheren Entwicklungsschritt zu erreichen und zeigten bei Erreichen der nächst höheren Entwicklungsstufe im Vergleich mit bereits länger therapierten Probanden meist Defizite bezüglich der Stimmodulation. Dies kann auf die länger ausgebliebene auditorische Stimulation zurückgeführt werden.

6. Literaturverzeichnis

Deal LV, Haas WL. Hearing and the development of language and speech.
Folia Phoniatica et Logopaedica 1996; 48:111-116

Eggermont JJ, Salamy A. Maturation Time Course For The ABR In Preterm And Fullterm Infants.
Hearing Research 1988, 33, 35-47

Eilers RE, Oller DK. Infant vocalizations and the early diagnosis of severe hearing impairment.
Journal of Pediatrics Vol. 124, Feb 1994, 199-203

Gillis S, Schauwers K, Govaerts PJ. Babbling Milestones And Beyond: Early Speech Development In CI Children 2002.
<http://www.cnts.ua.ac.be/Publications/2002/GSG02a/>

Gordon KA, Papsin BC, Harrison RV: Auditory Brain Stem And Midbrain Development After Cochlear Implantation in Children.
Annals of Otology, Rhinology & Laryngology May 2002, Suppl 189, Volume 111, Number5, Part 2, 32-37

Govaerts PJ, De Beukelaer C, Daemers K, De Ceulaer G, Yperman M, Somers T, Schatteman I, Offeciers FE. Outcome Of Cochlear Implantation At Different Ages From 0 To 6 Years.
Otology & Neurotology 23 (2002) 885-890

Herzel H, Berry D, Titze IR, Saleh M. Analysis of vocal disorders with methods from nonlinear dynamics.
J Speech Hear Res. 1994 Oct;37(5):1008-19

Hirschberg J.: Dysphonia in infants.

Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 1999 Oct 5;49 Suppl 1:S293-6

Kirk K. Cochlear Implants: New Developments and results.

Otolaryngology & Head & Neck Surgery, 2000, 8: 415-420

Kühn-Inacker H, Shehata-Dieler W, Müller J, Helms J. Bilateral Cochlear Implants: A way to optimize auditory perception abilities in deaf children?

International Journal of Pediatric Otorhinopharyngology (2004) 68, 1257-1266

Locke JL: The Child's Path to Spoken Language.

Cambridge, MA: Harvard U Press, 1993 (ISBN 0-674-11640-2)

Locke JL, Bekken KE, McMinn-Larsen L, Wein D. Emergent control of manual and vocal-motor activity in relation to the development of speech.

Brain and Language, (1995), 51: 498-508

Mende W, Herzel H, Wermke K. Bifurcations and chaos in newborn infant cries.

Physics Letters A, (1990), 145: 418-424

Möller S, Schönweiler R. Analysis Of Infant Cries For The Early Detection Of Hearing Impairment

Speech Commun 28 (1999), 175-193

Moore JA, Bass-Ringdahl S. Role Of Infant Vocal Development In Candidacy For And Efficiency Of Cochlear Implantation.

Annals of Otology, Rhinology & Laryngology May 2002, Suppl 189, Volume 111, Number5, Part 2, 52-55

Moore JK, Ponton CW, Eggermont JJ, Wu BJ, Huang JQ. Perinatal Maturation Of The Auditory Brain Stem Response; Changes In Path Length And Conduction Velocity.

Ear Hear 1996; 17; 401-408

Moore JK. Maturation Of Human Auditory Cortex: Implications For Speech Perception. Annals of Otolology, Rhinology & Laryngology May 2002, Suppl 189, Volume 111, Number5, Part 2, 7-10

Oller KD. The Emergence Of The Sounds Of Speech In Infancy
G. Yeni-Komshian, J. Kavanagh & C. Ferguson (Hrsg.) Child phonology: Vol. 1, New York Academic Press, 93-112

Oller KD. The emergence of the speech capacity.
Mahwah, London: Lawrence Erlbaum Associates (2000)

Oller DK, Eilers RE. The Role Of Audition In Infant Babbling
Child Development 1988, 59, 441-449

Ponton CW, Moore JK, Eggermont JJ. Auditory Brain Stem Response Generation By Parallel Pathways: Differential Maturation Of Axonal Conduction Time And Synaptic Transmission.
Ear Hear 1996; 17; 402-410

Schönweiler R. Audiometrische, sprachliche, Entwicklungspsychologische und soziodemographische Befunde bei 1300 sprachauffälligen Kindern und deren Bedeutung für ein individuelles Rehabilitationskonzept, Sprache-Stimme-Gehör 17(1993):6-11

Schönweiler R. A cross-sectional study of speech- and language-abilities of children with normal hearing, mild fluctuating conductive hearing loss, or moderate to profound sensorineural hearing loss .
International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology , Volume 44 , Issue 3 , 251-258

Schuhmann A. Entwicklungsverlauf der frühen produktiven Sprache bei Kindern mit Cochlea-Implantation – Eine Einzelfallstudie aus dem Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Universität Würzburg

Sharma A, Spahe A, Dorman M, Wendell Todd N. Early Cochlear Implantation In Children Allows Normal Development Of Central Auditory Pathways
Annals of Otology, Rhinology & Laryngology May 2002, Suppl 189, Volume 111, Number 5, 38-41

Shehata-Dieler WE, Dieler R, Keim R, Finkenzeller P, Dietl J, Helms J. Universal hearing screening of newborn infants with the BERA-phone.
Laryngorhinootologie. 2000 Feb; 79(2): 69-76.

Sharma A, Tobey E, Dorman M, Bharadwaj S, Martin K, Gilley P, Kunkel F. Central Auditory Maturation And Babbling Development In Infants With Cochlear Implants,
Arch Otolaryngol Head Neck Surg, 2004 May;130(5): 511-516

Stelmachowicz PG, Pittman AL, Hoover BM, Lewis DE, Moeller MP: The importance of high-frequency audibility in the speech and language development of children with hearing loss.
Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 2004 May;130(5): 556-62.

Stoel-Gammon C, Otomo K: Babbling development of hearing-impaired and normally hearing subjects.
Journal of Speech Hearing Disorders, Vol. 41, 33-41, Feb1986

Stoel-Gammon C: Prelinguistic vocalizations of hearing-impaired and normally hearing subjects. A comparison of consonantal inventories.
Journal of Speech and Hearing disorders, 53: 302-315

Steinecke I, Herzog H. Bifurcations in an asymmetric vocal-fold model.
J Acoust Soc Am. 1995 Mar; 97(3): 1874-84.

Szagan G.: Language acquisition in young German-speaking children with cochlear implants: individual differences and implications for conceptions of a 'sensitive phase', *Journal of Audiology & Neurootology*, Volume 6 2002, 288-297

Várallyay G Jr. The melody of crying.

Int J Pediatr Otorhinolaryngol. 2007 Nov;71(11):1699-708. Epub 2007 Aug 27

Wermke K.: Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten Zwillingen in den ersten 5 Lebensmonaten (2002) <http://edoc.hu-berlin.de/habilitationen/wermke-kathleen-2002-01-29/PDF/Wermke.pdf>

Wermke, Mende: Sprache beginnt mit dem ersten Schrei.

Spektrum der Wissenschaften (1992), 115-118

Wermke K, Leising D, Stellzig-Eisenhauer A. Relation of Melody Complexity in Infants' Cries to Language Outcome in the Second Year of Life: A Longitudinal Study. *Clinical Linguistics & Phonetics*, v21 n11-12, 961-973, Nov 2007

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde durch die Kooperation der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg (Direktor: Univ. Prof. Dr. med. Rudolf Hagen) in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen der Universität Würzburg (Prof. Dr. Kathleen Wermke) ermöglicht. Den beiden Betreuerinnen Prof. Dr. Kathleen Wermke und Prof. Dr. Wafaa Shehata-Dieler gilt mein herzlicher Dank.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Wermke dafür, dass sie mein Interesse an der vorsprachlichen Entwicklung unterstützte und mir ermöglichte, mich mit diesem interessanten Thema auseinanderzusetzen. Auch für ihre positive Unterstützung in jeder Phase der Erstellung der vorliegenden Arbeit und insbesondere ihre Geduld mit mir möchte ich mich aufs allerherzlichste bedanken.

Des weiteren möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. Shehata-Dieler bedanken, die mit dem interdisziplinären Team der Frühförderung an der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten, plastische und ästhetische Operationen der Universität Würzburg die in dieser Arbeit vorgestellten Kinder betreut.

Mein herzlichster Dank gilt vor allem den in dieser Arbeit untersuchten Kindern und deren Familien. Ihrem großen Engagement ist es zu verdanken, dass diese Arbeit möglich geworden ist und ich möchte mich auch noch einmal sehr dafür bedanken, dass ich in dieser Arbeit über ihre Kinder berichten durfte. Ich wünsche den Kindern und ihren Familien alles erdenklich Gute auf ihrem weiteren Lebensweg und bin mir sicher, dass auch die weitere Entwicklung der Kinder positiv verlaufen wird.