

*Der Erwerb melodisch-rhythmischer  
Grundbausteine im Rahmen der vorsprachlichen  
Entwicklung – eine vergleichende Analyse der  
Schreie von schwedischen und deutschen  
Neugeborenen*

**Inaugural-Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde  
der Philosophischen Fakultät II  
der Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von  
Annette Prochnow  
aus Kiel

Hamburg, 2013



Erstgutachter: Prof. Dr. Detlef Hansen  
Zweitgutachterin: Prof. Dr. Kathleen Wermke

Tag des Kolloquiums: 26. Juni 2014

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen</b>	<b>16</b>
2.1	Pränatale Hörfähigkeit . . . . .	16
2.1.1	Strukturelle und funktionelle Grundlagen des pränatalen Hörens	17
2.1.2	Die Besonderheiten der intrauterinen Umgebung für das Hören	18
2.1.3	Fetale Frequenzwahrnehmung und -diskrimination . . . . .	20
2.2	Die Bedeutung der pränatalen und frühen postnatalen auditiven Perzeption von Melodie und Rhythmus für die Sprachentwicklung . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Melodie und Rhythmus im Säuglingsschrei</b>	<b>40</b>
3.1	Vergleich der anatomischen und physiologischen Besonderheiten von Vokaltrakt und Larynx bei Neugeborenen und Erwachsenen . . . . .	40
3.2	Physiologie und Akustik des Säuglingsschreis . . . . .	44
3.3	Prosodische Eigenschaften des Säuglingsschreis als Grundbaustein für den Spracherwerb . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Besonderheiten der schwedischen Prosodie im Vergleich zur deutschen</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>Methodologie</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>Hypothesen</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>72</b>
7.1	Auswahlkriterien der Probanden . . . . .	73
7.2	Schwedische und deutsche Probanden . . . . .	74
7.3	Datenerhebung . . . . .	82
7.4	Datenaufbereitung . . . . .	87
7.4.1	Manuelle Segmentierung der Rohdaten . . . . .	87

## *Inhaltsverzeichnis*

7.4.2	Spektralanalyse . . . . .	87
7.4.3	Ermittlung von Intensitäts- und Grundfrequenzverläufen (Melodien) . . . . .	89
7.5	Datenauswertung . . . . .	91
7.5.1	Analyse und Klassifikation der Melodiestructur . . . . .	91
7.5.2	Ermittlung des Komplexitätsgrades der Schreimelodien (MCI) .	101
7.5.3	Quantitative Analyse melodischer und zeitlicher Parameter . .	101
7.5.4	Statistische Analyse . . . . .	102
<b>8</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>104</b>
8.1	Analyse der Melodiestructur . . . . .	106
8.1.1	Relative Auftrittshäufigkeit der Melodiestructurkategorien . . .	106
8.1.2	Melodiekomplexitätsindex (MCI) . . . . .	108
8.2	Quantitative Analyse melodischer und zeitlicher Parameter . . . . .	112
8.2.1	Mittlere Grundfrequenz . . . . .	112
8.2.2	Hubverhältnis . . . . .	121
8.2.2.1	Vergleich des Hubverhältnisses aller schwedischen und deutschen Schreie . . . . .	121
8.2.2.2	Vergleich des Hubverhältnisses nach Melodiestructurkategorien . . . . .	123
8.2.3	Einzelanschreilänge . . . . .	128
8.2.3.1	Vergleich der Einzelanschreilänge aller schwedischen und deutschen Schreie . . . . .	128
8.2.3.2	Vergleich der Einzelanschreilänge nach Melodiestructurkategorien . . . . .	130
<b>9</b>	<b>Diskussion</b>	<b>136</b>
9.1	Melodische und zeitliche Parameter als Indikatoren für den Gesundheits- und Reifezustand von Neugeborenen . . . . .	136
9.2	Melodiestructur und MCI . . . . .	143
9.3	Schreimelodien von Neugeborenen werden durch die Prosodie der Muttersprache geprägt: Erwerbsmechanismen und die Art des Inputs . . . .	148



## *Inhaltsverzeichnis*

<b>10 Zusammenfassung</b>	<b>159</b>
<b>Literatur</b>	<b>163</b>
<b>Anhang</b>	<b>185</b>
<b>Danksagung</b>	<b>192</b>

# Abbildungsverzeichnis

1	Vergleich von Vokaltrakt und Larynx beim Erwachsenen und Neugeborenen . . . . .	41
2	Grundtypen der Melodie von Säuglingsschreien . . . . .	51
3	Grundfrequenzverlauf der schwedischen Wortakzente . . . . .	57
4	Schematische Darstellung des Grundfrequenzverlaufs der beiden schwedischen Wortakzente aus Borås . . . . .	58
5	Verteilung von tonalen Wortakzenten am Beispiel von ausgewählten Sprachen . . . . .	60
6	Schematische Darstellung der schwedischen Wortakzente in fokaler und non-fokaler Position . . . . .	61
7	Streudiagramm zur Verteilung des LGG in Abhängigkeit von der vSSW bei den weiblichen Probanden . . . . .	80
8	Streudiagramm zur Verteilung des LGG in Abhängigkeit von der vSSW bei den männlichen Probanden . . . . .	81
9	Beispiel für das Schmalbandspektrogramm (CSL) eines Säuglingsschreis mit nachfolgendem Inspirationslaut . . . . .	88
10	Beispiel für eine Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP) eines Säuglingsschreis	90
11	Säuglingsschrei mit dem melodischen Merkmal <i>Doppelbogen</i> . . . . .	92
12	Säuglingsschrei mit dem melodischen Merkmal <i>Mehrfachbogen</i> . . . . .	93
13	Säuglingsschrei der Kategorie <i>einfache Segmentierung</i> . . . . .	94
14	Säuglingsschrei der Kategorie <i>komplexe Segmentierung</i> . . . . .	94
15	Säuglingsschrei der Kategorie <i>Mehrfachsegmentierung</i> . . . . .	95
16	Zwei einfachböigige Schreimelodien mit <i>An-</i> bzw. <i>Endlaut</i> . . . . .	96
17	Verschiedene Strukturformen von Anlauten . . . . .	97

## Abbildungsverzeichnis

18	Ähnliche Melodiekonturen, realisiert über verschiedene Einzelschreilängen . . . . .	98
19	Säuglingsschrei der Kategorie <i>unklare Struktur</i> . . . . .	99
20	Phonatorisches Rauschen in Säuglingsschreien . . . . .	100
21	Säulendiagramm der prozentualen Verteilung der ausgeschlossenen bzw. weiter analysierten Kategorien . . . . .	105
22	Säulendiagramm der relativen Häufigkeiten der Melodiestrukturkategorien beider Gruppen . . . . .	107
23	Histogramme zur Verteilung der einzelnen kindbasierten MCI-Werte .	109
24	Boxplot-Diagramm zur Verteilung der MCI-Werte pro Kind und Gruppe (Schwedisch: n = 52; Deutsch: n = 79) . . . . .	110
25	Boxplot-Diagramm zur Verteilung der MCI-Werte pro Kind und Gruppe, differenziert nach Geschlecht . . . . .	111
26	Histogramm zur Verteilung der mittleren $f_0$ aller schwedischen Lautäußerungen . . . . .	113
27	Histogramm zur Verteilung der mittleren $f_0$ aller deutschen Lautäußerungen . . . . .	114
28	Boxplot-Diagramm zur mittleren $f_0$ , berechnet auf Basis aller Schreie pro Gruppe . . . . .	115
29	Boxplot-Diagramm zur Verteilung der mittleren Grundfrequenzwerte pro Gruppe, differenziert nach Geschlecht . . . . .	118
30	Histogramme zur Verteilung des Hubverhältnisses aller schwedischen (a) und deutschen (b) Laute . . . . .	122
31	Boxplot-Diagramm zum Hubverhältnis aller schwedischen (n = 2795) und deutschen (n = 1907) Lautäußerungen . . . . .	123
32	Histogramme zur Verteilung des Hubverhältnisses aller schwedischen (a) und deutschen (b) einfachböigen Laute . . . . .	124
33	Boxplot-Diagramm zum Hubverhältnis aller schwedischen (n = 1753) und deutschen (n = 1455) Schreie der Struktur 1B . . . . .	125

## Abbildungsverzeichnis

34	Histogramme zur Verteilung des Hubverhältnisses der schwedischen (a) und deutschen (b) Schreie der Struktur 2B . . . . .	126
35	Boxplot-Diagramm zum Hubverhältnis der schwedischen (n = 430) und deutschen (n = 208) Schreie der Struktur 2B . . . . .	126
36	Histogramme zur Verteilung des Hubverhältnisses aller schwedischen (a) und deutschen (b) einfachsegmentierten Laute . . . . .	127
37	Boxplot-Diagramm zum Hubverhältnis der schwedischen (n = 242) und deutschen (n = 117) Schreie der Struktur 1S . . . . .	128
38	Histogramme zur Verteilung der Länge aller schwedischen (a) und deutschen (b) Laute . . . . .	129
39	Boxplot-Diagramm zur Länge aller schwedischen (n = 2795) und deutschen (n = 1907) Schreie . . . . .	130
40	Histogramme zur Verteilung der Länge aller schwedischen (a) und deutschen (b) Schreie der Struktur 1B . . . . .	131
41	Boxplot-Diagramm zur Länge aller schwedischen (n = 1753) und deutschen (n = 1455) Schreie der Struktur 1B . . . . .	132
42	Histogramme zur Verteilung der Länge aller schwedischen (a) und deutschen (b) Schreie der Struktur 2B . . . . .	133
43	Boxplot-Diagramm zur Länge der schwedischen (n = 430) und deutschen (n = 208) Schreie der Struktur 2B . . . . .	133
44	Histogramme zur Verteilung der Länge aller schwedischen (a) und deutschen (b) Schreie der Struktur 1S . . . . .	134
45	Boxplot-Diagramm zur Länge der schwedischen (n = 242) und deutschen (n = 117) Schreie der Struktur 1S . . . . .	135

# Tabellenverzeichnis

1	Übersicht der in Kapitel 2.1.3 dargestellten behavioralen und elektro-physiologischen Studien zur fetalen Frequenzwahrnehmung (a) und Frequenzdiskrimination (b) . . . . .	26
2	Schwedische Probanden . . . . .	74
3	Deutsche Probanden . . . . .	76
4	Lage- und Streuungsmaße von Gestationsalter und anthropometrischen Daten der schwedischen und deutschen Probandengruppe . . . . .	78
5	Alter des Kindes und Anzahl der analysierten Schreie pro Aufnahmezeitpunkt (schwedische Probanden) . . . . .	83
6	Alter des Kindes und Anzahl der analysierten Schreie je Aufnahmezeitpunkt (deutsche Probanden) . . . . .	85
7	Anzahl der für die weitere Analyse nicht geeigneten Lautäußerungen .	104
8	Relative Häufigkeiten der Melodiestrukturkategorien nach Gruppe und Geschlecht [in %] . . . . .	108
9	Ergebnis der Berechnung des MCI pro Kind und Gruppe . . . . .	109
10	Lage- und Streuungsmaße der mittleren $f_0$ aller schwedischen und deutschen Schreie, differenziert nach Geschlecht . . . . .	112
11	Mittlere $f_0$ pro Kind, Schwedisch (in Hz) . . . . .	116
12	Mittlere $f_0$ pro Kind, Deutsch (in Hz) . . . . .	119
13	Lage- und Streuungsmaße des Hubverhältnisses aller schwedischen und deutschen Schreie, differenziert nach Geschlecht . . . . .	121
14	Lage- und Streuungsmaße des Hubverhältnisses nach Strukturkategorien	123
15	Lage- und Streuungsmaße der Einzelschreilänge aller schwedischen deutschen Schreie, differenziert nach Geschlecht [in s] . . . . .	129

*Tabellenverzeichnis*

16	Lage- und Streuungsmaße der Einzelschreilänge nach Strukturkategorien [in s] . . . . .	131
----	--	-----

# Abkürzungsverzeichnis

GA .....	Gestationsalter in Wochen
KU .....	Kopfumfang
LGG .....	längenbezogenes Geburtsgewicht
M .....	Mittelwert
SD .....	Standardabweichung
vSSW .....	vollendete Schwangerschaftswoche

# 1 Einleitung

Wann beginnt die kindliche Sprachentwicklung? Wie wirken äußere Faktoren und innere Voraussetzungen zusammen? Mit Forschungsfragen dieser Art beschäftigen sich interdisziplinär Psychologen, Linguisten, (Neuro-)Biologen, Mediziner und Sprachheilpädagogen<sup>1</sup> – nicht zuletzt angeregt durch Fortschritte im Bereich wissenschaftlicher Forschungsmethoden in den letzten Jahrzehnten.

Seit den Ergebnissen der ersten PISA-Studie im Jahr 2000, die einmal mehr die enge Verknüpfung von sprachlichen Fähigkeiten und Bildungserfolg aufgezeigt haben, ist die Forschung zum Themenkomplex „Sprache“ in Deutschland wieder verstärkt zu einem gesellschaftspolitischen Thema geworden (z. B. PISA-Konsortium, 2001; Esser, 2006). Neben der Entwicklung von neuen Verfahren zur Sprachstandserhebung und zur Diagnostik von Sprachstörungen sowie von Konzepten zur Sprachförderung und zur Sprachtherapie liegt ein bedeutender Fokus auf der Erforschung der kindlichen Erwerbsmechanismen einer oder mehrerer Muttersprachen und des sukzessiven Erwerbs zweier Sprachen. Hierbei stellt sich auch die Frage, wie früh es möglich ist, ein Kind bei seinem Spracherwerbsprozess zu unterstützen. Dies setzt voraus, möglichst früh Risikoindikatoren identifizieren zu können, die auf mögliche Spracherwerbsschwierigkeiten hindeuten.

„The basic structure of language is laid down in infancy, which is paradoxical since the word derives from the Latin *infans*, literally ‘not speaking’“ (Locke & Bogin, 2006, S. 261). Dass das „Nicht-Sprechen“ in frühester Kindheit nicht gleichbedeutend damit ist, „keine Sprache zu haben“, ist der theoretische Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit. Sie leistet einen Beitrag zur Erforschung der frühesten Phase des Spracherwerbs im weiteren Sinne, der Phase des vokalen Kommunizierens mittels Schreien.

---

<sup>1</sup> Im Folgenden wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Dabei sind männliche und weibliche Personen in gleicher Weise gemeint.



## 1 Einleitung

Die Erforschung des Schreiens Neugeborener und junger Säuglinge, insbesondere seiner akustischen Parameter, hat eine langjährige Tradition. In den 60er-Jahren wurden in Finnland erstmals systematisch spektrographische Analysen zur Untersuchung von Säuglingsschreien durchgeführt (Wasz-Höckert, Lind, Vuorenkoski, Partanen & Velanne, 1968; Michelsson, Eklund, Leppänen & Lyytinen, 2002). Der Fokus dieser „klassischen“ medizinischen Schreiforschung liegt auf der Erkennung von pathologischen Auffälligkeiten und Entwicklungsrisiken, wie sie zum Beispiel durch Mangelercheinungen, Syndrome oder neurophysiologische Dysfunktionen verursacht werden können.

Erst durch die Forschung von Kathleen Wermke, Werner Mende und ihren Kollegen konnte belegt werden, dass der Säuglingsschrei ein grundlegender Bestandteil der Entwicklung zur Sprachfähigkeit ist. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die Schreimelodieentwicklung mit einfachen Bögen beginnt, die schon ab der zweiten Lebenswoche immer komplexer werden und deren Spuren man über Gurren und Babbeln bis in die ersten Wörter verfolgen kann (z. B. Wermke, Mende, Manfredi & Brusciaglioni, 2002). Die Ergebnisse einer Längsschnittstudie weisen darauf hin, dass die prosodierelevanten Leistungen im zweiten Lebensmonat, nämlich die Variation von Schreimelodie und -rhythmus, ein Prädiktor für Sprachleistungen im zweiten Lebensjahr sein könnten (Wermke, Leising & Stellzig-Eisenhauer, 2007). Mampe, Friederici, Christophe & Wermke (2009) konnten zeigen, dass die Schreimelodiekonturen von 1 Woche alten französischen und deutschen Neugeborenen schon eine muttersprachliche Prägung aufweisen – mit hoher Wahrscheinlichkeit bedingt durch die pränatale Erfahrung mit der Prosodie der Muttersprache.

„The extraordinary preferences in perception of melody and rhythm of newborns and young infants leave no doubt that the human infant has a specific sensitivity to just these acoustic features. Therefore it seems to us reasonable to assume that human infants' own sound productions, e.g., their cries, might bear traces of intrauterine melodic experiences too“ (Wermke & Mende, 2009, S. 121).

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine vergleichende signalanalytische Untersuchung der Schreimelodien von 1 Woche alten schwedischen und deutschen Neugeborenen hinsichtlich eines Einflusses der pränatal wahrgenommenen muttersprachlichen Prosodie auf die Melodiekomplexität. Dafür wurden insgesamt 2795 schwedische und 1907 deutsche Schreie von 52 schwedischen und 79 deutschen me-

## 1 Einleitung

dizinish unauuffälligen Neugeborenen im Alter von 1 bis 5 Tagen signalanalytisch untersucht. Während Mampe et al. (2009) und Mampe (2012) nur Schreie mit einer einfachen Melodiestructur in die Analyse einbezogen haben, werden in der vorliegenden Arbeit auch Schreie mit komplexer Struktur analysiert. In der vorliegenden Arbeit geht es weniger um die Frage, ob sich typische akustische Eigenschaften der muttersprachlichen Prosodie auf die Melodiebogenformen, das heißt auf die *Melodiekontur* auswirken. Vielmehr soll vorrangig der Frage nachgegangen werden, ob sich die Melodieeigenschaften der beiden Neugeborenenengruppen statistisch signifikant unterscheiden und ob potenzielle Unterschiede durch den Einfluss der jeweils pränatal gehörten Sprachen erklärt werden können. Wie in den Kapiteln 4 und 6 dargestellt, wird dies insbesondere für die *Komplexität* der Schreimelodien erwartet.

Die Arbeit gliedert sich wie folgt: Das der Einleitung folgende Kapitel 2 behandelt schwerpunktmäßig Forschungsergebnisse zur *Perzeption* von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen. Hierbei werden zunächst die strukturellen und funktionellen Grundlagen des pränatalen Hörens sowie die Besonderheiten der intrauterinen Umgebung für das pränatale Hören ausgeführt. Anschließend werden Aspekte der fetalen Frequenzwahrnehmung und -diskrimination behandelt. Daraufhin wird dargestellt, wie sich die frühe pränatale Reifung des Gehörs auf die Perzeptionsleistungen innerhalb der ersten Lebenswoche auswirkt und welche Relevanz die frühen Perzeptionsleistungen für die Sprachentwicklung haben können. Gegenstand von Kapitel 3 ist die *Produktion* von Melodie und Rhythmus im Säuglingsschrei. Nach einer Darstellung der anatomischen und physiologischen Besonderheiten von Larynx und Vokaltrakt bei Neugeborenen im Vergleich mit denen bei Erwachsenen werden diese mit der Physiologie der Schreiproduktion des Neugeborenen in der ersten Lebenswoche in Zusammenhang gebracht sowie die Bedeutung des Säuglingsschreis für die spätere Sprachentwicklung herausgestellt. In Kapitel 4 wird ein Überblick über die Besonderheiten der Prosodie der schwedischen Sprache, verglichen mit der des Deutschen, gegeben. Danach erfolgen die methodologischen Überlegungen, die der Konstruktion des Studiendesigns der Arbeit zugrundeliegen (Kapitel 5), woran sich in Kapitel 6 die Formulierung der Hypothesen anschließt. Darauf folgt eine detaillierte Beschreibung der Probandengruppen

## *1 Einleitung*

und der Untersuchungsmethoden (Kapitel 7). Auf die Darstellung der Ergebnisse (Kapitel 8) folgt die Diskussion der Ergebnisse auf Basis des im Theorieteil dargestellten Forschungsstandes (Kapitel 9). In Kapitel 10 werden der theoretische Hintergrund, Material und Methoden, die Ergebnisse und die Diskussion zusammengefasst.

## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

### 2.1 Pränatale Hörfähigkeit

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts ging man noch davon aus, dass Kinder praktisch taub auf die Welt kommen (Uffelmann, 1890, zitiert nach Spitzer, 2002). Die Forschungsergebnisse der letzten Jahrzehnte belegen jedoch inzwischen das Gegenteil: Im letzten Trimester der Schwangerschaft ist der Fetus in der Lage, sowohl akustische Reize zu hören als auch auf diese zu reagieren. Besonders sensibel ist er dabei für prosodische (melodisch-rhythmische) Merkmale der Sprache. Diese bereits pränatal beginnende *perzeptive* Sprachentwicklung<sup>2</sup> ist eine essentielle Voraussetzung für die postnatal beginnende *produktive* Sprachentwicklung (Kapitel 2.2).

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über die strukturellen und funktionellen Grundlagen des pränatalen Hörens gegeben. Anschließend werden die spezifischen Bedingungen für das Hören im Uterus ausgeführt. In einem dritten Abschnitt stehen die fetale Frequenzwahrnehmung und -diskriminierung im Mittelpunkt, wobei der Fokus auf der Beantwortung zweier Fragen liegt: Ab wann, das heißt ab welchem Gestationsalter, reagiert der Fetus behavioral und physiologisch auf akustische Stimuli unterschiedlicher Art? Und ab wann kann das fetale Gehör verschiedene Frequenzen diskriminieren?

---

<sup>2</sup> Der Begriff der Sprachentwicklung wird in der vorliegenden Arbeit in einem weiteren Sinne verwendet als es in der Linguistik üblich ist. So wird hier auch die der eigentlichen Sprachentwicklung vorausgehende vorsprachliche/prälexikalisches Entwicklung mit einbezogen.

## 2.1.1 Strukturelle und funktionelle Grundlagen des pränatalen Hörens

Bereits nach einer Gestationszeit von 20 Wochen sind die morphologischen Strukturen des peripheren Hörsystems (äußeres Ohr, Mittelohr und Innenohr) funktionsfähig (Pujol, Lavigne-Rebillard & Uziel, 1991). Diese Funktionsfähigkeit markiert aber noch nicht den Beginn der fetalen Hörfähigkeit. Hierfür ist es unabdingbar, dass die Hörnervenfaser in der Lage sind, durch Schallreize ausgelöste Impulse von der Cochlea an das Gehirn weiterzuleiten (Abdala & Keefe, 2012).

Erste Reifezeichen des zentralen Hörsystems (Hörnerv, subkortikale und kortikale Hörzentren) zeigen sich zu Beginn des dritten Schwangerschaftstrimesters. So beginnt mit ungefähr 27 Wochen (GA) die Myelinisierung der Hörbahn von der Cochlea über den Hirnstamm zum auditorischen Thalamus (Moore & Linthicum, 2007). Messungen der Hörfähigkeit bei frühgeborenen Neugeborenen zeigen, dass sich ab einem Alter von ungefähr 25 Wochen (GA) akustisch evozierte kortikale Potenziale (Weitzman, Graziani & Duhamel, 1968) und ab 27 Wochen Hirnstammpotenziale (ABR) (Starr, Amlie, Martin & Sanders, 1977) ableiten lassen.<sup>3</sup> Im weiteren Verlauf der Entwicklung verkürzen sich die Latenzzeiten der Hirnstammpotenziale, wobei die Änderungsrate zwischen der 28. und 34. Woche (GA) am größten ist (Starr et al., 1977). Dies spiegelt die infolge zunehmender Myelinisierung erhöhte Nervenleitgeschwindigkeit wider und somit eine voranschreitende Reifung der Hörbahn (Eggermont & Moore, 2012). Diese Entwicklung konnten Holst et al. (2005) auch für Feten desselben Alters mittels intrauteriner Ableitung akustisch evozierter Magnetfelder (MEG) zeigen.

Zwischen 28 und 30 Wochen (GA) nehmen die neuronalen Verbindungen zum Temporallappen ihre Funktion auf, und es beginnt dort die Entwicklung eines tonotopen Organisationsprinzips, also einer Gliederung nach Frequenz (Graven & Browne, 2008). Jardri et al. (2008) konnten bei 33 Wochen alten Feten mittels funktioneller Magnetre-

---

<sup>3</sup> Die Frage, warum sich bei frühgeborenen Neugeborenen akustisch evozierte kortikale Potenziale früher ableiten lassen als Hirnstammpotenziale, ist noch nicht abschließend geklärt. Eggermont & Moore (2012) nehmen als mögliche Erklärung eine kortikale Erregung durch Bahnen des aufsteigenden retikulären aktivierenden Systems (ARAS) an, welches sich im Hirnstamm befindet. Da dieser Aspekt aber keine Relevanz für die Themenstellung der vorliegenden Arbeit besitzt, wird er nicht weiter ausgeführt.

sonanztomographie (fMRT) eine kortikale Aktivität im Temporallappen während auditiver Stimulation (500, 700 und 900 Hz bei 100 dB SPL) zeigen. Entgegen den Ergebnissen behavioraler Studien (z. B. Joseph, 2000), deren Autoren eine einfache reflexive subkortikale Schleife beim pränatalen Hören postulieren, weisen die fMRT-Ergebnisse von Jardri et al. (2008) auf eine frühe kortikale Aktivität infolge der Darbietung akustischer Stimuli bei Feten hin.

## 2.1.2 Die Besonderheiten der intrauterinen Umgebung für das Hören

Basierend auf dem vorhergehend beschriebenen strukturellen und funktionellen Reifegrad des peripheren und zentralen Hörsystems treten zum Anfang des dritten Trimesters die ersten behavioralen und physiologischen Reaktionen auf akustische Stimuli auf (Moore & Linthicum, 2007). Das fetale Hörvermögen hängt jedoch nicht allein vom Reifegrad des peripheren und zentralen Hörsystems ab. Vielmehr wird es zusätzlich von der Art und Weise der Übertragung der Schallwellen zum Innenohr des Fetus, der Intensität und Frequenz der akustischen Reize sowie der Lautstärke der intrauterinen „Geräuschkulisse“ beeinflusst.

Im Uterus herrscht nie absolute Stille. Den Fetus umgeben Geräusche, die durch die mütterliche Atmung, die Darmtätigkeit, das kardiovaskuläre System und auch ihre Körperbewegungen entstehen (z. B. Armitage, Baldwin & Vince, 1980; Querleu, Renard, Versyp, Paris-Delrue & Crèpin, 1988; Benzaquen, Gagnon, Hunse & Foreman, 1990). Diese basale „Geräuschkulisse“ besitzt einen Schalldruckpegel von ungefähr 28 dB A (Querleu, Renard, Boutteville & Crepin, 1989).

Die mütterliche Abdominalwand, die Muskelschicht des Uterus und die Amnionflüssigkeit fungieren als Tiefpassfilter für extrauterine Laute, was bedeutet, dass höherfrequente Schallenergie gedämpft wird. Querleu, Renard & Crepin (1981) platzierten bei Frauen in der Weheneröffnungsphase nach mechanischer Öffnung der Fruchtblase ein spezielles Unterwassermikrofon (Hydrophon) in der Nähe des fetalen Kopfes, um den Dämpfungsgrad extrauteriner Laute (weißes Rauschen, 110 dB A) zu messen. Sie ermittelten auf diese Weise einen Dämpfungsgrad von 2 dB bei 250 Hz, 14 dB bei 500 Hz, 20 dB bei 1000 Hz und 26 dB bei 2000 Hz. Tiefe Frequenzen werden demnach nur

leicht gedämpft, während sich der Dämpfungsgrad mit ansteigender Frequenz erhöht. Die Beschallung mit der Stimme der Mutter sowie externen weiblichen und männlichen Sprechern ergab, dass Frequenzen zwischen 100 und 1000 Hz im Uterus wahrgenommen werden können. Analog zu der Stimulation durch weißes Rauschen zeigte sich auch hier eine stärkere Dämpfung hoher Frequenzen im Vergleich zu niedrigeren Frequenzen. Aufnahmen mit einem dauerhaft implantierten Hydrophon innerhalb der intakten Fruchtblase bei Schafen lieferten vergleichbare Ergebnisse (z. B. Armitage et al., 1980; Gerhardt, Abrams & Oliver, 1990).

Mit derselben Methode untersuchten Richards, Frentzen, Gerhardt, McCann & Abrams (1992) den intrauterinen Schalldruckpegel von sprachlichen Stimuli (einzelne Wörter), gesprochen von der Mutter sowie einem männlichen Sprecher und einer weiblichen Sprecherin (durchschnittlich 72 dB SPL in 1,2 m Entfernung). Die Stimme der Mutter war im Uterus durchschnittlich 5,2 dB lauter zu hören als außerhalb des Uterus. Die Stimmen der externen Sprecher waren hingegen im Uterus um 2,1 dB (männlicher Sprecher) bzw. 3,2 dB (weibliche Sprecherin) gedämpft. Eine Erklärung dafür liefert die Besonderheit des pränatalen Hörens: Der äußere Gehörgang und das Mittelohr sind beim Fetus mit Fruchtwasser gefüllt. Daher sind das äußere Ohr und das Mittelohr kaum am fetalen Hörvorgang beteiligt, stattdessen erfolgt das Hören hauptsächlich über die Knochenleitung (Gerhardt et al., 1996). Dies bedeutet, dass der Schall nicht wie in der extrauterinen Welt zusätzlich durch die Luft über das äußere Ohr und das Mittelohr ins Innenohr geleitet wird, sondern ausschließlich über den fetalen Schädelknochen zum Innenohr transportiert wird. Der Prozess des fetalen Hörens verläuft demnach ähnlich wie bei einer Schalleitungsschwerhörigkeit. Die mütterliche Stimme ist dadurch besser hörbar als externe Stimmen, da sie nicht nur von außen über die Luft und die Bauchdecke zum Fetus übertragen wird, sondern auch über die mütterlichen Knochen des Brustkorbs, der Wirbelsäule und des Beckenrings zur Gebärmutter weitergeleitet wird (Querleu et al., 1981; Spitzer, 2002). Da die Stimme der Mutter im Gegensatz zu den Stimmen externer Sprecher nicht gedämpft wird, ist sie die wichtigste Schallquelle für den Fetus.

### 2.1.3 Fetale Frequenzwahrnehmung und -diskrimination

Der Fetus ist im letzten Schwangerschaftstrimester in der Lage, akustische Stimuli wahrzunehmen und auf diese zu reagieren. Ab welcher Gestationswoche diese frühen Leistungen des Fetus auftreten, wird in Studien mit unterschiedlichen Methoden untersucht. Meist wird die Reaktion des Fetus auf auditive Stimuli auf eine von zwei verschiedenen Weisen untersucht: *indirekt* durch behaviorale Verfahren oder *direkt* mithilfe von elektrophysiologischen Verfahren, wie zum Beispiel der Magnetenzephalographie (MEG).

Im Rahmen von behavioralen Studien wird per Ultraschall die behaviorale Reaktion (z. B. Blinzelreflex, motorische Aktivität vs. Inaktivität) von Feten auf auditive Stimuli unterschiedlicher Art (z. B. Sinustöne, sprachliche Stimuli, Musik) beobachtet.

Die Möglichkeit der Anwendung von MEG als elektrophysiologisches Verfahren beruht darauf, dass die vom fetalen Gehirn erzeugten Magnetfelder das mütterliche Gewebe passieren und so erfasst werden können (Holst et al., 2005). Diese Erfassung und Aufzeichnung neuromagnetischer Felder des Gehirns mittels MEG ist die einzige non-invasive Methode, die es ermöglicht, die spontane und akustisch evozierte Hirnaktivität des Fetus zu untersuchen (Sheridan, Matuz, Draganova, Eswaran & Preissl, 2010) und die somit eine direkte Beurteilung der pränatalen kortikalen Entwicklung erlaubt.

Alle im Folgenden erläuterten Studien sind überblicksweise in Tabelle 2.1.3 zusammengefasst.

Hepper & Shahidullah (1994) untersuchten die Entwicklung behavioraler Antworten von Feten (GA: 19–35 Wochen) auf Sinuston-Stimuli in einem Frequenzbereich von 100–3000 Hz per Ultraschall. Erste Reaktionen wurden auf einen 500-Hz-Sinuston von einem einzelnen Fetus im Alter von 19 Wochen beobachtet. Mit einem Gestationsalter von 27 Wochen reagierten bereits 96 % der Feten auf Sinustöne von 250 und 500 Hz. Antworten auf 1000-Hz-Töne traten erst nach 29 Wochen und Antworten auf 3000-Hz-Töne traten nach 31 Wochen auf. Mit steigendem Gestationsalter sank die Stimulusintensität, die notwendig war, um Antworten zu elizitieren, um ungefähr 20–30 dB A. Hepper & Shahidullah (1994) schließen aus diesen Ergebnissen, dass erste fetale Reaktionen auf akustische Stimuli frequenzabhängig sind, beginnend bei tieferen Frequenzen. Im Laufe der Gestation vergrößert sich dann der Frequenzbereich, in dem behaviorale Reaktio-



## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

nen eliziert werden können. Bezogen auf die Entwicklung der pränatalen Hörfähigkeit leiten sie aus den Ergebnissen ab, dass der Fetus in einem Bereich um 500 Hz zu hören beginnt, dass sich dieser Bereich im weiteren Verlauf der Gestation erweitert sowie dass das fetale Gehör im Laufe der Entwicklung sensibler wird.

Birnholz & Benacerraf (1983) platzierten auf den mütterlichen Abdomen einen künstlichen Larynx, der eine vibroakustische Stimulation erzeugte. Mittels Ultraschalluntersuchungen konnten sie zeigen, dass Feten im Alter von 24–25 Wochen (GA) erste Blinzelnreaktionen (Auropalpebralreflex) auf die vibroakustische Stimulation ( $f_0 = 87$  Hz, 110 dB SPL) zeigten. Diese traten ab einem Alter von 28 Wochen (GA) konsistent auf.

Kisilevsky & Hains (2011) untersuchten die Veränderung der fetalen Herzschlagrate in der Altersspanne von 29–40 Wochen als Reaktion auf eine Tonaufnahme der mütterlichen Stimme (95 dB A). Mit 32–34 Wochen konnten bei 46 % der Feten erste Reaktionen, das heißt ein Absinken gefolgt von einem Ansteigen der Herzschlagrate in Reaktion auf die mütterliche Stimme, beobachtet werden. Im Alter von > 37 Wochen reagierten bereits 83 % der Feten auf die mütterliche Stimme.

Die Ergebnisse der dargestellten Studien führen zu dem Schluss, dass ab einem Alter von 27–28 Wochen konsistente fetale Reaktionen auf Frequenzen im tieferen Bereich (250 und 500 Hz) beobachtet bzw. gemessen (Holst et al., 2005, Kapitel 2.1.1) werden können. Überträgt man diese Ergebnisse, die unter Verwendung von nicht-sprachlichen akustischen Stimuli gewonnen wurden, auf den sprachlichen Bereich, bedeutet dies, dass Feten schon früh suprasegmentale, prosodische Merkmale der Muttersprache wie Grundfrequenzverläufe (Melodie) und Rhythmus wahrnehmen könnten, im Gegensatz zu segmentalen, akustisch-phonetischen Informationen, welche hauptsächlich in höheren Frequenzbereichen (bis 4000 Hz) liegen. Damit korrespondiert der Effekt der Tiefpassfilterung externer akustischer Stimuli, wie in Kapitel 2.1.2 ausgeführt wurde. Die Ergebnisse der Untersuchung von Kisilevsky & Hains (2011) zeigen andererseits, dass Feten erst ab 32 Wochen auf Tonaufnahmen der mütterlichen Stimme reagieren. Die lange Latenzzeit sowie die lange Dauer der Herzschlagratenänderung deuten die Autoren als ein Zeichen für eine auditive Verarbeitung der sprachlichen Stimuli oberhalb des Hirnstammlevels. Dies wird durch die Ergebnisse von Jardri et al. (2008) gestützt, die bei

## 2 *Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen*

33 Wochen alten Feten, nicht aber bei 28 Wochen alten Feten eine kortikale Aktivität infolge akustischer Stimulation messen konnten.

Um die direkt nach der Geburt auftretenden erstaunlichen sprachrelevanten Leistungen von Neugeborenen (Kapitel 2.2) zu erklären, reicht allerdings eine alleinige Beobachtung der fetalen Reaktion auf unterschiedliche auditive Stimuli nicht aus. Ein weiterer wichtiger Aspekt des pränatalen Hörens ist nämlich die Frage, ob Feten nicht nur fähig sind, auf unterschiedliche Frequenzen zu reagieren, sondern auch schon akustische Stimuli mit verschiedenen Frequenzen unterscheiden zu können. Diese Frage ist essentiell, weil eine solche Fähigkeit eine Voraussetzung für die Wahrnehmung bzw. Unterscheidung prosodischer Sprachmerkmale ist.

Behaviorale Studien, die der Frage nach der auditiven Diskriminationsfähigkeit von Feten nachgehen, verwenden häufig das Paradigma der Habituation. Habituation bedeutet, dass die Reaktion auf einen Reiz bei wiederholter Präsentation desselbigen abnimmt und schließlich ganz aufhört. Um andere Gründe für die Reaktionsabnahme auszuschließen, wie zum Beispiel eine „Ermüdung“ der Rezeptoren, bei der das motorische System nicht länger in der Lage ist, zu reagieren, wird eine Dishabituationsprozedur durchgeführt (Shahidullah & Hepper, 1994). Dafür wird ein neuer Reiz präsentiert. Ist die Abnahme der Reaktion auf den ersten Reiz auf eine Habituation zurückzuführen, wird der neue Reiz eine erneute Reaktion hervorrufen. Shahidullah & Hepper (1994) verwendeten ein Habituationparadigma, um herauszufinden, ob Feten in einem Gestationsalter von 27 ( $n = 24$ ) bzw. 35 ( $n = 24$ ) Wochen in der Lage sind, zwischen zwei Sinustönen (250 Hz und 500 Hz, 110 dB A) zu differenzieren. Als Reaktion wurde eine Bewegung des Rumpfes, Kopfes oder der Arme gewertet. Während alle Feten beider Altersgruppen den ersten Stimulus habituierten, zeigten nur die 35 Wochen alten Feten konsistent eine Dishabituation des zweiten Stimulus. Shahidullah & Hepper (1994) gehen daher davon aus, dass die Fähigkeit zur Frequenzdiskrimination im Alter von 35 Wochen (GA) erworben ist. In einem weiteren Experiment wurde ein ähnliches Setting ebenfalls mit Feten derselben zwei Altersgruppen (27 und 35 Wochen, jeweils  $n = 18$ ) durchgeführt, um die Differenzierungsfähigkeit zweier Silbenpaare ([ba][ba] und [bi][bi]) zu überprüfen. Die

## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

Stimuli wurden von einer fremden Sprecherin aufgezeichnet und dann dem Fetus mit 110 dB A vorgespielt. Die Ergebnisse stützen die Ergebnisse des ersten Experiments.

Lecanuet et al. (1987) untersuchten bei 35–38 Wochen alten Feten die Veränderung der Herzschlagrate als Zeichen einer Aufmerksamkeitsreaktion als Reaktion auf sprachliche Stimuli. Sie präsentierten der Hälfte der Feten das Silbenpaar [ba][bi] und der anderen Hälfte das Silbenpaar [bi][ba] mit einer Intensität von 95 dB SPL, was zu einer Absenkung der Herzschlagrate führte. Bei andauerndem gleichen Stimulus normalisierte sich die Herzfrequenz wieder. Wurde daraufhin der Stimulus gewechselt, sank die Herzschlagrate wieder ab. Daraus lässt sich schließen, dass die Feten zwischen den unterschiedlichen Silbenpaaren unterscheiden konnten.

Lecanuet, Graniere-Deferre, Jacquet & DeCasper (2000) maßen die Absenkung der Herzschlagrate von Feten im Alter von 36–39 Wochen, um herauszufinden, ob Feten zwischen zwei musikalischen Noten (D4/292 Hz und C5/518 Hz) unterscheiden können. 70 % der Feten reagierten auf Darbietung des ersten Tones mit einem Absinken der Herzschlagrate. Nach Normalisierung der Herzschlagrate bei weiter andauernder Präsentation des ersten Reizes wurde der jeweils zweite Reiz geboten. 90 % der Feten reagierten mit einem erneuten Absinken der Herzschlagrate.

Auch die Ergebnisse der Messungen fetaler Gehirnaktivität mittels MEG bestätigen, dass Feten im letzten Trimester der Schwangerschaft bereits unterschiedliche Frequenzen diskriminieren können. Auditive Stimuli werden dabei meist nach dem sogenannten *Oddball-Paradigma* präsentiert, was bedeutet, dass innerhalb einer Sequenz gleichbleibender Stimuli (Standardton) ein abweichender Stimulus (abweichender Ton) zufällig dargeboten wird (Draganova et al., 2005). Daraufhin wird die *Mismatch Negativity* (MMN) ermittelt, welche die Differenzwelle zwischen den evozierten Potenzialen des Standardtones und des abweichenden Tones darstellt und als „physiological correlate of the auditory discriminative ability“ (Sheridan et al., 2010, S. 643) gilt. So präsentierten Huotilainen et al. (2005) 17 Feten in einem Gestationsalter von 35–40 Wochen zwei ver-

## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

schiedene komplexe Töne<sup>4</sup> (500 Hz und 700 Hz, 85–90 dB SPL). Zwölf von den 17 Feten zeigten signifikante MMN-Reaktionen.

Draganova et al. (2005) präsentierten Feten (n = 12) mit derselben Methode im Alter von 33–36 Wochen zwei akustische Stimuli, bestehend aus einem komplexen Standardton von 500 Hz und einem komplexen „abweichenden“ (devianten) Ton von 750 Hz (110 dB). Es wurde eine kortikale Antwort als Reaktion auf eine Frequenzänderung des Stimulus in 60 % der Aufzeichnungen zwischen der 33. und 36. Gestationswoche beobachtet.

Draganova et al. (2007) überprüften bei Feten im Alter von 28–39 Wochen (GA) (n = 18) sowie zwei Wochen nach der Geburt die MMN-Reaktion auf ebenfalls einen komplexen Standardton von 500 Hz und einen komplexen „abweichenden“ Ton von 750 Hz (120 dB SPL). Bei 66 % der ausgewerteten fetalen Daten wurde eine Reaktion auf die Frequenzänderung festgestellt; dies zeigte sich auch bereits bei 5 von 10 der erst 28 Wochen alten Feten. Als 2 Wochen alte Neugeborene zeigten dieselben Kinder in 89 % der Fälle MMN-Reaktionen. Im Unterschied zu den vorher dargestellten Studien wurden hier alle Feten mindestens zweimal mit unterschiedlichem Gestationsalter untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass sich bezüglich der Häufigkeit der Aufzeichnung von MMN-Antworten keine signifikanten Änderungen mit steigendem Gestationsalter ergaben.

Die Ergebnisse der eben dargestellten behavioralen Studien zeigen, dass Feten offenbar ab einem Alter von ungefähr 35 Wochen in der Lage sind, akustische Stimuli zu unterscheiden. Die Ergebnisse der MEG-Studie von Draganova et al. (2007) belegen aber auch schon vereinzelt bei 28 Wochen alten Feten MMN-Reaktionen. Dies könnte einerseits an der Art des Stimulus (Sinuston vs. komplexer Ton), der Darbietung der Stimuli (längeres Interstimulusintervall, längere Stimuluslänge, höherer Schalldruckpegel) oder der Methode (behavioral vs. elektrophysiologisch) liegen (Tabelle 2.1.3).

---

<sup>4</sup> Mit *komplexen Tönen* sind hier sowie auch in den nachfolgend dargestellten Studien von Draganova et al. (2005) und Draganova, Eswaran, Murphy, Lowery & Preissl (2007) immer Töne gemeint, die aus der Grundfrequenz und zwei Harmonischen bestehen.

## *2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen*

Die Fähigkeit zur Frequenzdiskrimination ist eine essenzielle Voraussetzung für die Wahrnehmung der Sprachmelodie und somit eine ebenso essenzielle Voraussetzung für eine erfolgreiche Sprachentwicklung. Die Ergebnisse der aufgeführten MEG-Studien geben zwar Auskunft über die prinzipielle Diskriminationsfähigkeit für unterschiedliche Frequenzen, erlauben aber nur einen indirekten Rückschluss auf frühe sprachentwicklungsrelevante Fähigkeiten, da bei den MEG-Studien keine sprachlichen Stimuli verwendet wurden. Die behavioralen Studien verwenden zwar zum Teil sprachliche Stimuli (Shahidullah & Hepper, 1994; Lecanuet et al., 1987), jedoch lässt die angewandte Methode nur einen indirekten Schluss auf die Fähigkeit zur Frequenzdiskrimination zu, da die behaviorale Reaktion des Fetus nicht sicher ausschließlich auf die externe akustische Stimulation zurückgeführt werden kann, sondern auch auf anderen Faktoren (z. B. Reaktion auf intrauterin erzeugte Geräusche) beruhen könnte. Demnach wären in Zukunft MEG-Studien wünschenswert, die sprachliche Stimuli verwenden und somit einen direkten Rückschluss auf fetale sprachentwicklungsrelevante Fähigkeiten erlauben.

Tabelle 2.1.3 gibt einen Überblick über die eben erläuterten, für die vorliegende Arbeit relevanten behavioralen und elektrophysiologischen Studien zur fetalen Frequenzwahrnehmung und Frequenzdiskrimination.

Tabelle 1: Übersicht der in Kapitel 2.1.3 dargestellten behavioralen und elektrophysiologischen Studien zur fetalen Frequenzwahrnehmung (a) und Frequenzdiskrimination (b)

Quelle	Methode	n	GA	Stimuli	ISI	Länge	SPL	Ergebnis
Hepper & Shahidullah, 1994	behavioral/ Bewegung	450	19+21	Simustöne: 100, 250, 500, 1000 und 3000 Hz	7,5 s	2,5 s	110 dB A	19 Wochen: erste Reaktionen auf 500-Hz-Ton, 27 Wochen: 96 % der Feten reagieren auf 250-Hz- und 500-Hz-Ton, 29 Wochen: Reaktionen auf 100-Hz-Ton, 31 Wochen: Reaktionen auf 3000-Hz-Ton
(a)								
Birnholz & Benacerraf, 1983	behavioral/ Blinzelreflex	236	23+25+27 +29+31 +33+35	vibroakustische Stimulation ( $f_0 = 87$ Hz)	1 s	500 ms	110 dB	ab 24–25 Wochen: erste Reaktionen, ab 28 Wochen: konsistente Reaktionen
Kisilevsky & Hains, 2011	behavioral/ Herzschlagrate	143	29–31+32–34 +35–37+>37	Tonaufnahmen der mütterlichen Stimme	k. A.	2 min	95 dB A	ab 32–34 Wochen: Reaktionen bei 46 % der Feten, > 37 Wochen: Reaktionen bei 83 % der Feten
Holst et al., 2005	MEG/MMN	18	27–Geburt	KST: 500 Hz; KAT: 700 bzw. 1000 Hz	2 s	500 ms	120 dB	ab 27 Wochen akustisch evolierte Magnetfelder ableitbar
Shahidullah & Hepper, 1994	behavioral/ Bewegung	48	27+35	Simustöne: 250 und 500 Hz	5 s	2 s	110 dB A	nur die 35 Wochen alte Feten können zwischen den Sinustönen unterscheiden
Shahidullah & Hepper, 1994	behavioral/ Bewegung	36	27+35	Silbenpaare: [ba][ba] und [bi][bi]	5,5 s	k. A.	110 dB A	nur die 35 Wochen alte Feten können zwischen den Silben unterscheiden
Lecanuet et al., 1987	behavioral/ Herzschlagrate	39	35–38	Silbenpaare: [ba][bi] und [bi][ba]	3 s	1000 ms	95 dB	ab 35 Wochen können Feten zwischen den Stimuli unterscheiden
(b)								
Lecanuet et al., 2000	behavioral/ Herzschlagrate	116	36–39	musikalische Noten: D4 (292 Hz) und C5 (518 Hz)	k. A.	1150 ms	93 dB	90 % der Feten, die den ersten Stimulus habituierten, dishabituierten auch den zweiten
Huotilainen et al., 2005	MEG/MMN	17	35–40	KST: 500, KAT: 750 Hz	800 ms	100 ms	85–90 dB	12 von den 17 Feten zeigten signifikante MMN-Reaktionen
Draganova et al., 2005	MEG/MMN	12	33–36	KST: 500 Hz, KAT: 750 Hz	500–1100 ms	100 ms	110 dB	MMN-Antworten bei 60 % der Aufzeichnungen
Draganova et al., 2007	MEG/MMN	18	28–39	KST: 500 Hz, KAT: 750 Hz	800±100 ms	100 ms	120 dB	MMN-Antworten bei 66 % der Aufzeichnungen, auch bei 28 Wochen alten Feten

Zeichenerklärung: GA = Gestationsalter zum Zeitpunkt der Untersuchung, ISI = Interstimulusintervall, KST = komplexer Standardton, KAT = komplexer „abweichender“ Ton, k. A. = keine Angabe

## 2.2 Die Bedeutung der pränatalen und frühen postnatalen auditiven Perzeption von Melodie und Rhythmus für die Sprachentwicklung

In diesem Kapitel wird dargestellt, wie sich die frühe pränatale Reifung des Gehörs auf die Perzeptionsleistungen Neugeborener der ersten Lebenswoche auswirkt und welche Relevanz diese in Bezug auf die Sprachentwicklung besitzen.

Die erste Wahrnehmung der Muttersprache während der Schwangerschaft basiert auf prosodischen (rhythmisch-melodischen) Sprachmerkmalen. Woodward et al. (1992, zitiert nach Woodward & Guidozzi, 1992) untersuchten mithilfe eines Hydrophons (Kapitel 2.1.2), welche sprachlichen Eigenschaften der Umgebung bis zum Fetus durchdringen. Sie spielten den Feten über einen Lautsprecher Gesangsaufnahmen von der Mutter und von fremden weiblichen und männlichen Sängern in einer normalen Sprechlautstärke von 60 dB (SPL) vor. Anschließend beurteilten sie die intrauterin per Hydrophon aufgezeichneten Aufnahmen auditiv: Während Konsonanten, deren Frequenzcharakteristiken in einem höheren Frequenzbereich als Vokale liegen, nicht wahrgenommen bzw. nicht voneinander unterschieden werden konnten, waren Melodie und Rhythmus gut erkennbar. Die biologische Tiefpassfilterung bewirkte also, dass die segmentalen Eigenschaften der Sprache bei der Übertragung verloren gingen, während die supra-segmentalen bzw. prosodischen Eigenschaften erhalten blieben (Kapitel 2.1.2).

Zu den prosodischen Eigenschaften der Sprache gehören nach Kohler (1995) „Tonhöhenverlauf, Lautstärke, Betonungsabstufung, Tempo, Stimmlage, allgemeine Stimmqualität“ (S. 14). Der Begriff der *Prosodie* schließt die akustischen Parameter Grundfrequenz ( $f_0$ ) – damit einhergehend die Melodie als zeitlicher Verlauf der Grundfrequenz –, die Intensität, die zeitliche Dauer und die spektralen Merkmale ein (z. B. Ladd, 2008). Die psycholinguistischen Korrelate dazu sind die Tonhöhe, die Lautstärke, die Länge und die Klangfarbe<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> In vielen Quellen findet die Unterscheidung zwischen akustischen und psycholinguistischen Parametern keine Beachtung. So werden zum Beispiel oft die Begriffe *Grundfrequenz* (*fundamental frequency*) und *Tonhöhe* (*pitch*) synonym verwendet. Aus Gründen der Einheitlichkeit und da im Rahmen der vorliegenden Studie nur mit akustischen Messgrößen gearbeitet wurde, werden hier ausschließlich die akustischen Parameter verwendet.

## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

Die Ergebnisse behavioraler und elektrophysiologischer Forschung belegen, dass Säuglinge schon innerhalb der ersten Lebensstage erstaunliche sprachrelevante perzeptive Fähigkeiten besitzen.

Um zu überprüfen, ob Neugeborene in der Lage sind, verschiedene akustische Stimuli zu diskriminieren, wird – ebenso wie bei der Untersuchung der pränatalen auditiven Wahrnehmungsfähigkeit von Feten (Kapitel 2.1.3) – häufig ein Habituationssparadigma eingesetzt. Als Verhaltensreaktion wird hierbei die Saugrate mithilfe eines speziellen Schnullers gemessen. Abhängig von der individuellen Basissaugrate können so die Reaktion auf einen neuen Reiz (Zunahme der Saugrate) sowie die Habituation eines bestehenden Reizes (Abnahme der Saugrate) beobachtet werden (Szagun, 2010).

Mithilfe dieser Methode kann zum Beispiel untersucht werden, ob Neugeborene verschiedene Sprachen voneinander unterscheiden können. So konnten Mehler et al. (1988) zeigen, dass französische 4 Tage alte Neugeborene ( $n = 40$ ) in der Lage sind, die französischen von den russischen Äußerungen einer bilingualen Sprecherin voneinander zu unterscheiden. Neben diesem Ergebnis maßen die Autoren eine höhere Saugrate, wenn die französische Sprachprobe vorgespielt wurde. Sie führen dies auf ein höheres Arousal-Niveau beim Hören der Muttersprache zurück und schließen daraus, dass die Neugeborenen ihre Muttersprache gegenüber der fremden Sprache präferieren. Dieselbe Untersuchung führten Mehler et al. (1988) mit Neugeborenen ( $n = 24$ ) durch, die zwar auch in Frankreich geboren waren, bei denen zu Hause hauptsächlich jedoch *nicht* Französisch gesprochen wurde. Im Gegensatz zu den Säuglingen der ersten Untersuchung konnten diese Säuglinge nicht zwischen Russisch und Französisch unterscheiden. Darüber hinaus zeigten sie auch keine Präferenz für die französische Sprachprobe. Mehler et al. (1988) schließen daraus, dass Neugeborene bereits eine gewisse Vertrautheit mit einer Sprache besitzen müssen, um sie von einer anderen Sprache unterscheiden zu können. Zur Überprüfung dieser Interpretation wurde das Experiment mit weiteren französisch-muttersprachlichen Säuglingen ( $n = 36$ ) wiederholt, wobei hier nun aber italienische und US-amerikanisch-englische Sprachproben einer bilingualen Sprecherin dargeboten wurden. Die Säuglinge waren nicht in der Lage, die Sprachen zu diskriminieren.



## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

Um zu überprüfen, ob allein die prosodischen Informationen der Sprachproben ausreichen, um die Sprachen unterscheiden zu können, wurde dasselbe Experiment mit 4 Tage alten französischen Neugeborenen ( $n = 32$ ) noch einmal mit den ursprünglichen französischen und russischen Sprachproben durchgeführt, die nun aber einer Tiefpassfilterung bei 400 Hz unterzogen wurden. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Anstieg der Saugrate zum Zeitpunkt des Wechsels des Reizes von der unbekanntem Sprache (Russisch) zur Muttersprache (Französisch). Die Autoren kommen daher zu dem Schluss, dass prosodische Informationen allein ausreichen, damit Neugeborene ihre Muttersprache von einer fremden Sprache unterscheiden können.

Welche prosodischen Sprachmerkmale sind es nun genau, die die Neugeborenen dazu befähigen, verschiedene Sprachen voneinander zu unterscheiden? Nazzi, Bertoncini & Mehler (1998) untersuchten, ob die Rhythmusklassen<sup>6</sup> der Sprachen einen Einfluss auf die Fähigkeit von 1 Woche alten französischen Neugeborenen ( $n = 40$ ) haben, verschiedene Sprachen zu differenzieren. Es wurden drei verschiedene Experimente durchgeführt, in denen anhand eines Habituationssparadigmas die Saugrate der Neugeborenen gemessen wurde: Das erste Experiment beinhaltete britisch-englische (akzentzählend) und japanische (morazählend) Sprachproben. Die Ergebnisse zeigen, dass die Neugeborenen in der Lage waren, die Sprachen voneinander zu unterscheiden. Im zweiten Experiment wurden ihnen englische und niederländische Sprachproben (beide akzentzähl-

---

<sup>6</sup> Bei der Einteilung von Sprachen in Rhythmusklassen wird traditionell zwischen akzentzählenden, silbenzählenden und morazählenden Sprachen unterschieden (z. B. Abercrombie, 1967; Ladefoged, 1975). Bei den akzentzählenden (stress-timed) Sprachen werden die Intervalle zwischen den Akzenten bzw. rhythmischen Füßen ungefähr gleich lang wahrgenommen (Grabe & Low, 2002). Zu diesen Sprachen zählen die meisten germanischen Sprachen sowie Russisch, Arabisch und Thai (Ramus, 2002). Bei den silbenzählenden Sprachen sind aufeinanderfolgende Silben annähernd gleich lang. Zu dieser Sprachgruppe gehören die meisten romanischen Sprachen oder zum Beispiel auch Türkisch. Ein typisches Beispiel für eine morazählende Sprache ist Japanisch. Morae bezeichnen eine Untereinheit von Silben, bestehend aus einem Konsonanten und einem kurzen Vokal. Diese Morae sind annähernd gleich lang, was bedeutet, dass morazählende Sprachen den silbenzählenden Sprachen stärker ähneln als den akzentzählenden Sprachen (Grabe & Low, 2002). – Die Einteilung der Sprachen nach der zeitlichen Organisation auf Akzent-, Silben- oder Moraebene konnte bisher empirisch nicht nachgewiesen werden. Vielmehr deuten die bisherigen Forschungsergebnisse eher auf universelle Eigenschaften der zeitlichen Organisation hin (z. B. Dauer, 1983). Grabe & Low (2002) ist es jedoch durch Längenmessungen gelungen, Belege für eine Klassifikation in Rhythmusklassen zu liefern. Grundlage dafür bildete jedoch nicht die Untersuchung von Silbenlängen und Intervallen zwischen Akzenten, sondern die Berechnung der zeitlichen Variabilität von Vokallänge und Intervokalabstand. Die zeitliche Variabilität ist bei akzentzählenden Sprachen größer als bei silbenzählenden Sprachen.

lend) dargeboten: Hier konnten die Neugeborenen die Sprachen allerdings nicht voneinander unterscheiden. In einem dritten Experiment wurden einzelne Sprachen miteinander kombiniert. Dabei wurde der einen Hälfte der Säuglinge zwei Sprachpaare der gleichen Rhythmusklasse präsentiert (Englisch + Niederländisch vs. Spanisch + Italienisch). Die andere Gruppe hörte nur Sprachpaare bestehend aus Sprachen, die nicht der gleichen Rhythmusklasse angehören (Englisch + Spanisch vs. Niederländisch + Italienisch; Englisch + Italienisch vs. Niederländisch + Spanisch). Interessanterweise reagierten nur diejenigen Säuglinge, denen Paare mit unterschiedlichen Rhythmusklassen vorgespielt wurden, mit einem Anstieg der Saugrate beim Wechsel des Stimulus. Wie schon Mehler et al. (1988) konnten Nazzi et al. (1998) also zeigen, dass Neugeborene in der Lage sind, nur auf Basis von prosodischer, insbesondere rhythmischer Informationen Sprachen voneinander zu unterscheiden. Im Gegensatz zu Mehler konnten Nazzi et al. (1998) jedoch zeigen, dass die Neugeborenen auch zwei nichtmuttersprachliche Stimuli voneinander unterscheiden können – sofern diese unterschiedlichen Rhythmusklassen angehören.

Byers-Heinlein, Burns & Werker (2010) untersuchten die Fähigkeit zur Diskrimination verschiedener Sprachen bzw. die Präferenz für die Muttersprache erstmals bei „bilingualen“ Neugeborenen. Bei diesen Neugeborenen hatten die Mütter während der Schwangerschaft zwei Sprachen gesprochen, in diesem Fall Englisch (akzentzählend) und die philippinische Sprache Tagalog (silbenzählend). In einem ersten Experiment wurden 15 monolingual-englischen Neugeborenen und 15 bilingual-tagalog/englischen Neugeborenen tiefpassgefilterte sprachliche Stimuli auf Englisch bzw. Tagalog mit gleicher Tonhöhe, Länge und Silbenanzahl präsentiert. Ergebnisse der Saugratemessungen zeigten, dass die monolingualen Säuglinge die englischen Stimuli präferierten. Die bilingualen Neugeborenen zeigten dahingehend keine signifikante Präferenz für eine der beiden Sprachen. Byers-Heinlein et al. (2010) werten dies als gleiches „Interesse“ der bilingualen Säuglinge an beiden Sprachen: „Tagalog bilinguals were similarly interested in their two native languages. Bilinguals’ attention to both languages is consistent with their having learned about two languages prenatally“ (Byers-Heinlein et al., 2010, S. 346). Die Perzeptionsleistungen bilingualer Neugeborener scheinen also schon spezifisch durch die intrauterine Spracherfahrung geprägt zu sein. Darüber

## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

hinaus konnte mithilfe eines Habituationssparadigmas bei weiteren 50 Neugeborenen anhand der Saugrate beobachtet werden, dass sowohl englisch-monolinguale als auch tagalog/englisch-bilinguale Neugeborene zwischen den beiden Sprachen unterscheiden konnten (Byers-Heinlein et al., 2010).

Ramus (2002) untersuchte mithilfe eines Habituationssparadigmas die Fähigkeit von 2 bis 5 Tage alten französischen Neugeborenen, die zu unterschiedlichen Rhythmusklassen gehörenden Sprachen Japanisch und Niederländisch anhand von rhythmischen Spracheigenschaften zu unterscheiden. Dabei stand bei dieser Untersuchung auch die Frage im Vordergrund, ob der Rhythmus allein ausreicht, damit die Neugeborenen die Sprachen voneinander unterscheiden können. Durch die Verwendung einer akustischen Resynthese-Technik konnten die Autoren nicht-rhythmische Eigenschaften von den sprachlichen Stimuli verändern, sodass sie daraufhin identische Phoneme und eine künstliche Intonationskontur enthielten. Trotz der resynthetisierten Stimuli konnten die Neugeborenen beide Sprachen voneinander unterscheiden. Die Diskriminationsleistung der Neugeborenen konnte somit ausschließlich auf den Rhythmus zurückgeführt werden. Der Effekt war jedoch schwächer als bei einem weiteren Experiment, in dem Sprachproben mit natürlicher Intonationskontur verwendet wurden. Die Autoren erklären dies damit, dass die Loslösung des Rhythmus von der Intonation, die normalerweise in einer engen Beziehung zueinander stehen, damit einhergeht, dass die *Prominenz* des Rhythmus abgeschwächt wird (Ramus, 2002). So geht eine phrasen-finale Dehnung zum Beispiel oft mit einem Abfall der Grundfrequenz einher (Nazzi & Ramus, 2003). Ramus (2002) schließt aus diesem Ergebnis, dass Neugeborene verschiedene Sprachen besser voneinander unterscheiden können, wenn sie Intonation und Rhythmus zusammen hören anstatt beide Parameter getrennt (Ramus, 2002).

Christophe, Dupoux, Bertoncini & Mehler (1994) konnten mithilfe des Saug-Habituationssparadigmas zeigen, dass 3 Tage alte französische Neugeborene (n = 40) sogar in der Lage sind, Phrasengrenzen wahrzunehmen (z. B. „mati“ in „climatisé“ vs. in „cinema titanesque“). Dies konnte auch durch die Untersuchung des Saugverhaltens von 2 bis 4 Tage alten französischen Säuglingen (n = 48) in Reaktion auf spanische Stimuli bestätigt werden (Christophe, Mehler & Sebastián-Gallés, 2001). Diese frü-

## 2 *Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen*

he Fähigkeit ist essenziell für den Erwerb der Muttersprache, da sie die lexikalische Segmentierung des sprachlichen Lautstroms erleichtert (Christophe et al., 2001).

Nazzi, Floccia & Bertoncini (1998) untersuchten die Sensibilität von französischen, 1 Woche alten Neugeborenen (n = 40) hinsichtlich der Melodiekontur von japanischen Wörtern, bestehend aus zwei Morae, welche sich ausschließlich in der Melodiekontur (ansteigend vs. fallend) unterschieden. Aus der Messung der Saugrate konnten die Autoren ableiten, dass die Neugeborenen in der Lage sind, die verschiedenen Stimuli anhand der Melodiekontur zu diskriminieren. Darüber hinaus gehen sie davon aus, dass die Sensibilität für die Melodie kein Resultat der pränatalen oder postnatalen Erfahrung mit der Muttersprache ist, sondern es sich vielmehr um eine angeborene Fähigkeit bzw. Sensibilität der Neugeborenen handelt, da im Rahmen dieser Studie ausschließlich französische Kinder untersucht wurden; sie hatten also vorher noch keinen Kontakt zur japanischen Sprache gehabt (Nazzi et al., 1998).

Sowohl Melodie als auch Rhythmus sind also essenziell für die Fähigkeit der Neugeborenen, verschiedene Sprachen zu diskriminieren.

Moon, Cooper & Fifer (1993) untersuchten die von Mehler et al. (1988) aufgestellte These, dass Neugeborene ihre Muttersprache präferieren, genauer. Die Messung der Saugrate bei Säuglingen kann dahingehend modifiziert werden, dass Säuglinge lernen, mithilfe ihres Saugverhaltens das Angebot von bestimmten akustischen Stimuli zu kontrollieren. Moon et al. (1993) präsentierten 2 Tage alten monolingual-englischen bzw. -spanischen Neugeborenen (n = 16) englische und spanische Sprachproben weiblicher Sprecherinnen. Nach drei aufeinanderfolgenden Saugsequenzen („bursts“) erfolgte der verstärkende Stimulus (Sprachprobe). Dieser Stimulus hielt solange an, wie der Saug-Burst dauerte, und endete eine Sekunde nach dessen Ende. Unmittelbar darauf erfolgte ein Signal-Stimulus (synthetische Vokale [a] und [i], 500 Hz). Begann der Säugling wieder zu saugen, bekam er wieder den Sprachstimulus (entweder Spanisch oder Englisch, je nach Vokal). Die spanische bzw. englische Sprachprobe fungierte als Verstärker – einerseits beim Saugen, während die Sprachprobe präsentiert wurde, sowie für den Beginn des Saugens, während des Signal-Stimulus. Somit konnten zwei Reaktionen der Neugeborenen gemessen werden: die Saugdauer und die Häufigkeit der Reaktion auf den Signal-Stimulus. Die Ergebnisse zeigen, dass die Neugeborenen signifikant länger

## 2 *Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen*

saugten, wenn sie den muttersprachlichen Stimulus hörten. Trotzdem unterschieden sie sich nicht in ihrer Reaktion auf den Signal-Stimulus, der entweder die Muttersprache oder die fremde Sprache anzeigte. Die Autoren schließen aus den Ergebnissen eine Präferenz der Säuglinge für die Muttersprache als Folge der pränatalen Spracherfahrung.

Mit derselben Methode haben auch schon DeCasper & Fifer (1980) 13 Jahre vorher herausgefunden, dass Neugeborene ( $n = 10$ ) die Stimme der Mutter von der Stimme einer fremden Sprecherin unterscheiden können und erstere gegenüber letzterer präferieren. Dass diese Präferenz auf die pränatale Erfahrung zurückzuführen ist, zeigt sich zum einen daran, dass Neugeborene zwar männliche Stimmen voneinander unterscheiden können, jedoch keine Präferenz für die Stimme des Vaters zeigen (DeCasper & Prescott, 1984). Die Fähigkeit zur Unterscheidung der Stimme der Mutter von der einer fremden Sprecherin konnten Kisilevsky et al. (2003) auch schon bei Feten ( $n = 60$ ) gegen Ende des letzten Schwangerschaftstrimesters beobachten. So erhöhte sich die Herzschlagrate bei den Feten in Reaktion auf die mütterliche Stimme und sank infolge der Präsentation der Stimme einer fremden Sprecherin.

Es konnte dagegen kein Zusammenhang zwischen der Präferenz der mütterlichen Stimme und dem postnatalen Alter bzw. der nach der Geburt erfolgten oder nicht erfolgten Unterbringung der Neugeborenen im Zimmer der Mutter gefunden werden (Fifer, 1980, zitiert nach DeCasper & Spence, 1986).

Ein weiterer interessanter Befund im Hinblick auf die frühen sprachspezifischen Perzeptionsleistungen von Neugeborenen ist das Phänomen, dass Neugeborene im Experiment von Mehler et al. (1988) die französischen und russischen Sprachproben nur voneinander unterscheiden konnten sowie die französische Sprachprobe nur präferierten, wenn sie vorwärts und nicht rückwärts abgespielt wurden. Diese frühe Sensibilität für sprachspezifische Melodie und sprachspezifischen Rhythmus konnte auch durch bildgebende Verfahren gezeigt werden: Ähnlich wie beim Erwachsenen zeigt sich bei Neugeborenen im Temporallappen der linken Gehirnhälfte eine stärkere Aktivität, wenn ihnen sprachliche Stimuli vorwärts vorgespielt werden, als wenn sie ihnen rückwärts vorgespielt werden oder wenn Stille herrscht (Peña et al., 2003). Voulo-umanos & Werker (2007) postulieren, dass Neugeborene sprachliche Stimuli gegenüber nichtsprachlichen präferieren. Sie testeten 1 bis 4 Tage alte Neugeborene ( $n = 24$ ). Die

## 2 *Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen*

sprachlichen Stimuli bestanden aus einem einsilbigen Pseudowort mit variierender Intonationskontur, maximaler Grundfrequenz und Dauer. Die nichtsprachlichen Stimuli bestanden aus verschiedenen Sinustönen, wobei Intonationskontur, Grundfrequenz und Dauer an die sprachlichen Stimuli angepasst wurden. Die Neugeborenen zeigten bei Präsentation der sprachlichen Stimuli eine höhere Saugrate als beim Hören der nichtsprachlichen Stimuli. Vouloumanos & Werker (2007) bezeichnen diese Präferenz von Seiten der Neugeborenen als „behavioural bias for listening to speech“ (Vouloumanos & Werker, 2007, S. 162).

Moon, Lagercrantz & Kuhl (2013) liefern entgegen aller früheren Befunde erste Hinweise darauf, dass auch die Perzeption von Vokalen bei wenige Tage alten Neugeborenen durch die intrauterine Erfahrung mit der Muttersprache beeinflusst wird. Durch Messung der Saugrate bei jeweils 40 schwedischen und US-amerikanischen Neugeborenen konnten die Autoren feststellen, dass die Saugrate höher war, wenn die Neugeborenen einen nicht-muttersprachlichen Vokal hörten als wenn sie einen muttersprachlichen Vokal hörten.

Da im Rahmen von behavioralen Studien aus dem Zusammenhang von Stimulus und Reaktion des Neugeborenen immer nur indirekte Rückschlüsse gezogen werden können (Kapitel 2.1.3) und behaviorale Studien zudem eine Probanden-Ausschlussrate (Drop out) von über 50 % aufweisen (Benavides-Varela, Gómez & Mehler, 2011), werden die frühen sprachrelevanten perzeptiven Fähigkeiten von Neugeborenen seit ungefähr einer Dekade vermehrt mithilfe von elektrophysiologischen Untersuchungen erforscht. Das hat auch den Vorteil, dass die Neugeborenen zum Beispiel für die Ableitung von Hirnströmen infolge akustischer Stimulation nicht wach sein müssen (z. B. Cheour et al., 2002), was jedoch eine Voraussetzung für die Durchführung der meisten behavioralen Studien (z. B. Messung der Saugrate) ist.

Sambeth et al. (2009) untersuchten mittels MEG und EEG die Fähigkeit von 1 bis 8 Tage alten Neugeborenen ( $n = 12$ ), Tonänderungen wahrnehmen zu können. In einem Oddball-Paradigma wurden den Säuglingen 1 komplexer Standardton und 24 davon abweichende Töne präsentiert. Der Standardton hatte eine Grundfrequenz von 494 Hz sowie zwei Harmonische und eine Länge von 100 ms. Die davon abweichenden Stimuli

differierten vom Standardstimulus in jeweils genau einer akustischen Eigenschaft, entweder in der Frequenz, der Intensität, der Dauer oder im Rhythmus (kurze Unterbrechung des Stimulus). Für jeden abweichenden Stimulus gab es 6 Abstufungen bezüglich der Änderungsgröße.<sup>7</sup> Die Ergebnisse liefern erste Hinweise darauf, dass die Gehirne der Neugeborenen Veränderungen des akustischen Stimulus auf allen getesteten Ebenen verarbeiten können. Die Antworten auf die Abstufungen wurden jedoch am Ende gemittelt, da nicht genug Daten für die jeweiligen Stufen ermittelt werden konnten. Das limitierte die Aussagekraft des Experiments bezüglich der getesteten Parameter. Die gemittelten Ergebnisse zeigten, dass Neugeborene eine Frequenzänderung von 6 Halbtönen, eine Intensitätsänderung von 18 dB, eine Änderung der Dauer um 72 ms und eine Unterbrechung von 36 ms wahrnehmen können. Nachfolgende Studien mit mehr Daten für die jeweiligen Abstufungen könnten zukünftig zeigen, dass Neugeborene bezüglich aller Parameter eine noch feinere Änderung wahrnehmen können. Bei den Parametern Intensität und Unterbrechung wurden die Reaktionen auf eine Änderung des Stimulus zudem nur mittels MEG und nicht mittels EEG gemessen. Außerdem zeigten nicht alle Neugeborenen konsistente Ergebnisse (Sambeth et al., 2009). Weiterführende Studien sind deshalb notwendig, um die Ergebnisse zu verifizieren und präzisere Angaben dazu machen zu können, wie sensibel das Gehirn eines Neugeborenen auf die Änderungen akustischer Stimuli reagiert.

Kujala et al. (2004) untersuchten per MEG die Reaktionen des Gehirns auf sprachliche Stimuli bei Neugeborenen (n = 10) innerhalb des ersten Lebensmonats (1 bis 25 Tage, Mittelwert: 6 Tage). Als Standardstimulus diente der Vokal [a:], als abweichender Stimulus der Vokal [i:] sowie ebenfalls der Vokal [a:], jedoch mit steigender Grundfrequenz (Intonationsänderung). Beide Stimuli wurden von derselben Sprecherin gesprochen und stimmten im Grundfrequenzverlauf überein (leicht fallend). Für die Erzeugung des dritten Stimulus wurde die Melodiekontur des Standardstimulus so manipuliert, dass sie eine steigende Grundfrequenz aufwies. Die Länge aller Stimuli betrug 300 ms. Das Inter-

---

<sup>7</sup> Bei der Frequenz betragen die Abstufungen jeweils einen Halbton, bei der Intensität 3 dB und bei der Länge 12 ms. Die Unterbrechung begann mit einer Länge von 6 ms und verlängerte sich in 6-ms-Schritten. Die Hälfte der abweichenden Stimuli war also jeweils lauter, leiser, höher, tiefer oder kürzer bzw. wies eine längere Unterbrechung auf als der Standardton.

## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

stimulusintervall betrug 350 bis 450 Hz. Alle Neugeborenen lieferten MMN-Reaktionen auf die Änderung des Vokals, jedoch nur 6 der 10 Neugeborene reagierten auf die Intonationsänderung. Obwohl die Neugeborenen im Mittel 6 Tage alt waren, lassen die Ergebnisse keinen exakten Schluss über die Fähigkeit zur Diskrimination sprachlicher Stimuli in der ersten Lebenswoche zu, da die Autoren keine differenzierten Angaben über die Ergebnisse einzelner Säuglinge unter Berücksichtigung ihres Alters gemacht haben. Trotzdem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Neugeborene dazu fähig sind, Vokale voneinander zu unterscheiden. Dass nicht alle Neugeborenen mit MMN-Antworten auf den Wechsel von Standardstimulus zum Stimulus mit veränderter Intonationskontur reagierten, erklären die Autoren damit, dass dieser Wechsel – im Gegensatz zum abrupten Wechsel des Vokals – graduell abläuft, was eine anspruchsvollere Aufgabe für das Hörsystem darstellt (Kujala et al., 2004).

Eine Möglichkeit der Untersuchung rhythmusspezifischer akustisch evozierter Magnetfelder mittels MEG ist die Überprüfung der Fähigkeit des *rapid temporal processing* (RTP). Während der Perzeption von Lautsprache ist das menschliche Gehirn einem bezüglich spektraler und zeitlicher Eigenschaften komplexen Lautstrom ausgesetzt, der sich kontinuierlich ändert (Zhang et al., 2011). Die Fähigkeit, innerhalb von Millisekunden schnell aufeinander folgende akustische Stimuli verarbeiten zu können, wird als eine wesentliche Vorläuferfähigkeit für die Sprachperzeption angesehen (Sheridan et al., 2010). So postulieren Benasich & Tallal (2002), dass die Fähigkeit einer schnellen zeitlichen Verarbeitung akustischer Stimuli (RTP) im ersten Lebensjahr (6–9 Monate) ein Prädiktor für sprachliche Leistungen im dritten Lebensjahr ist. Inwieweit sogar schon Feten und Neugeborene zum RTP in der Lage sind, haben Sheridan et al. (2010) in einer MEG-Längsschnittstudie untersucht. Feten (n = 20) im Alter von 29 bis 38 Wochen (GA) wurde ein Tonpaar von jeweils 500 Hz und 70 ms Länge mit einem Intrapaarintervall von 70 bzw. 300 ms dargeboten. Um eine Habituation und damit verbunden eine Abnahme der Antworten zu vermeiden, wurde in 15 % der Fälle ein abweichendes Tonpaar, bestehend aus einem 500-Hz-Ton, gefolgt von einem 750-Hz-Ton, geboten. Von diesen Feten wurden 15 als Neugeborene in einem Alter von 2 bis 38 Tagen erneut untersucht. Während die Feten bei der kurzen Intrapaarintervallkondition (70 ms) nur Gehirnantworten mit einem Peak gaben, zeigten bei der langen Kondition (300 ms) 20 % der Feten Gehirn-



## 2 *Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen*

antworten mit zwei Peaks, das bedeutet, sie nahmen beide Töne als unterschiedliche Töne wahr. Bei den neugeborenen Kindern zeigte sich überdies ein Alterseffekt: Ältere Neugeborene antworteten häufiger mit zwei Peaks als jüngere. Ab einem Alter von 22 Tagen zeigten alle bis auf ein Neugeborenes in der langen Kondition Antworten mit 2 Peaks. Sheridan et al. (2010) schließen daraus, dass – bezogen auf die lange Kondition – Neugeborene im Alter von 3 Wochen die Fähigkeit zum RTP besitzen und führen dies auf die Erfahrung mit Sprache und die kortikale Reifung in den ersten Lebenswochen zurück. Die Feten hingegen reagierten zwar auf das gebotene Stimuluspaar, nahmen beide Töne aber als einen langen Ton wahr – demnach war das Interstimulusintervall mit 300 ms zu kurz. Eine Besonderheit war, dass 2 Feten im Alter von 32 Wochen Antworten mit zwei Peaks gaben. Die Autoren führen dies auf einen möglichen Einfluss des fetalen Status (schlafend oder wach) zurück, der in der Studie nicht berücksichtigt wurde.

Carral et al. (2005) konnten durch Ableitung ereigniskorrelierter Hirnpotenziale (EKP) mittels EEG zeigen, dass das Hörsystem von schlafenden Neugeborenen im Alter von durchschnittlich 2 Tagen in der Lage ist, akustische Regularitäten, in diesem Fall die Richtung einer Frequenzänderung, abzubilden und auf Regularitätsverletzungen zu reagieren. Den Neugeborenen wurden Sinuston-Standardpaare mit ansteigender Frequenz vorgespielt (Stimuluslänge jeweils 40 ms, Interstimulusintervall 50 ms) sowie davon abweichende Paare mit fallender Frequenz<sup>8</sup>. Die ereigniskorrelierten Potenziale, korrespondierend zu den abweichenden Tonpaaren, unterschieden sich hinsichtlich der Amplitude von denen der Standardpaare. Laut Carral et al. (2005) könnte diese Fähigkeit des zentralen Hörsystems verantwortlich für die enormen perzeptiven prosodierelevanten Leistungen Neugeborener sein, wie zum Beispiel die Unterscheidung der mütterlichen Stimme von anderen Stimmen.

Zusammengefasst liefern die hier aufgeführten Befunde folgendes Bild: Die frühe Sensibilität für prosodische Sprachmerkmale, verbunden mit der intrauterinen Sprachwahrnehmung, führt dazu, dass 1 Woche alte Neugeborene

---

<sup>8</sup> Standardpaare: 1370 und 1661 Hz, 1130 und 1370 Hz, 932 und 1130 Hz, 769 und 932 Hz, 635 und 769 Hz sowie 523 und 635 Hz; bei den abweichenden Paaren wurde die Reihenfolge jeweils vertauscht.

## 2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen

- die Stimme der Mutter gegenüber fremden Stimmen präferieren,
- die Muttersprache gegenüber fremden Sprachen präferieren,
- zwei Sprachen voneinander unterscheiden können, sofern diese verschiedenen Rhythmusklassen angehören,
- Phrasengrenzen wahrnehmen können,
- vorwärts vorgespielte Sprachproben gegenüber rückwärts vorgespielten präferieren,
- sprachliche gegenüber nichtsprachlichen Stimuli präferieren,
- bis zu einem gewissen Grad Änderungen hinsichtlich der Grundfrequenz bzw. der Melodie, Intensität und zeitlichen Eigenschaften wahrnehmen können.

Die Ergebnisse zeigen, dass Neugeborene sich an Spracheigenschaften erinnern, die sie pränatal gehört haben. Kisilevsky et al. (2003, S. 220) bezeichnen diese Annahme als „in-utero-speech-experience hypothesis“. „Our results can be seen as supporting those theoretical models of speech perception which assume that the foundation for speech perception and language acquisition is laid before birth“ (Kisilevsky et al., 2003, S. 223).

Die frühen prosodierelevanten Perzeptionsleistungen von Neugeborenen sind also einerseits bereits durch die Muttersprache geprägt, beruhen andererseits aber auch auf einer angeborenen Sensibilität für Melodie und Rhythmus. So konstatiert Wermke (2008, S. 191), dass „der Sprech- und Spracherwerb aus einem fein abgestimmten, bereits vorgeburtlich beginnenden Entfaltungsprozess besteht, der sowohl auf genetischen Faktoren als auch auf Lernprozessen beruht“.

Kisilevsky et al. (2003) verweisen an dieser Stelle auf das epigenetische Modell von Werker & Tees (1999). „To account for the sensitivities in newborn infants, we suggest there is already a history of interaction between a genetically initiated, overelaborated neural substrate and the normally invariantly occurring critical, species-specific experience (in this case, human speech)“ (Werker & Tees, 1999, S. 528).

## *2 Auditive Perzeption von Melodie und Rhythmus bei Feten und Neugeborenen*

Wie in diesem Kapitel gezeigt wurde, kann man aus dieser Perspektive den Beginn der Sprachentwicklung auf Seiten der Perzeption bereits intrauterin ansetzen. Auf Seiten der Produktion kann die Sprachentwicklung aus physiologischen Gründen erst nach der Geburt einsetzen. Korrespondierend zu den Ergebnissen der Perzeptionsforschung konnten Wermke und Mende (z. B. Wermke et al., 2002; Wermke & Mende, 2009, 2011) erstmals nachweisen, dass auch in der frühen Lautproduktion von Säuglingen prosodierelevante Leistungen eine besondere Rolle spielen. Dies soll im folgenden Kapitel weiter ausgeführt werden.

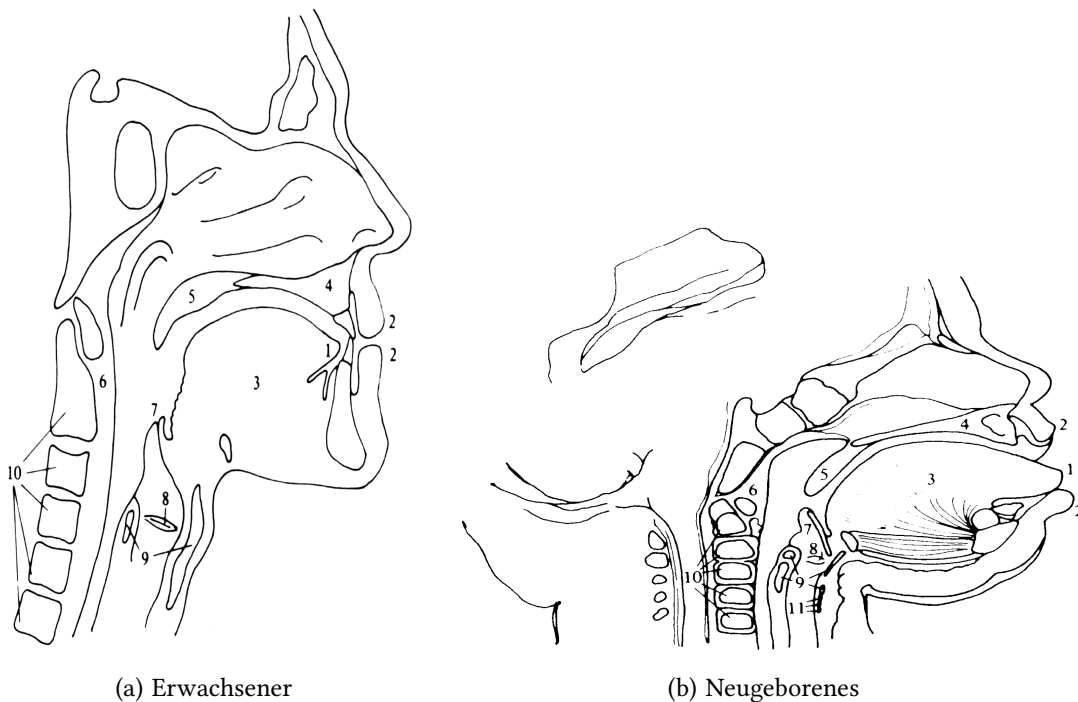
## **3 Melodie und Rhythmus im Säuglingsschrei**

Die menschliche Fähigkeit zur Produktion von Lautsprache bedarf eines dynamischen Zusammenspiels von anatomischen Strukturen und physiologischen Prozessen, die einen Luftstrom erzeugen und modifizieren (Kohler, 1995). Die dafür benötigten Sprechorgane gliedern sich in drei funktionale Systeme: das Atmungssystem zur Generierung des Luftstroms, das laryngeale System zur periodischen Unterbrechung des Luftstroms (Phonation) sowie den Vokaltrakt als supralaryngeales System zur Modulation des Luftstroms (Artikulation). Das funktionierende Zusammenspiel dieser drei Systeme wird durch das Zentralnervensystem (ZNS) gewährleistet. Dies setzt eine Reihe von abgestimmten anatomischen und neurophysiologischen Reifungsprozessen voraus, die sich bereits in den ersten Lebensjahren des Kindes vollziehen. Im Folgenden werden zunächst die anatomischen und physiologischen Besonderheiten der Sprechorgane beim Neugeborenen, im Besonderen des laryngealen und supralaryngealen Systems, im Vergleich zum Erwachsenen beschrieben (Kapitel 3.1). Darauf folgend werden diese Besonderheiten mit der Schreiproduktion des Säuglings in der ersten Lebenswoche in Zusammenhang gebracht (Kapitel 3.2).

### **3.1 Vergleich der anatomischen und physiologischen Besonderheiten von Vokaltrakt und Larynx bei Neugeborenen und Erwachsenen**

Der Aufbau des Vokaltraktes einschließlich der Position des Larynx entspricht bei Neugeborenen nicht etwa einer kleineren Version des erwachsenen Vokaltraktes (Goldstein, 1980; Stark, 1986), sondern weist eine ganz eigene Konfiguration auf, die eher der eines nichtmenschlichen erwachsenen Primaten ähnelt (Lieberman, Harris, Wolff & Russell, 1971; Lieberman & Crelin, 1971; Kent, 1981).

Das charakteristischste Merkmal des Vokaltraktes von Neugeborenen ist die im Vergleich zum erwachsenen Vokaltrakt höhere Position des Larynx: Während die Spitze der Epiglottis beim Erwachsenen auf der Höhe des sechsten Halswirbelkörpers liegt, befindet sie sich beim Neugeborenen auf der Höhe des oberen Bereichs des zweiten Halswirbelkörpers (Tucker, 1993). Des Weiteren sitzt der Schildknorpel beim Neugeborenen neben dem Zungenbein (Lieberman & Crelin, 1971), was dazu führt, dass sich die Spitze der Epiglottis in der Nähe des Velums befindet (Lieberman et al., 1971; Lieberman, Crelin & Klatt, 1972; Tucker, 1993). Die dadurch bestehende nasolaryngeale Verbindung schützt vor einer Aspiration von Flüssigkeit und ermöglicht es dem Säugling, gleichzeitig durch die Nase zu atmen und zu trinken (Tucker, 1993) (Abbildung 1).



**Abbildung 1: Vergleich von Vokaltrakt und Larynx beim Erwachsenen und Neugeborenen**

Quelle: Stark, 1986; original in Zemlin, 1968 (a) und Bosma, 1972 (b); mit freundlicher Genehmigung von Cambridge University Press. – Die Abbildung zeigt einen Sagittalschnitt durch Vokaltrakt und Larynx eines Erwachsenen (a) und eines Neugeborenen (b). *Zeichenerklärung:* 1 = Zungenspitze, 2 = Lippen, 3 = Zungenkörper, 4 = harter Gaumen, 5 = Velum, 6 = hintere Pharynxwand, 7 = Epiglottis, 8 = Stimmlippen, 9 = Larynxknorpel, 10 = Halswirbel, 11 = Trachea

Die höhere Position des Larynx führt außerdem dazu, dass der Pharynx des Neugeborenen – verglichen mit dem Pharynx des Erwachsenen – im Verhältnis zur Gesamtlänge des Vokaltraktes kürzer ist (Goldstein, 1980). So nimmt der pharyngeale Teil des Vokaltraktes beim Neugeborenen nur ein Drittel der Länge des gesamten Vokaltraktes ein, während dieser beim Erwachsenen über die Hälfte des gesamten Vokaltraktes einnimmt (Lieberman & Crelin, 1971). Auch ist der Vokaltrakt bei Neugeborenen breiter in Relation zu seiner Gesamtlänge (Goldstein, 1980). Während der Vokaltrakt bei Erwachsenen außerdem eine nahezu rechtwinklige Form hat, weist dieser bei Neugeborenen lediglich eine leichte Krümmung auf (Kent & Vorperian, 1995). Die Zunge ist bei Neugeborenen in Relation zur Größe der Mundhöhle groß und füllt diese fast vollständig aus. Durch die fehlende Reife der intrinsischen Zungenmuskulatur sowie die noch nicht ausgebildete neuromuskuläre Kontrolle können Neugeborene die Zunge ausschließlich vor- und zurück bewegen, was zwar Schlucken und Saugen ermöglicht, jedoch nicht erlaubt, gezielte artikulatorische Bewegungen auszuführen (Lieberman et al., 1972; Kent, 1981; Beck, 2010). Die Unfähigkeit des Neugeborenen, intentionale artikulatorische Bewegungen auszuführen, ist nicht auf die anatomische Konfiguration des Vokaltraktes zurückzuführen, sondern beruht vielmehr auf einer unreifen neurophysiologischen Kontrolle des Artikulationssystems (Goldstein, 1980; Ménard, Schwartz & Boë, 2004; Boë et al., 2006).

Was sich in der Anatomie des Larynx von Neugeborenen und Erwachsenen besonders unterscheidet, ist das jeweilige Verhältnis von kartilaginärem zu membranösem Teil der Glottis. So beträgt beim Neugeborenen der kartilaginäre Anteil der Glottis 50–75 % (Tucker, 1993; Eckel et al., 2000), während dieser Anteil – zugunsten einer Verlängerung des membranösen schwingungsfähigen Anteils der Glottis – bei Erwachsenen nur noch ungefähr 30 % beträgt (Tucker, 1993). Laut Eckel et al. (2000) findet sich kein Geschlechtsdimorphismus des Larynx während der Kindheit. Fayoux, Marciniak, Devisme & Storme (2008) konnten jedoch zeigen, dass weibliche Föten und Neugeborene eine signifikant geringere Höhe und Breite der Schildknorpelflügel sowie eine geringere Distanz zwischen den Aryknorpeln aufweisen. Die Höhe des Ringknorpels, der subglottale und tracheale Durchmesser sowie die Länge von Trachea und Glottis unterschieden sich allerdings nicht geschlechtsabhängig.

Auch die histologische Struktur der Stimmlippen unterscheidet sich zwischen Neugeborenen und Erwachsenen, hier im Besonderen die Struktur der Lamina propria der Schleimhaut (Hirano & Sato, 1993). Reife menschliche Stimmlippen bestehen histologisch aus fünf verschiedenen Schichten: Epithelium, Lamina propria (mit oberer, mittlerer und tiefer Schicht) und Musculus vocalis (Hirano, 1975, zit. nach Sato, Hirano & Nakashima, 2001). Funktionell bestehen die Stimmlippen nach dem *Body-Cover-Modell* von Hirano (1974) aus einem flexiblen System (*cover*; Epithelium und obere Schicht der Lamina propria), welches einem starren System (*body*), zusammengesetzt aus Stimmband (mittlere und tiefe Schicht der Lamina propria) und Musculus vocalis, locker aufliegt. Bei Neugeborenen besitzt die Lamina propria jedoch noch keine Schichtstruktur, sondern kennzeichnet sich durch eine gleichmäßige, hyperzelluläre Monoschicht (Gray, Hirano & Sato, 1993; Sato et al., 2001; Hartnick, Rehbar & Prasad, 2005; Boseley & Hartnick, 2006; Rosenberg & Schweinfurth, 2009) ohne Anzeichen eines Stimmbands (Sato et al., 2001; Schweinfurth & Thibeault, 2008). Allerdings finden sich an den anterioren und posterioren Enden der Stimmlippen unreife Maculae flavae, die als verantwortlich für das Wachstum und die Entwicklung des Stimmbandes angesehen werden (Sato & Hirano, 1995; Sato, Umeno & Nakashima, 2010). Beim Neugeborenen kann somit die gesamte – im Vergleich zum Erwachsenen dickere – Schleimhaut als *cover* bezeichnet werden, während der Musculus vocalis wie beim Erwachsenen den *body* repräsentiert (Hirano & Sato, 1993). Beim Erwachsenen vibriert während der Phonation die obere Schicht der Lamina propria am stärksten (Sato, 1998). Bei Neugeborenen ist jedoch laut Sato et al. (2001) die Viskoelastizität der unreifen, einschichtigen Lamina propria noch nicht ausreichend für eine normale Phonation<sup>9</sup>. Vielmehr ermöglichen diese unreife, einschichtige Struktur sowie eine gleichmäßigere Verteilung von Hyaluronsäure innerhalb der Lamina propria eine intensive und langanhaltende Phonation und liefern somit eine Grundlage für den Säuglingsschrei als biologisches Alarmsignal (Schweinfurth & Thibeault, 2008).

---

<sup>9</sup> Der Begriff der *normalen* (oder auch *modalen*) *Phonation* wird in der Literatur verwendet, um die klare, ungestörte Phonation im für das Sprechen relevanten Grundfrequenzbereich zu kennzeichnen (z. B. Hollien, 1974; Titze, 1994; Oller, 2000).

Eine reine Betrachtung der Anatomie von Vokaltrakt und Larynx des Neugeborenen, die sich auf Vergleiche mit den Verhältnissen bei Erwachsenen stützt, könnte zu dem falschen Schluss führen, dass Larynx und Vokaltrakt zum Zeitpunkt der Geburt noch unreif seien. Dies ist zumindest für den Larynx nicht der Fall. Bosma, Truby & Lind (1965) konnten nachweisen, dass die laryngeale Koordination des Säuglings während der Schreiproduktion bereits reif ist. Im folgenden Kapitel wird genauer auf die Schreiproduktion im Zusammenhang mit ihren anatomischen und physiologischen Grundlagen eingegangen.

## 3.2 Physiologie und Akustik des Säuglingsschreis

Ein nach der Geburt sofort funktionierendes laryngo-respiratorisches System ist essenziell für einen erfolgreichen Übergang vom intra- zum extrauterinen Leben und somit lebenswichtig für das Neugeborene. Die größte Umstellung nach Abklemmung der Nabelschnur stellen die Belüftung der vorher flüssigkeitsgefüllten Lunge und der Übergang von der fetalen zur neonatalen Zirkulation dar (Avenarius, 2010). Die Lunge muss sich innerhalb von wenigen Atemzügen mit Luft füllen und durchblutet werden, damit kein Sauerstoffmangel entsteht (Speer & Gahr, 2001). Der erfolgreiche Übergang von flüssigkeits- zu luftgefüllten Lungen wird normalerweise durch den ersten Schrei nach der Geburt signalisiert (te Pas, Davis, Hooper & Morley, 2008).

Zugleich repräsentiert der Neugeborenen schrei damit auch den Beginn der menschlichen stimmlichen Kommunikation. In den ersten Lebensmonaten ist er für den Säugling das einzige Mittel, um Bedürfnisse und „Wünsche“ effizient, auch über eine gewisse Distanz und in Dunkelheit, zu bekunden (Lester & Boukydis, 1991; Wermke & Mende, 2011).

Das komplexe Phänomen des Säuglingsschreis resultiert aus der Interaktion zwischen respiratorischen und laryngealen Bewegungen sowie aus den diesen Bewegungen zugrundeliegenden neurophysiologischen Kontrollmechanismen. Das Verhalten von Vokaltrakt und Larynx bei der Schreierzeugung von Säuglingen wurde eindrucksvoll von Bosma et al. (1965) auf der Basis von cineradiographischen und spirometrischen Untersuchungen beschrieben. Dabei zeigte sich, dass zum Zeitpunkt der Geburt die



laryngeale Koordination – im Gegensatz zur Koordination supralaryngealer Bewegungen – bereits wohl abgestimmt funktioniert. Während der expiratorischen Phase des Schreis kommt es zu einer Verengung des Rachenraums, und Unterkiefer und Zunge senken sich ab. Gleichzeitig wird das Velum angehoben und bewegt sich nach dorsal, sodass der velopharyngeale Raum verengt und der Luftstrom nicht mehr durch die Nase sondern durch den Mund gelenkt wird (Bosma et al., 1965). Die darauf folgenden pharyngealen Bewegungen während der Inspiration verhalten sich im Wesentlichen gegenteilig zu den Expirationsbewegungen: Der Rachenraum erweitert sich durch Bewegung der Pharynxwände nach außen, und das Velum wird abgesenkt, sodass die nasale Route für den Luftstrom während der Inspiration wieder geöffnet ist (Bosma et al., 1965; Bosma, 1975). Die Zungen- und Kieferbewegungen laufen im Vergleich zur laryngealen Bewegung phasenverschoben ab, was bedeutet, dass während der Expirationsphase die Abwärtsbewegung von Zunge und Kiefer erst kurz nach Beginn der Phonation eintritt und dementsprechend die Hebung von Zunge und Kiefer auch erst nach Ende der expiratorischen Phase des Schreis auftritt (Bosma et al., 1965; Stark & Nathanson, 1973). Bosma et al. (1965) beobachteten insgesamt eine Abstufung bezüglich der Bewegungen im Vokaltrakt „from the highly discriminate oscillatory motions of the phonatory apparatus within the larynx to the crude and essentially sinusoidal motions of the pharynx, and finally the comparatively unmoving mouth“ (Bosma et al., 1965, S. 70). Wermke & Mende (2011) gehen daher davon aus, dass die laryngeale *Phonation* und die supralaryngeale *Artikulation* bei jungen Säuglingen neurophysiologisch zunächst unabhängig voneinander kontrolliert werden, wobei die Phonation früher reif ist.

Welche hirnpfysiologischen Mechanismen an der Schreiproduktion beteiligt sind, ist bis heute noch nicht abschließend geklärt. Ältere, hauptsächlich auf Tierversuche gestützte Modelle gehen davon aus, dass die Schreiproduktion, genauso wie das Schlucken und das Saugen, bei Neugeborenen hauptsächlich durch den Hirnstamm kontrolliert wird. Begründet wird diese Annahme mit der Beobachtung, dass auch Säuglinge mit Anenzephalie Schreie produzieren (z. B. Barnett, Bazelon & Zappella, 1966). Demnach würden die Strukturen des Hirnstamms zur Schreierzeugung per se ausreichen. Das Hirnstamm-Modell lässt aber außer Acht, dass sich die Schreie von Kindern mit Anen-

zephalie hinsichtlich ihrer melodischen und spektralen Eigenschaften deutlich von den Schreien gesunder Kinder unterscheiden (Newman, 2007). Die jüngere Forschung geht daher davon aus, dass neben dem Hirnstamm auch kortikale Strukturen, allen voran der Gyrus cinguli im limbischen System, an der Schreiproduktion beteiligt sind (z. B. Lester & Boukydis, 1991; Newman, 2007).

Auf unterschiedliche neurophysiologische Kontrollmechanismen je nach Art des Schreityps weisen Untersuchungen des Atemmusters beim Schreien Neugeborener hin (Robb, Sinton-White & Kaipa, 2011). Analog zu den Verhältnissen beim Sprechen wird beim Schreien das im Ruhezustand beobachtete Atemmuster verlangsamt. Während die Atemrate bei Säuglingen im Alter von 1 Monat im Ruhezustand bei ungefähr 87 bpm (breaths per minute) liegt, verlangsamt sie sich beim Spontanschrei auf ungefähr 50 bpm (Langlois, Baken & Wilder, 1980; te Pas et al., 2009). Dabei nimmt die Expiration innerhalb eines Atemzyklus, bestehend aus Expiration und Inspiration, ungefähr 80 % der Länge ein (te Pas et al., 2009). Anders verhält es sich bei der Produktion von Schmerzscreien: Hier liegt die Atemrate bei Neugeborenen bei ungefähr 57 bpm, und die Expiration nimmt ungefähr 73 % der Länge eines Atemzyklus ein (Robb et al., 2011). Die Atemrate ist bei Schmerzscreien im Vergleich zu Spontanschreien also höher und die Expirationsphase zugleich kürzer. Diese Unterschiede könnten laut Robb et al. (2011) auf Unterschiede in der neuronalen Kontrolle von Schmerz- und Spontanschreien hinweisen.

Wie bereits ausgeführt wurde, ist das laryngeale System zum Zeitpunkt der Geburt bereits reif bzw. optimal funktionell angepasst: Da das supralaryngeale System aufgrund noch fehlender neurophysiologischer Reife den Expirationsstrom kaum modifiziert, sehen Bosma et al. (1965) das laryngeale System als hauptsächliche Determinante der unterschiedlichen Variationen des Säuglingsschreis an. Am unmittelbarsten werden die laryngealen Anregungsprozesse durch die Variation der Grundfrequenz ( $f_0$ ) reflektiert; sie wird damit zum Schlüsselparameter bei der Analyse von Säuglingsschreien (Wermke, 2002). Verantwortlich für die Höhe der  $f_0$  ist die Spannung der intrinsischen laryngealen Muskulatur und die der abdominalen Atemmuskulatur (Golub & Corwin, 1985; LaGasse, Neal & Lester, 2005). Da Säuglinge noch verhältnismäßig kurze Stimm-

lippen besitzen, haben ihre Schreie – verglichen mit der Stimme Erwachsener – eine 1 bis 2 Oktaven höhere Grundfrequenz (Wermke, 2011b). Die durchschnittliche Grundfrequenzspanne liegt bei gesunden Neugeborenen in einem Bereich zwischen 200 und 600 Hz (Bosma et al., 1965; Soltis, 2004).

Das zum Zeitpunkt der Geburt funktionierende laryngo-respiratorische System ermöglicht es dem Neugeborenen, weitgehend „stabile“ Schreie mit harmonischen Mustern zu produzieren. Gleichwohl können Säuglingsschreie partiell Instabilitäten wie zum Beispiel phonatorische Rauschbanden, Subharmonische oder plötzliche  $f_0$ -Sprünge aufweisen (Kapitel 7.5.1) (Wasz-Höckert et al., 1968; Mende, Herzel & Wermke, 1990). Diese Phänomene treten häufiger in den Schreien junger, gesunder Säuglinge auf und sind bezeichnend für eine noch eingeschränkte laryngo-respiratorische Kontrolle bei individuellen Säuglingen (z. B. LaGasse et al., 2005). Ausgeprägte Phänomene dieser Art können ein Zeichen für bestimmte zerebrale Dysfunktionen infolge von Chromosomenaberrationen, endokrinen und metabolischen Störungen oder intrauterinen Wachstumsverzögerungen bzw. einer Frühgeburt (und damit einer Unreife) sein. Die spektrografische Untersuchung der mittleren  $f_0$  und des  $f_0$ -Verlaufs ist daher von hohem Wert für die medizinische Schreidiagnostik, da sie nicht-invasiv zusätzliche Informationen über die physiologische Kondition eines Neugeborenen geben kann (z. B. Lind, Vuorenkoski, Rosberg, Partanen & Wasz-Höckert, 1970; Michelsson, 1971; Michelsson, Sirviö & Wasz-Höckert, 1977; Lester, 1987; Rapisardi, Vohr, Cashore, Peucker & Lester, 1989; Michelsson, Järvenpää & Rinne, 1983).

Das häufigste auf eine pathologische medizinische Auffälligkeit hindeutende Charakteristikum ist eine ungewöhnlich hohe mittlere Grundfrequenz (d. h. > 600 Hz), die häufig die mittlere Grundfrequenz der Schreie gesunder Säuglinge um das Dreifache übersteigt (Soltis, 2004). Für bestimmte Krankheiten wie zum Beispiel Trisomie 21 sind jedoch auch erniedrigte mittlere  $f_0$ -Werte typisch (z. B. Lind et al., 1970).

In der medizinischen Schreiforschung werden hauptsächlich durch Schmerzen elizitierte Schreie untersucht. Dies hat den Vorteil, dass die Untersuchungssituation bis zu einem bestimmten Grad standardisiert werden kann (z. B. bei der Blutentnahme). In Bezug auf die akustischen Eigenschaften gibt es jedoch Unterschiede zwischen Schmerz-

schreien und (z. B. durch Hunger ausgelöst) Spontanschreien, was bei der Interpretation von Schreistudien berücksichtigt werden muss. So wurde für spontane Säuglingsschreie innerhalb der ersten Lebenswoche eine mittlere  $f_0$  von  $398 \pm 85$  Hz ( $n = 30$ ) (Baeck & de Souza, 2007) sowie innerhalb des ersten Lebensmonats eine mittlere  $f_0$  von  $417 \pm 33$  Hz ( $n = 1$ ) (Lind & Wermke, 2002) bzw.  $429$  Hz ( $n = 4$ ) (Gilbert & Robb, 1996) ermittelt. Dahingegen ermittelten Goberman & Robb (1999) und Michelsson et al. (2002) bei Schmerzschreien innerhalb der ersten Lebenswoche eine deutlich höhere mittlere  $f_0$  von  $457 \pm 61$  Hz ( $n = 10$ ) bzw.  $496 \pm 95$  Hz ( $n = 172$ ). Dieser Unterschied zeugt von einer höheren Spannung der intrinsischen Larynxmuskulatur sowie von einem erhöhten subglottischen Druck bei Schmerzschreien. Es zeigten sich ebenfalls, wenn auch widersprüchliche, Geschlechterunterschiede bei der Messung der mittleren  $f_0$  von Schmerz- und Spontanschreien. So war die mittlere  $f_0$  der von Baeck & de Souza (2007) untersuchten Spontanschreie weiblicher Neugeborener etwas höher als die der männlichen, während sich bei Michelsson et al. (2002) eine Erhöhung der mittleren  $f_0$  bei den Schmerzschreien männlicher Neugeborener zeigte, die jedoch nicht statistisch signifikant war. Auch die durchschnittliche Länge des Einzelschreis unterscheidet sich hinsichtlich des Schreityps. Wasz-Höckert et al. (1968) ermittelten für Schmerzschreie innerhalb des ersten Lebensmonats eine mittlere Länge, die mit 2,6 Sekunden doppelt so lang ist wie die Länge von Spontanschreien (1,3 Sekunden). Michelsson et al. (2002) geben allerdings für Schmerzschreie eine kürzere Einzelschreilänge von 1,4 Sekunden an.

Die unterschiedlichen akustischen Charakteristika der erstmals von Wasz-Höckert et al. (1968) detailliert beschriebenen unterschiedlichen Schreitypen – wie Geburtsschrei, Schmerzschrei und Hungerschrei – sowie die Tatsache, dass die Grundfrequenz und ihre Variation als sensible Indikatoren für die Integrität des Zentralnervensystems gilt (Lester, 1976), zeigen, dass der Säuglingsschrei weit mehr ist als die Konsequenz der speziellen Konfiguration von Vokaltrakt und Larynx (Kapitel 3.1). So konstatiert Zeskind (1985): „Distinctive patterns of infant crying during the newborn period [...] reflect more than the status of the vocal tract and respiratory systems“ (Zeskind, 1985, S. 164). Der Variantenreichtum und die Komplexität des Säuglingsschreis gehen weit über die Anforderungen hinaus, die seine alleinige Funktion als Alarmsignal stel-

len würde (Wermke, 2002). Obwohl einige Autoren einen Zusammenhang zwischen Säuglingsschrei und *Sprechentwicklung* gestellt haben – so postulieren zum Beispiel Langlois et al. (1980), dass die für das spätere Sprechen erforderliche respiratorische Kontrolle mit dem Säuglingsschrei geübt wird – wurde die Bedeutung des Säuglingsschreis für die *Sprachentwicklung* in Spracherwerbsmodellen lange Zeit vernachlässigt. Erst durch die Arbeitsgruppe von Wermke und Mende konnten beeindruckende Belege dafür geliefert werden, dass die Säuglingsschreie sich nach einem universellen Entwicklungsprogramm im Verlauf der ersten Lebensmonate verändern und dass sie Teil einer kontinuierlichen Entwicklung vom Schreien über das Gurren und das Babbeln zur Wortproduktion sind (z. B. Wermke, 2002; Wermke & Mende, 2009, 2011). Wie im Folgenden weiter ausgeführt wird, liefert bereits das Schreien Neugeborener essenzielle Grundbausteine für die spätere Sprachentwicklung.

### 3.3 Prosodische Eigenschaften des Säuglingsschreis als Grundbaustein für den Spracherwerb

In vielen älteren, aber auch noch in neueren linguistischen Spracherwerbsmodellen findet die Bedeutung des Säuglingsschreis für die Sprachentwicklung noch keine Berücksichtigung. So schreibt zum Beispiel Pinker (2007): „Not much of linguistic interest happens during the first two months, when babies produce the cries, grunts, sighs, clicks, stops, and pops associated with breathing, feeding, and fussing“ (Pinker, 2007, S. 268). Die Phase des Schreiens von Neugeborenen und jungen Säuglingen wird häufig noch als linguistische Ruhephase und das Schreien selbst als *reflexiv* bezeichnet (z. B. Stark, 1980; Oller, 2000; Zeskind et al., 2011). Oller (2000, S. 194) stellt den Säuglingsschrei sogar zusammen mit dem Lachen als „fixed vocal signal“ auf eine Ebene mit den außersprachlichen vegetativen Lauten wie zum Beispiel Niesen und Husten. Diese sind ihm zufolge im Gegensatz zu den *Protophonen* noch keine Vorläufer der bedeutungsvollen Sprache, sondern besitzen ausschließlich eine emotionale Signalfunktion (Oller, 2000). Eine solche Abgrenzung der Protophone von vegetativen Lauten und „fixed signals“ begründen Oller, Eilers, Neal & Schwartz (1999) mit der Annahme, dass vegetative Laute und „fixed signals“ bei vielen Spezies vorkommen, Protophone aber ausschließlich vom

Menschen produziert würden. Diese Annahme ist inkonsequent, denn auch Gurren und Babbeln kommen bei Tieren vor (z. B. Masataka, 2009). Die Ansicht von Oller berücksichtigt nicht, dass menschliche Säuglingsschreie – im Gegensatz zu den Schreien nicht-menschlicher Primaten – eine einem angeborenen Programm folgende kontinuierliche, unidirektionale Entwicklung von einfachen zu komplexen Melodien aufweisen, die einer funktionellen Reduktion auf ein biologisches Alarmsignal geradezu widersprechen (Wermke & Mende, 2011).

Basierend auf Untersuchungen der strukturellen Veränderungen von Schreimelodien bei Säuglingen in den ersten Lebensmonaten (z. B. Wermke, 2002; Lind, 2007; Denner, 2007; Wermke & Mende, 2011) konnten Wermke und Mende mit ihrer Arbeitsgruppe ein Klassifizierungssystem entwickeln, in das alle Schreimelodien von Säuglingen stabil eingeordnet werden können.

Dieses Klassifizierungssystem unterscheidet fünf Ähnlichkeitsklassen, die auf prinzipiellen Formeigenschaften (langsamen Modulationseigenschaften) der Schreimelodien beruhen (Wermke, 2002; Wermke & Mende, 2011; Wermke, 2011b). Die ersten vier Klassen bilden die angeborenen Grundtypen der Melodie (Abbildung 2): eine schnell steigende und langsam abfallende Melodie (linksakzentuierter Typ), eine symmetrisch steigende und fallende Melodie (symmetrischer Typ), eine langsam steigende und schnell fallende Melodie (rechtsakzentuierter Typ) sowie eine Melodie mit relativer Frequenzstabilität (Plateautyp). Die Klasse 5 beinhaltet Kombinationsmuster aus den Melodietypen 1 bis 4, welche zusätzlich Segmentierungen durch laryngeale Schwingungspausen enthalten können (Beispiele in den Abbildungen 11, 12 und 14, Kapitel 7.5.1).

In einer Untersuchung der Melodieentwicklung von 15 monozygoten Zwillingspaaren in den ersten 5 Lebensmonaten konnte Wermke (2002) zeigen, dass die Schreimelodien eines Typs in ihren prinzipiellen Formeigenschaften von allen Kindern vielfach reproduziert wurden. Daneben waren die von den Neugeborenen und jungen Säuglingen produzierten Schreimelodien flexibel in der Bogenlänge und im Frequenzniveau. Bei allen untersuchten Säuglingen konnte zudem eine kontinuierliche, gesetzmäßige Melodieentwicklung von einfachen zu komplexen Melodien nachgewiesen werden. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass die Synchronizität und die Konkordanz in der Melodieent-

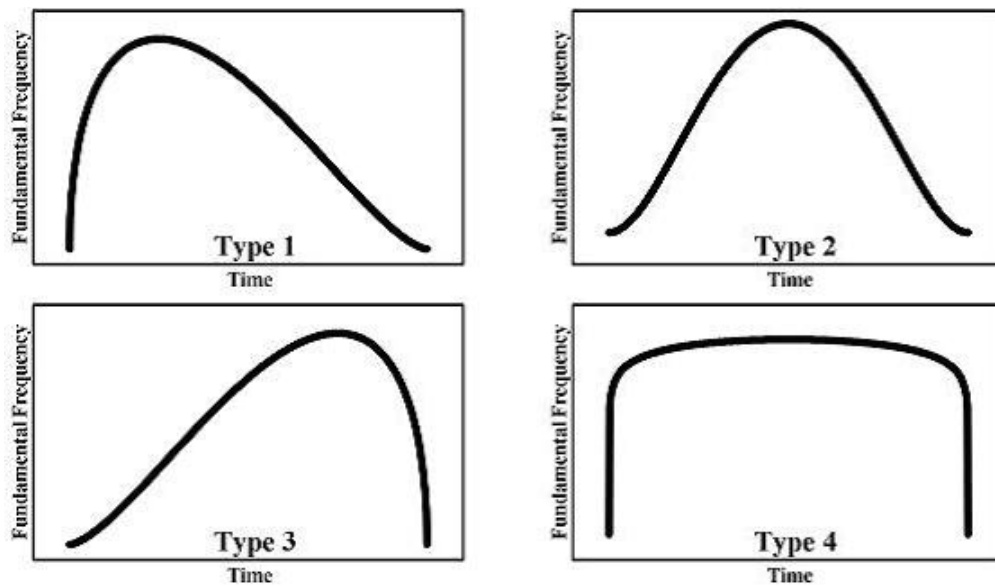


Abbildung 2: Grundtypen der Melodie von Säuglingsschreien

Quelle: Wermke & Mende, 2009; mit freundlicher Genehmigung der Autoren und SAGE Publications.

wicklung für Zwillinge deutlich größer sind als bei nichtverwandten Kindern gleichen Geschlechts und gleichen Alters. Dies weist auf einen universellen Erzeugungsmechanismus für die oben vorgestellten unterschiedlichen Melodietypen hin.

In der ersten Lebenswoche dominieren noch die einfachen Melodien mit einem Anteil von ungefähr 67 % (Wermke & Mende, 2011). Dabei ist die Intensitätskontur meist an die Melodiekontur gekoppelt, typisch sind jedoch auch partielle Entkopplungen (Wermke, 2002). Alle Melodietypen der Klassen 1 bis 4 treten in der ersten Lebenswoche auf, allerdings mit unterschiedlicher Häufigkeit. So treten bei Schmerzscreien mehr Schreimelodien des Typs 1 auf als bei Spontanschreien (Wermke & Mende, 2011).

Bereits in der zweiten Lebenswoche treten regelhaft erste Kombinationsmuster (Klasse 5), meist in Form von Doppelbögen (Kapitel 7.5.1, Abbildung 11), auf (Wermke, 2002). Diese können bei reifen, gesunden Neugeborenen auch schon in der ersten Lebenswoche auftreten. Der relative Anteil komplexer Melodien nimmt in den ersten Lebenswochen kontinuierlich zu und steigt auf über 75 % (Wermke, 2011b).

Die Tatsache, dass Neugeborene die angeborene Fähigkeit besitzen, unterschiedliche Melodietypen zu produzieren sowie die Grundfrequenz und die Intensität unabhängig

voneinander zu kontrollieren, zeugt von einer guten laryngo-respiratorischen Kontrolle (Mampe et al., 2009). Diese Beobachtung steht im Gegensatz zu den Ergebnissen älterer Studien, deren Autoren einfache aerodynamische Prozesse für den Verlauf der Melodie von Säuglingsschreien verantwortlich machten. Lieberman et al. (1971) definieren zum Beispiel die Grundfrequenz als Funktion von „both laryngeal muscular maneuvers and the transglottal air pressure drop“ (Lieberman et al., 1971, S. 722). Danach müsste die Schreimelodie von Säuglingen als physiologische Konsequenz des abnehmenden subglottischen Drucks während der Expiration stets eine fallende Kontur aufweisen. Diese Annahme wird durch die Beobachtung, dass bereits Neugeborene Melodien mit ansteigender Kontur produzieren können, widerlegt (Wermke, 2002; Mampe et al., 2009).

Die Fähigkeit der intentionalen und stabil reproduzierten Kombination von einfachen Melodietypen zu komplexen Mustern macht eine Reihe von Reifungsschritten und Trainingsprozessen erforderlich. Die angeborenen Melodietypen bezeichnet Wermke (2002) als *Protomodule*, die aus unreifen neuronalen Strukturen entstandene „spontan efferierte Rohbausteine“ (Wermke, 2002, S. 137) darstellen. Die neuronale Unreife ist auch für partielle Instabilitäten in den Schreien junger Säuglinge verantwortlich (Kapitel 3.2 und 7.5.1) (Wermke & Mende, 2011). Im Laufe der ersten Lebensmonate reifen die Protomodule durch eine „kontinuierliche Entwicklung und Stabilisierung unter Einbeziehung von Lernprozessen im Verlauf der ersten Lebensmonate“ (Wermke, 2002, S. 137) zu fertigen Bausteinen (Modulen) heran. Der Säugling ist schließlich in der Lage, die Module zu komplexen Melodien zu kombinieren und durch die von der Melodiekontur (mitunter nur partiell) entkoppelte Intensitätskontur zusätzliche Akzente zu setzen. Auf diese Weise üben die Säuglinge frühzeitig prosodische Muster, die dann bei der Produktion von Gurr- und Babbellauten intentional verwendet werden (Wermke, 2011b). Wermke und Mende sehen dies als Vorbereitung der Fähigkeit, „in nachfolgenden Lernprozessen durch Imitation muttersprachliche Eigentümlichkeiten erwerben zu können“ (Wermke, 2011b, S. 658, siehe auch Wermke & Mende, 2011). Die frühe Entwicklung verläuft kontinuierlich vom ersten Schrei bis zu ersten Wörtern und Sätzen. Demnach müssten Elemente des Säuglingsschreis – entgegen Ollers Sprachentwicklungsmodell – ebenfalls den *Protophonen* zugeordnet werden.



Unterstützt wird diese Annahme durch Ergebnisse einer Längsschnittstudie an 34 Kindern, die darauf hinweisen, dass die frühe Melodieentwicklung im Säuglingsschrei als ein möglicher Risikoindikator für spätere Sprachentwicklungsstörungen dienen könnte (Wermke et al., 2007). So zeigte sich, dass diejenigen Kinder, die im zweiten Lebensmonat weniger als 45 % komplexe Melodien produzierten, schlechtere Leistungen bei einem Sprachtest (SETK-2) im Alter von 2;6 Jahren erbrachten als diejenigen Kinder, deren Schreie im zweiten Lebensmonat mehr als 45 % komplexe Melodien aufwiesen. Die Tatsache, dass schon zu einem ontogenetisch frühen Zeitpunkt Unterschiede in der Schreimelodieentwicklung auftreten können, weist laut Wermke (2011b) auf die Wirkung epigenetischer Faktoren hin.

Wenige Monate alte Säuglinge können als „citizens of the world“ (Gervain & Mehler, 2010, S. 201) auch nicht-muttersprachliche Lautkontraste erkennen (z. B. Trehub, 1976). Durch den anhaltenden Kontakt mit der Muttersprache verlieren Kinder erst im Laufe des ersten Lebensjahres diese universelle Diskriminationsfähigkeit (Mehler & Christophe, 1995). Was den Bereich der Prosodie anbetrifft, zeigt sich jedoch direkt nach der Geburt nicht nur im Bereich der Perzeption (Kapitel 2.2), sondern auch im Bereich der Produktion neben aller Universalität schon eine muttersprachliche Prägung. Wermke (2011b) geht davon aus, dass das Entwicklungsprogramm von einfachen zu komplexen Melodien bei Säuglingen aller Kulturen universell abläuft. Mampe et al. (2009) konnten jedoch zeigen, dass die Schreimelodie von Neugeborenen in der ersten Lebenswoche darüber hinaus bereits muttersprachlich geprägt zu sein scheint. Es wurden die Melodie- und Intensitätskonturen von 30 französischen und 30 deutschen Neugeborenen im Alter von 2 bis 5 Tagen mithilfe von signalanalytischen Methoden untersucht. Dabei zeigte sich, dass die französischen Neugeborenen bevorzugt Melodien mit rechtsakzentuierter Kontur (Typ 3, Abbildungen 2 und 9) produzierten, während die deutschen Neugeborenen Melodien mit linksakzentuierter Kontur (Typ 1, Abbildungen 2 und 18 c, d) präferierten. Diese Unterschiede zeigten sich auch hinsichtlich der Intensitätskontur. Die Autoren führen die Unterschiede auf einen Einfluss der muttersprachlichen Intonation zurück. Im Gegensatz zum Deutschen steigt im Französischen die Intonation – außer am Satzende – am Phrasenende an (z. B. Welby, 2006). Obwohl ein Lernprozess innerhalb der ersten Lebenstage nicht ausgeschlossen werden kann, ist davon auszuge-

hen, dass die Neugeborenen gewisse Besonderheiten der muttersprachlichen Intonation bereits vorher gelernt haben, da sie diesen bereits 3 Monate lang intrauterin ausgesetzt waren (Mampe et al., 2009).

In einer folgenden Studie untersuchte Mampe (2012) die Melodiekontur der Schreie von französischen monolingualen ( $n = 40$ ) und bilingualen ( $n = 20$ ) (Französisch und eine weitere Sprache) Neugeborenen. Die Autorin konnte signifikante Unterschiede bei der Auftrittshäufigkeit der verschiedenen Melodietypen zwischen den beiden Gruppen feststellen. Die Melodien der monolingualen französischen Säuglingsschreie zeigten, wie auch schon bei Mampe et al. (2009) gezeigt, häufiger eine rechtsakzentuierte Kontur. Die bilingualen Säuglinge hingegen präferierten keine bestimmte Melodiekontur.

In einer weiteren cross-linguistischen Untersuchung verglich Dahlem (2008) die Schreie von japanischen ( $n = 47$ ) und deutschen ( $n = 43$ ) Säuglingen innerhalb der ersten Lebenswoche hinsichtlich ihrer Melodiekomplexität (Kapitel 7.5.2). Dabei zeigte sich, dass die Schreie der japanischen Neugeborenen einen etwas höheren – jedoch statistisch nicht signifikanten – MCI aufwiesen als die Schreie der deutschen Neugeborenen. Der arithmetische MCI-Mittelwert lag bei den japanischen Neugeborenen bei 0,41 (Median: 0,44), während er bei den deutschen Kindern bei 0,36 (Median: 0,31) lag. Es zeigte sich allerdings bei den japanischen Säuglingen eine signifikante Korrelation zwischen MCI und musikalischer Betätigung der Mütter während der Schwangerschaft. So produzierten die Säuglinge von Müttern, die während der Schwangerschaft musikalisch aktiv waren, mehr komplexe Melodien als Säuglinge, deren Mütter sich während der Schwangerschaft nicht musikalisch betätigt hatten. Darauf weisen auch die Ergebnisse des Vergleichs der Melodiestructuren von französischen Neugeborenen von musikalisch aktiven und musikalisch inaktiven Müttern hin (Schleicher, 2011).

Dahlem (2008) führt die Ergebnisse darauf zurück, dass die vom Fetus intrauterin wahrgenommene Musik einen Einfluss auf die Melodiebogenentwicklung hat. Demnach beeinflussen nicht nur die muttersprachliche Prosodie, sondern auch die musikalische Melodie die Schreimelodien von Neugeborenen. Die frühe Prägung der Schreie wäre demnach durch unterschiedliche Frequenzmodulationen zu erklären, unabhängig davon, ob diese sprachlicher oder musikalischer Natur sind.

## 4 Besonderheiten der schwedischen Prosodie im Vergleich zur deutschen

Die schwedische und die deutsche Sprache gehören beide zur Familie der germanischen Sprachen, was sich in Ähnlichkeiten im morpho-syntaktischen sowie im semantisch-lexikalischen Bereich widerspiegelt. So herrscht im Schwedischen wie im Deutschen eine Verbzweitstellung von finiten Verben in Aussagesätzen vor, die – anders als im Deutschen – auch für Nebensätze gilt (Braunmüller, 1999). Große Teile des schwedischen Wortschatzes sind mit dem deutschen verwandt (Braunmüller, 2004). Im Allgemeinen kann man also eine recht hohe Ähnlichkeit beider Sprachen feststellen, die sich mitunter sogar in der Möglichkeit der wörtlichen Übersetzung von Sprichwörtern manifestiert. Zum Beispiel heißt das Sprichwort „Morgenstund’ hat Gold im Mund“ auf Schwedisch übersetzt „Morgonstund har guld i mund“.

Auch im Hinblick auf prosodische Spracheigenschaften gibt es zwischen dem Schwedischen und dem Deutschen Übereinstimmungen. Beide Sprachen besitzen eine freie Wortbetonung<sup>10</sup>, die meist auf der Stammsilbe liegt (z. B. Bruce & Engstrand, 2006). So werden die meisten schwedischen sowie die meisten deutschen Wörter auf der ersten Silbe betont (z. B. Gårding, 1998, für Schwedisch und Ternes, 2012, für Deutsch).

Während die deutsche Sprache zu den *westgermanischen* Sprachen gehört, ist die schwedische Sprache den *nordgermanischen* Sprachen zuzuordnen. Eine Besonderheit der nordgermanischen Sprachen, zu denen auch das Norwegische und das Dänische

---

<sup>10</sup> In der deutschsprachigen Forschung werden die Begriffe *Betonung* und *Akzent* häufig synonym verwendet, wenn es darum geht, eine Hervorhebung einer Silbe auf Wortebene zu kennzeichnen, die – je nach Einzelsprache – durch eine Änderung von Grundfrequenz, Intensität und/oder Dauer gekennzeichnet werden kann (z. B. Pompino-Marschall, 2003). Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Einheitlichkeit wird hier in Anlehnung an die englischen Termini zwischen Wortbetonung („word stress“) und Wortakzent („word accent“) unterschieden (z. B. Bruce & Engstrand, 2006). So kann sowohl eine Änderung der Grundfrequenz als auch die Änderung der Intensität und der Dauer eine *Wortbetonung* kennzeichnen. Der Begriff *Wortakzent* wird hingegen verwendet, um eine ausschließlich tonale Bewegung auf Wortebene zu charakterisieren (z. B. Gussenhoven, 2004).

zählen, sind die zwei, zusätzlich zur Wortbetonung auftretenden, unterschiedlichen Wortakzente, die auf die altnordische Sprache (Old Norse) zurückgehen (Gårding, 1977, 1998). Der Beginn der Unterscheidung der Wortakzente wird unter anderem mit der Suffixierung des bestimmten Artikels<sup>11</sup> in Verbindung gebracht (Gårding, 1977). Im Schwedischen werden die Wortakzente Akzent I („akut accent“) und Akzent II („grav accent“) genannt (z. B. Bruce, 1977, Bruce & Engstrand, 2006), wobei der Akzent II häufig auch als *musikalischer* Akzent bezeichnet wird (Braunmüller, 1999).

Die Verteilung von Akzent I und Akzent II ist im modernen Schwedisch vom phonologischen und morphologischen Kontext abhängig (Gussenhoven, 2004)<sup>12</sup>. Der Hauptunterschied zwischen Akzent I und II liegt im zeitlichen Verlauf der Grundfrequenz. So besitzt der Akzent I meist nur einen Melodiegipfel, während sich der Akzent II durch zwei Melodiegipfel auszeichnet (Abbildung 3).

Die Anzahl der Melodiegipfel (ein oder zwei) sowie deren Positionen sind im Schwedischen dialektabhängig (Gårding, 1977). Die klassische Einteilung erfolgt in eingipflige („single-peaked“) – Gotland-Dala-Dialekt, Nord-, Süd- und Finnlandsschwedisch – und zweigipflige („double-peaked“) – Svea<sup>13</sup> und Göta<sup>14</sup> – Dialekttypen (Bruce, 2007). Während es im schwedischsprachigen Teil Finnlands keine Unterscheidung der Wortakzente gibt, findet im Nord- und Südschwedischen sowie im Dialekt der Region Gotland-Dala hingegen zwar eine Unterscheidung zwischen den Akzenten statt, jedoch besitzen beide Akzente jeweils nur einen Gipfel. Die jeweiligen einzelnen Gipfel unterscheiden sich ausschließlich im Timing (zeitlichen Verlauf) (z. B. Bruce, 2003; Samuelsson & Löfqvist, 2006). In den anderen dialektalen Regionen (Svea und Göta) zeichnet sich der Akzent I durch einen Gipfel und der Akzent II durch zwei Gipfel aus, das heißt, dass beim Akzent II die Grundfrequenz auf der folgenden unbetonten Silbe noch einmal steigt (Bruce,

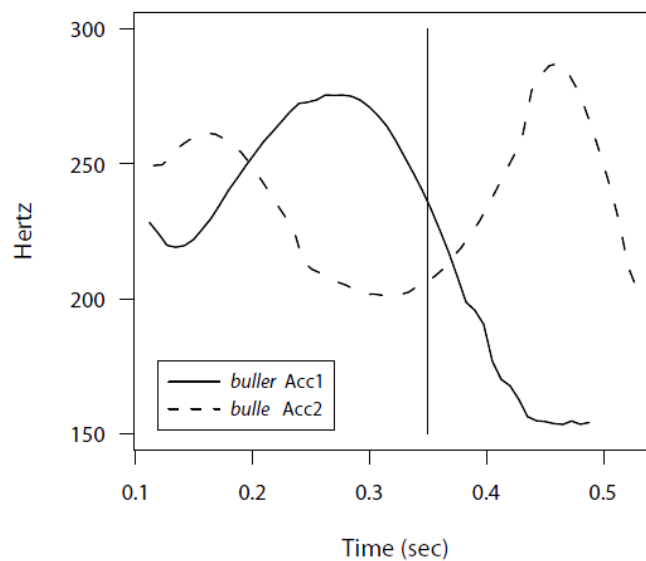
---

<sup>11</sup> Der bestimmte Artikel stand somit nicht mehr als freies Morphem vor dem Substantiv, sondern wurde an den Wortstamm angehängt.

<sup>12</sup> Eine genauere Beschreibung der Verteilung findet sich bei Bruce (1977) oder zusammenfassend bei Gussenhoven (2004).

<sup>13</sup> Stockholm-Schwedisch.

<sup>14</sup> Göteborg-Schwedisch.



**Abbildung 3: Grundfrequenzverlauf der schwedischen Wortakzente**

Quelle: Felder, Jönsson-Steiner, Eulitz & Lahiri, 2009; mit freundlicher Genehmigung von Springer Science and Business Media. – Grundfrequenzverlauf eines schwedischen Wortes mit Akzent I („bullen“; durchgezogene Linie) und eines Wortes mit Akzent II („bulle“; gestrichelte Linie), gesprochen von einem muttersprachlichen Stockholm-Schwedisch-Sprecher. Die senkrechte Linie markiert die Silbengrenze.

2003). Das phonetische Korrelat von Akzent II ist somit „a two-peaked fundamental frequency contour“ (Malmberg, 1963, zitiert nach Samuelsson & Löfqvist, 2006, S. 232).

Die Stadt Borås, in der die Daten für die vorliegende Arbeit erhoben wurden, gehört zu der Dialekt-Region „Göta“. Das bedeutet, dass sich hier die Wortakzente dadurch auszeichnen, dass Akzent I einen Peak in der *Post-stress*-Silbe<sup>15</sup> besitzt und Akzent II jeweils einen Gipfel in der betonten sowie einen Gipfel in der *Post-stress*-Silbe besitzt (Gårding, 1977, Abbildung 4).



**Abbildung 4: Schematische Darstellung des Grundfrequenzverlaufs der beiden schwedischen Wortakzente aus Borås**

Quelle: Meyer, 1954; mit freundlicher Genehmigung der Universität Stockholm. – Auf der linken Seite ist der Grundfrequenzverlauf von Akzent I dargestellt. Die rechte Seite zeigt den Grundfrequenzverlauf von Akzent II.

Auch innerhalb dieser dialektalen Region gibt es Unterschiede bezüglich des zeitlichen Verlaufs der Grundfrequenz bei den beiden Akzenten. So konnten neuere Ergebnisse von Segerup (2004) anhand der Aufnahmen von 5 Sprechern des Göteborg-Schwedischen zeigen, dass sowohl Akzent I als auch Akzent II eine zweigipflige Kontur aufweisen.

Die Grundfrequenz bzw. die Melodie nimmt also im Schwedischen sowie im Norwegischen eine herausragende Stellung ein, wenn es um die Unterscheidung der Wortakzente geht (Gårding, 1977). So konnte Fintoft (1970, zitiert nach Gårding, 1977) für das Norwegische zeigen, dass die Wortakzente auditiv unterschieden werden können, wenn die Sprachprobe einer Tiefpassfilterung unterzogen wurde und wenn die Intensitätsgipfel abgeschnitten wurden.

Zudem gibt es im Schwedischen einige hundert Minimalpaare, deren Bedeutung ausschließlich über das Vorhandensein von Akzent I oder Akzent II bestimmt wird,

---

<sup>15</sup> Die Silbe, die der betonten Silbe folgt.

was bedeutet, dass in diesen Fällen der Grundfrequenzverlauf bedeutungsunterscheidend ist (Elert, 1972). So bedeutet das Wort „anden“ mit Akzent I „die Ente“, aber mit Akzent II „der Geist“. Die schwedische Sprache zählt somit zu den *Tonakzentsprachen* („pitch accent languages“). Tonsprachen zeichnen sich dadurch aus, dass die Grundfrequenz bzw. der Grundfrequenzverlauf bedeutungsunterscheidend ist: „A language is a ‘tone language’ if the pitch of the word can change the meaning of the word. Not just its nuances, but its core meaning“ (Yip, 2002, S. 1). Dies trifft auch auf *Tonakzentsprachen* zu. Jedoch sind diese dadurch gekennzeichnet, dass sie nur eine kleine Anzahl an kontrastierenden Tönen (*lexical tones*) besitzen (Yip, 2002); im Schwedischen sind das, wie oben gezeigt, zwei tonale Wortakzente, die zusätzlich zur Wortbetonung auftreten (Bruce & Engstrand, 2006). Der tonale Wortakzent tritt im Schwedischen ausschließlich in Verbindung mit einer betonten Silbe auf (Gårding, 1977; Gussenhoven, 2004).

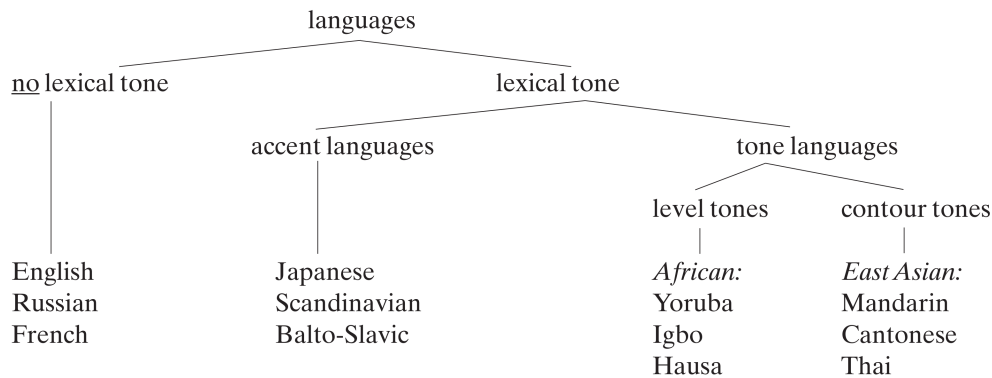
In fast allen anderen germanischen Sprachen, so auch im Deutschen, sowie in allen romanischen und auch in den slawischen Sprachen treten keine tonalen Wortakzente zusätzlich zur Intonation auf (Bruce & Engstrand, 2006). Sie werden daher *Intonationssprachen* genannt. Die Intonation oder auch (Sprech-)Melodie ist durch die Frequenzmodulation innerhalb einer Äußerung gekennzeichnet.<sup>16</sup> Diese Frequenzmodulation hat zwei Funktionen (Grice & Baumann, 2007): Hervorhebung und Phrasierung. Hervorhebung bedeutet, dass einzelne Silben oder Wörter hervorgehoben werden und somit deren Bedeutung fokussiert wird. Phrasierung bedeutet, dass Äußerungen in Phrasen unterteilt werden. Grice & Baumann (2007) bemerken zu den *Intonationssprachen*:

„In intonation languages (...) like English and German, pitch is solely a postlexical feature, i.e. it is only relevant at utterance level. All tone and pitch accent languages have intonation in addition to their lexical and/or grammatical tone, although the complexity of their intonation systems varies considerably.“ (Grice & Baumann, 2007, S. 34)

Welche Rolle spielen diese Wortakzente nun aber, wenn es darum geht, nicht nur isolierte Wörter, sondern Phrasen und Sätze wahrzunehmen?

---

<sup>16</sup> Eine breiter gefasste Definition von *Intonation* schließt auch die akustischen Parameter Intensität und Dauer sowie das Spektrum mit ein (z. B. Grice & Baumann, 2007). Im vorliegenden Kapitel liegt der Fokus jedoch ausschließlich auf der Frequenzmodulation.



**Abbildung 5: Verteilung von tonalen Wortakzenten am Beispiel von ausgewählten Sprachen**

Quelle: Bruce & Engstrand, 2006; mit freundlicher Genehmigung von De Gruyter. – Während die deutsche Sprache wie das Englische, das Französische und das Russische als Intonationssprache keine tonalen Wortakzente besitzt (linker Zweig) gehört Schwedisch mit den zwei unterschiedlichen Wortakzenten zu den Tonakzentsprachen (in der Abbildung unter *Scandinavian* zusammengefasst).

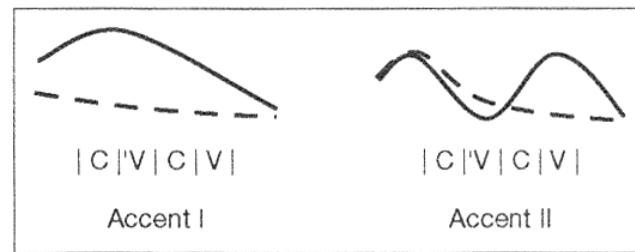
Laut Gussenhoven & Bruce (1999) können Intonation und Wortakzente auf der Äußerungsebene nicht getrennt voneinander betrachtet werden:

„(...) the role that lexical tones play in determining the shape of the pitch contours cannot be properly understood without studying the intonation. This is because in every utterance, even in a one-word utterance, part of the contour is determined by the lexical tone(s) and part by the postlexical tone(s).“ (Gussenhoven & Bruce, 1999, S. 234)

Am Beispiel des Stockholm-Schwedischen konnte Bruce (1977) zeigen, dass die tonale Ausführung der Wortakzente in engem Zusammenhang mit dem Satzakzent steht. So treten der charakteristische zweite Melodiegipfel des Akzents II und der einzelne Gipfel des Akzents I nur bei einer Fokussierung des Wortes auf. Der erste Gipfel des Akzents II tritt dahingegen unabhängig vom Satzakzent auf (Abbildung 6). Ota (2006) untersuchte den Grundfrequenzverlauf von Akzent-II-Wörtern während der kindgerichteten Sprache von Erwachsenen (*infant directed speech [IDS]*). Er fand heraus, dass, wenn das entsprechende Wort nicht im Fokus stand, die Grundfrequenz in der *Post-stress*-Silbe um durchschnittlich 30 Hz sank. Wenn hingegen das Wort im Fokus stand, stieg die Grundfrequenz oft sogar um mehr als 100 Hz. Dabei verweist Ota (2006) auf



Engstrand, Williams & Strömquist (1991), die dieses überhöhte Ansteigen der Melodie als typisch für die schwedische IDS sehen.



**Abbildung 6: Schematische Darstellung der schwedischen Wortakzente in fokaler und non-fokaler Position**

Quelle: Ota, 2006, Copyright © 2013, Karger Publishers, Basel, Schweiz. – Die Abbildung zeigt ein Schema der beiden schwedischen Wortakzente (Akzent I und Akzent II), einmal in fokaler Position (durchgezogene Linie) und einmal in nicht-fokaler Position (gestrichelte Linie).

Die im Vorangegangenen phonetisch beschriebenen Unterschiede zwischen der schwedischen und deutschen Prosodie führen dazu, dass sich beide Sprachmelodien auch aus der Perspektive der menschlichen Sprachwahrnehmung stark voneinander unterscheiden. So schreibt Lindqvist (2007):

„Auch wenn es durchaus schnell sprechende Schweden gibt, gilt für das Schwedische ein im Vergleich zum Deutschen langsames Sprechtempo (mit längeren Pausen) als noch unauffällig. In Verbindung mit den Tonhöhenverläufen der Akzente erhält das Schwedische somit eine prosodische Untermalung, die stark von der des Deutschen abweicht.“ (Lindqvist, 2007, S. 171)

Diese Unterschiede bezeichnet Lindqvist als „eher langsam-melodisch“ (Schwedisch) und „eher schnell-monoton“ (Deutsch) (Lindqvist, 2007, S. 2007).

Die unterschiedliche Wahrnehmung der prosodischen Eigenschaften der schwedischen und der deutschen Sprache scheint eher auf das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein der Wortakzente zurückzuführen sein als auf bedeutsame Unterschiede in der Intonation beider Sprachen. So konnte nämlich eine neuere Untersuchung von Ambrázaitis (2008) erste Hinweise darauf liefern, dass – entgegen früherer Forschungsergebnisse (z. B. Gussenhoven, 2004) – mehr Ähnlichkeiten zwischen den Intonationssystemen beider Sprachen bestehen als bisher angenommen.

Somit erscheinen die Wortakzente als das charakteristischste Merkmal der schwedischen Prosodie und dominieren nach Gårding (1998) den Gesamteindruck der Intonation:

„Typical of Swedish are the word accents. They cause the intonation to go up and down more often than it does in an intonational system like English for instance, which gives the language and its dialects some of their most striking melodic characteristics. (...) Although all these characteristics only have to do with the word level they seem to dominate the total impression of Swedish intonation.“ (Gårding, 1998, S. 127 f.)

## 5 Methodologie

Theoretische Grundlage der vorliegenden Arbeit ist die begründete Annahme, dass Neugeborene eine spezifische, angeborene Sensibilität für Melodie und Rhythmus besitzen (z. B. Nazzi et al., 1998; Trehub, 2003; Wermke & Mende, 2011). Infolge dieser angeborenen Sensibilität und der pränatalen Reife des peripheren und zentralen Hörsystems im letzten Trimester der Schwangerschaft zeigen Neugeborene erstaunliche Perzeptions- und Produktionsleistungen bezüglich bestimmter muttersprachlicher Prosodiecharakteristika (Kapitel 2.2 und 3.3). Dass sich bestimmte akustische Eigenschaften der muttersprachlichen Prosodie in den Schreimelodien von 1 Woche alten Neugeborenen widerspiegeln, wurde in vergleichenden Studien mit deutschen und französischen Probanden (Mampe et al., 2009) sowie französisch-monolingualen und französisch-bilingualen Probanden (Mampe, 2012) gezeigt. Ziel der vorliegenden explorativen empirischen Untersuchung war es, zu erforschen, ob sich die Schreimelodien schwedischer und deutscher Neugeborener unterscheiden und wenn ja, ob dies durch eine pränatale Prägung durch die Muttersprache erklärt werden kann.

Im Folgenden werden die methodologischen Überlegungen erläutert und kritisch reflektiert, die auf dieser Zielstellung basieren und die das Studiendesign begründen. Dabei liegen die Schwerpunkte auf der Wahl der Analyseparameter, der Sprachgruppen, der Kriterien für die Auswahl der Probanden sowie der Datenerhebungs- und Auswertemethoden.

**Analyseparameter** Die erste Wahrnehmung der Muttersprache erfolgt schon bei Feten während der Schwangerschaft über prosodische (rhythmisch-melodische) Sprachmerkmale. Durch die frühe Reife des peripheren und zentralen Hörsystems können Feten Elemente ihrer Muttersprache wahrnehmen (Kapitel 2.1.1). Dies sind vor allem prosodische Spracheigenschaften, die zum Fetus durchdringen, da die meisten segmentalen

Spracheigenschaften gedämpft werden (Kapitel 2.1.2). Lange bevor Kinder im Alter von ungefähr einem Jahr ihr erstes Wort äußern, können sie verschiedene Sprachen anhand von prosodischen Eigenschaften differenzieren (Kapitel 2.2), und auch ihre Vokalisationen sind sehr früh muttersprachlich geprägt (Kapitel 3.3). Wie in Kapitel 3.2 erläutert, ist bei Neugeborenen die für die spätere Artikulation benötigte supralaryngeale Koordination noch nicht reif, während die laryngeale Koordination bereits gut funktioniert. Laryngeale Prozesse, das heißt die Produktion von Melodie und Rhythmus, sind daher grundlegende Determinanten der frühkindlichen Lautproduktion: „The focus on the F0 is mainly justified by the dominance of laryngeal processes in early sound production“ (Wermke et al., 2002, S. 501). Die Forschungsergebnisse der Arbeitsgruppe von Wermke und Mende haben gezeigt, dass die Melodieentwicklung im Säuglingsschrei in den ersten Lebenswochen regelhaft verläuft und ein grundlegender Bestandteil der Entwicklung zur Sprachfähigkeit ist (z. B. Wermke, 2002; Wermke & Mende, 2011). Dabei verändert sich im Laufe der ersten Lebenswochen nicht nur die Komplexität der Melodien von einfachböigen bis hin zu mehrfachböigen Strukturen nach einem bestimmten Entwicklungsprogramm. Vielmehr wird dabei auch der Rhythmus durch laryngeale Schwingungspausen variiert. Die Variation von Melodie und Rhythmus, erzeugt durch laryngeale Anregungsprozesse, ist somit in den ersten Lebenswochen „(...) the only possible route by which the infant is able to acquire an easy-to-learn ‘protolanguage’ that bears the potential for ultimately developing a rich symbolic structure and unbounded complexity“ (Wermke & Mende, 2011, S. 641). Die Schreimelodie, das heißt die zeitliche Variation der Grundfrequenz, ist somit ein Schlüsselpararmer bei der Analyse von Säuglingsschreien (Wermke, 2002) und somit auch primärer Analyseparameter in der vorliegenden Arbeit.

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, wurde bereits in vorangegangenen Studien der Frage nachgegangen, ob die Schreimelodien von 1 Woche alten Neugeborenen durch die pränatal gehörte Muttersprache geprägt sein könnten. In den Arbeiten von Mampe (Mampe et al., 2009; Mampe, 2012) wurde dabei die Auswirkung der pränatalen Sprachumgebung auf die Melodie*kontur* von französischen bzw. französisch-„bilingualen“ einfachböigen Neugeborenenerschreien untersucht (siehe auch Kapitel 9). In einer früheren Studie untersuchte Dahlem (2008), ob sich der von Wermke et al. (2007) eingeführte Melodie-

komplexitätsindex (MCI) japanischer Neugeborener vom MCI deutscher Neugeborener unterscheidet. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant, jedoch konnte Dahlem (2008) zeigen, dass diejenigen japanischen Neugeborenen, deren Mütter während der Schwangerschaft musikalisch aktiv waren, einen höheren MCI aufwiesen als die Neugeborenen, bei denen dies nicht der Fall war. Diese Vorarbeiten führten zu der Fragestellung der vorliegenden Studie: Unterscheiden sich die Melodien von Neugeboreneneschreien hinsichtlich ihrer *Komplexität*, wenn die jeweils pränatal gehörten Muttersprachen sich durch bestimmte prosodische Eigenschaften unterscheiden?

Dazu wurden neben der Berechnung des MCI auch melodische und zeitliche Parameter der Schreie quantitativ bestimmt (Kapitel 7.5.3), die einen Hinweis auf medizinische Auffälligkeiten der Neugeborenen geben können, um diese als Ursache für potenzielle Unterschiede ausschließen zu können (Kapitel 3.2). Wenn sich die beiden Probandengruppen nicht hinsichtlich dieser Parameter unterscheiden, können mögliche Unterschiede hinsichtlich des MCI also nicht auf einen unterschiedlichen Gesundheits- bzw. Reifezustand zurückzuführen sein.

**Sprachgruppen** Wie in Kapitel 4 gezeigt, gehören die Sprachen Schwedisch und Deutsch zur Familie der germanischen Sprachen. Sie weisen Ähnlichkeiten in den Bereichen Morphologie, Syntax und Wortschatz auf. Ordnet man sie in das Rhythmusklassenmodell ein, gehören beide Sprachen zu den akzentzählenden Sprachen (Kapitel 2.2). Im Bereich der Prosodie findet sich jedoch ein charakteristischer Unterschied. Durch die Unterscheidung der zwei Wortakzente im Schwedischen erhält die schwedische Sprache eine Prosodie, die durch stärkere Frequenzmodulationen geprägt ist als die Prosodie der deutschen Sprache (Kapitel 4). Zieht man das Schwedische und das Deutsche heran, um den Einfluss der Muttersprache auf die frühesten Lautäußerungen Neugeborener zu untersuchen, werden also zwei Sprachen gegenübergestellt, die auf segmentaler Ebene zwar viele Ähnlichkeiten aufweisen, auf suprasegmentaler Ebene jedoch stark differieren. So gehört das Schwedische zu den wenigen Tonakzentsprachen, während das Deutsche den Intonationssprachen zuzuordnen ist (Kapitel 4). Wenn sich bestimmte akustische Eigenschaften der schwedischen und deutschen Neugeboreneneschreie statistisch signifikant voneinander unterscheiden sollten und zugleich

davon ausgegangen wird, dass dies auf eine pränatale Erfahrung der Muttersprache zurückzuführen sein könnte, könnte dieser Unterschied auf die prosodischen Sprachunterschiede der Muttersprachen zurückgeführt werden. Diese Überlegungen haben dazu geführt, als Sprachgruppen Schwedisch und Deutsch auszuwählen.

Bei der Wahl der Sprachgruppen ist allerdings zu berücksichtigen, dass allein aufgrund der Auswahlkriterien „schwedische Muttersprache“ und „deutsche Muttersprache“ nicht von homogenen Einflussfaktoren ausgegangen werden kann, da diese Kriterien dialektale Variationen einschließen. Wie in Kapitel 4 erläutert, gibt es im Schwedischen dialektale Unterschiede bezüglich der Verteilung und Realisierung der beiden Wortakzente. Die Erhebung der schwedischen Daten erfolgte zwar nur an einem Ort (Borås) und somit innerhalb einer Dialektregion. Dadurch können aber nicht automatisch exakte Angaben über die tatsächlichen Dialektausprägungen der mütterlichen Sprechweise gemacht werden. Eine Möglichkeit der Erhebung dieses Einflussfaktors wäre gewesen, die Mütter mithilfe eines Fragebogens ihren eigenen Dialekt einschätzen zu lassen. Es ist allerdings mehr als fraglich, ob auf diese Weise zuverlässige Aussagen gewonnen worden wären, da für die Fragestellung der vorliegenden Untersuchung die dialektalen Variationen bezüglich des Wortschatzes keine Relevanz besitzen, sondern nur der prosodische Dialekt. Dieser ist aber selbst schwer einzuschätzen. Auch eine Abfrage des Dialektes über den Geburts- oder Wohnort wäre unzureichend gewesen, da der Dialekt nicht allein aufgrund von geografischen Angaben ermittelt werden kann. Die einzig wissenschaftlich sinnvolle Methode wäre eine signalanalytische Untersuchung von Sprachproben aller Mütter hinsichtlich prosodischer Aspekte gewesen. Eine solche Analyse konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht realisiert werden, da sie für die Mütter beider Probandengruppen hätte durchgeführt werden müssen. Die Aufnahmen der deutschen Kontrollgruppe lagen allerdings im Archiv des ZVES bereits vor. Diese deutschen Daten waren im Rahmen der „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“ (Kapitel 7) erhoben worden, wobei die Sprachen der Eltern mithilfe eines Fragebogens ermittelt worden waren. Aus diesem Grund wurde so auch bei der Datenerhebung in Schweden vorgegangen.

**Auswahl der Probanden** Der vorliegenden Arbeit liegen die Fragen zugrunde, ob sich die Schreimelodieeigenschaften der schwedischen und deutschen Probanden voneinander unterscheiden und ob ein potenzieller Unterschied auch durch eine pränatale Prägung erklärt werden könnte.

Die Aufnahme der Daten musste demnach möglichst zeitnah nach der Geburt erfolgen. Direkt nach der Geburt haben die meisten Neugeborenen jedoch noch Reste von Amnionflüssigkeit in Larynx und Luftröhre; zudem weisen Neugeborenen schreie zu diesem Zeitpunkt, bedingt durch eine noch instabile laryngo-respiratorische Kontrolle, vermehrt Instabilitäten auf, die sich zum Beispiel in phonatorischen Rauschbänden äußern (Kapitel 3.2). Lautaufnahmen, die eine stabile Melodieanalyse erlauben, erhält man daher meist erst nach einem Zeitraum von ca. 48 Stunden nach der Geburt. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausschließlich Spontanschreie aufgenommen werden sollten (Kapitel 3.2 und 7.3), war zu erwarten, dass pro Aufnahmezeitpunkt oft nur eine geringe Anzahl an Schreien erhoben werden kann. Deshalb wurde angestrebt, möglichst von jedem Kind mindestens zwei Lautaufnahmen in der ersten Lebenswoche durchzuführen. Ein mögliches Widerspiegeln von Elementen der muttersprachlichen Prosodie in den Melodien der Neugeborenen schreie kann möglicherweise auch auf die – wenn auch nur sehr kurze – postnatale Erfahrung mit der Muttersprache zurückzuführen sein. Dies scheint in Anbetracht des Verhältnisses von 3 Monate andauernder intrauteriner Erfahrung zu wenige Tage andauernder extrauteriner Erfahrung allerdings sehr unwahrscheinlich, auch wenn es nicht ausgeschlossen werden kann.

In Kapitel 3.2 wurde aufgezeigt, dass die mittlere Grundfrequenz und ihre Variation in den Schreien Neugeborener durch den medizinischen und neurologischen Zustand beeinflusst werden können. Um medizinische Risikofaktoren ausschließen zu können, die einen Einfluss auf die Schreimelodie haben könnten, wurden relevante Kriterien für die Auswahl der Probanden aufgestellt, die ausführlich in Kapitel 7.1 dargestellt sind.

**Aufnahme und Analyse der Neugeborenen schreie** In Kapitel 3.2 wurde die Unterscheidung zwischen Schmerz- und Spontanschrei bereits erläutert. In der medizinischen Schreiforschung werden vorrangig Schmerzscreie untersucht. Der Vorteil der Erhebung von Schmerzscreien besteht darin, dass der Auslöser des Schreis bis zu ei-

nem gewissen Grad standardisiert werden kann. So können zum Beispiel die Schreie erhoben werden, die im Rahmen eines routinemäßigen Screenings, bei dem Blut aus der Ferse entnommen wird, erfolgen. Dabei ist der Auslöser für das Schreien mit hoher Wahrscheinlichkeit der schmerzhaft Stimulus. Spontanschreie zeigen keinen ursächlichen Zusammenhang mit akutem Schmerz. Sie sind Ausdruck negativer Emotionen, die auf Hunger oder Unwohlsein beruhen. Damit sind sie affektiv verschieden von herkömmlich in der Forschung untersuchten Schmerzscreien, wo sie durch äußere Stimuli elizitiert werden.

Dass im Rahmen der vorliegenden Untersuchung Spontanschreie verwendet wurden, hat folgende Gründe: Typische Schmerz- und Spontanschreie unterscheiden sich voneinander hinsichtlich bestimmter melodischer und zeitlicher Parameter (Kapitel 3.2). So beeinflusst die Schreieursache „Schmerz“ zum Beispiel die relativen Auftretenshäufigkeiten der Melodietypen; es konnte zum Beispiel beobachtet werden, dass durch Schmerz ausgelöste Schreie häufiger dem Melodietyp 1 zuzuordnen sind (Wermke & Mende, 2011). Schmerzscreie zeigen ausgeprägte kurzzeitige Frequenzmodulationen (vibratoähnliche Phänomene) und Rauschphänomene, die eine Melodieanalyse erheblich erschweren. Auch in Spontanschreien können Instabilitäten wie plötzliche Frequenzsprünge oder phonatorisches Rauschen auftreten (Kapitel 3.2). Da bei diesen Schreien keine Melodiestructur auswertbar ist, müssen sie von der Analyse ausgeschlossen werden.

Die Aufnahme von Spontanschreien ist zeitaufwändiger und weniger standardisiert als die Aufnahme von Schmerzscreien. Jedoch sind Spontanschreie in ihrer Intensität deutlich abgemindert und werden deshalb auch als mitigierte Schreie bezeichnet; ihr emotionaler Ausdrucksgehalt ist größer und ihre kommunikative Wirkung in der Interaktion differenzierter (Wermke, 2002).

Neben den interindividuellen Unterschieden bezüglich der akustischen Eigenschaften einzelner Schreie unterscheiden sich Neugeborene auch hinsichtlich des Schreiverhaltens, das heißt der Häufigkeit und Dauer des Schreiens. Daraus folgt, dass die Anzahl der Lautäußerungen sehr stark zwischen den Probanden variieren kann. Dies führt in der statistischen Analyse dazu, dass Probanden mit einer größeren Anzahl an Schreien einen stärkeren Effekt auf das Gruppenergebnis ausüben als Probanden mit einer ge-



ringeren Schreianzahl. Eine Möglichkeit, dies zu vermeiden, wäre gewesen, von jedem Kind eine feste Anzahl von Schreien für die Analyse heranzuziehen. Schreie, die über diese Grenze hinaus erhoben wurden, wären dann allerdings für die Analyse verloren gegangen. Um Schwankungen bezüglich der Anzahl der Schreie pro Kind zu berücksichtigen und „Kindeffekte“ von „Gruppeneffekten“ zu trennen, erfolgte die statistische Auswertung der quantitativen melodischen und zeitlichen Parameter daher mithilfe einer von einem Statistiker speziell für diese Auswertung entwickelten statistischen Analyse (Mixed-Model Nested ANOVA). So konnte die Auswertung auf Basis aller Schreie erfolgen (Kapitel 7.5.4). Beim Vergleich der Melodiekomplexitätsindizes (MCI) wurde dieser Test nicht angewandt, da für jeden Probanden genau ein MCI berechnet wurde und somit keine „Kindeffekte“ zum Tragen kommen. Deshalb wurde hierbei eine inferenzstatistische Analyse mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt.

## 6 Hypothesen

Auf Basis der vorangegangenen theoretischen Ausführungen liegen der Arbeit die folgenden Hypothesen zugrunde.

Die Grundfrequenz und ihre Variation sowie zeitliche Eigenschaften der Schreie sind sensible Indikatoren für Dysfunktionen der Mechanismen, die der Lautproduktion bei Neugeborenen zugrunde liegen (z. B. Rapisardi et al., 1989, Kapitel 3.2). Da keines der hier untersuchten Neugeborenen medizinische Auffälligkeiten aufweist, sollten sich die Schreie der Neugeborenen hinsichtlich dieser Parameter nicht unterscheiden.

HYPOTHESE 1: Die Schreie der schwedischen und deutschen Neugeborenen unterscheiden sich nicht hinsichtlich der *mittleren Grundfrequenz* und der *Frequenzmodulationsamplitude (FM-Amplitude/Hub)* sowie hinsichtlich des zeitlichen Parameters *Einzelstreilänge*.

Säuglingsschreie weisen eine einem angeborenen Programm folgende kontinuierliche, unidirektionale Entwicklung von einfachen zu komplexen Melodien auf, die bei Säuglingen aller Kulturen universell abläuft (z. B. Wermke & Mende, 2006; Wermke & Mende, 2011; Wermke, 2011b, Kapitel 3.3). Laut Wermke & Mende (2011) weisen im Durchschnitt 67 % der Säuglingsschreie innerhalb der ersten Lebenswoche einfachböigige Melodien auf. Es wird daher erwartet, dass einfachböigige Melodiestructuren sowohl bei der schwedischen als auch bei der deutschen Probandengruppe den größten Anteil innerhalb der Schreistrukturen ausmachen.

HYPOTHESE 2: Die Mehrzahl der schwedischen und der deutschen Schreimelodien lässt sich der Kategorie *Einfachbogen* zuordnen.

Feten weisen eine angeborene Sensibilität für die prosodischen Eigenschaften ihrer Muttersprache auf. Durch die frühe Reife des peripheren und zentralen Hörsystems

## 6 Hypothesen

und die Besonderheiten der intrauterinen Umgebung für das Hören (Kapitel 2.1) verfügen sie bereits direkt nach der Geburt über bemerkenswerte perzeptive und produktive prosodierelevante Leistungen bezüglich der Muttersprache. Vorhergehende Studien haben gezeigt, dass bei 1 Woche alten Neugeborenen die Schreimelodiekonturen durch die pränatal gehörte Muttersprache geprägt sind (Mampe et al., 2009; Mampe, 2012) bzw. die Komplexität der Schreimelodien von Neugeborenen, deren Mütter in der Schwangerschaft musikalisch aktiv waren, höher ist als bei Neugeborenen, deren Mütter nicht musikalisch aktiv waren (Dahlem, 2008) (Kapitel 3.3). Da sich die Prosodie der Sprachen Schwedisch und Deutsch dahingehend unterscheiden, dass die schwedische Prosodie – bedingt durch die zwei unterschiedlichen Wortakzente – durch stärkere Frequenzmodulationen geprägt ist als die deutsche (Kapitel 4), wird erwartet, dass sich dieser Unterschied im Melodiekomplexitätsindex (MCI) der schwedischen und deutschen Neugeborenen schreie widerspiegelt.

HYPOTHESE 3: Die Schreie der schwedischen Neugeborenen weisen einen höheren Melodiekomplexitätsindex (MCI) auf als die Schreie der deutschen Neugeborenen.

## 7 Material und Methoden

In der vorliegenden Querschnittstudie wurden die akustischen Eigenschaften spontaner Lautäußerungen (Schreie) von schwedischen und deutschen Neugeborenen hinsichtlich ihrer sprachrelevanten Besonderheiten mithilfe signalanalytischer Methoden untersucht. Die Durchführung der Studie wurde durch eine Kooperation des Zentrums für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen des Universitätsklinikums Würzburg (ZVES; Leitung: Prof. Dr. Kathleen Wermke) mit dem Lehrstuhl für Sprachheilpädagogik der Universität Würzburg (Prof. Dr. Detlef Hansen) und dem Department of Social and Behavioural Studies der Högskolan Väst in Trollhättan/Schweden (Prof. Soly Erlandsson) ermöglicht. Die Lautaufnahmen der schwedischen Probanden wurden von der Verfasserin der vorliegenden Arbeit im Zeitraum von Juni bis August 2010 am Södra Älvsborgs Sjukhus in Borås/Schweden durchgeführt. Die Lautaufnahmen der deutschen Probandengruppe wurden im Rahmen von Kathleen Wermkes Teilprojekt „Normale und gestörte Sprachentwicklung – Sprachproduktion“ der „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“<sup>17</sup> im Zeitraum von Januar 2001 bis Februar 2003 an der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin Lindenhof in Berlin erhoben und lagen bereits im Archiv des ZVES vor. Die Aufbereitung und die Analyse der schwedischen und deutschen Lautaufnahmen fanden im Signalanalytelabor des ZVES statt, da dort das technische Equipment und die spezielle Analysesoftware zur Verfügung stehen.

Die Durchführung der Studie wurde von der regionalen Ethikkommission in Göteborg/Schweden (Projekt „Infant Cry Melody“, Nr. 350-10) bewilligt.

---

<sup>17</sup> <http://glad-study.cbs.mpg.de/>

## 7.1 Auswahlkriterien der Probanden

Für die vorliegende explorative Untersuchung wurden ausschließlich eutrophe Neugeborene ohne prä- und postnatale medizinische Auffälligkeiten ausgewählt. Somit konnten eine homogene Probandengruppe gewährleistet und Risikofaktoren ausgeschlossen werden, die bestimmte Schreieigenschaften von Neugeborenen beeinflussen können (Kapitel 3.2). Folgende Auswahlkriterien wurden der Probandenauswahl zugrunde gelegt:

- kontrollierte Schwangerschaft mit unauffälligem Verlauf
- Spontangeburt oder primäre Sectio (mütterliche Indikation oder Fehllage des Kindes)
- Gestationsalter zwischen 37 und 42 vollendeten Schwangerschaftswochen (termingeboren nach Speer & Gahr, 2001)
- AGA-Säuglinge (eutroph)<sup>18</sup>
- APGAR-Werte: 5'  $\geq$  8 und 10'  $\geq$  9
- unauffällige neurologische Erstuntersuchung
- Nabelschnur-pH-Wert  $> 7,20$
- Basenexzess (BE)  $> -10$  und  $< 10$  mmol/l
- Bilirubin  $< 360$   $\mu\text{mol/l}$  (Ausschluss einer Hyperbilirubinämie)
- p-gl  $> 2,6$  (Ausschluss einer Hypoglykämie)
- kein Verdacht auf Syndrome
- otoakustische Emissionen (OAE) auf beiden Ohren ableitbar
- schwedische/deutsche Nationalität beider Elternteile und Schwedisch/Deutsch als einzige zu Hause gesprochene Sprache

---

<sup>18</sup> Grundlage dafür bildeten die in der jeweiligen Geburtsklinik verwendeten Perzentilkurven.

## 7.2 Schwedische und deutsche Probanden

Insgesamt wurden Lautaufnahmen von 94 schwedischen Neugeborenen gemacht. Vor- ausgehend wurden die Eltern der Neugeborenen von der Verfasserin der vorliegenden Arbeit mündlich und schriftlich über die Studie informiert. Darüber hinaus unterzeichneten alle Eltern eine Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie. Des Weiteren wurden die Mütter in Form eines Fragebogens über die während der Schwangerschaft gesprochene(n) Sprache(n) befragt (siehe Anhang). Von 11 Neugeborenen bilingualer Mütter bzw. monolingualer Mütter, die während der Schwangerschaft viel in einer Fremdsprache gesprochen hatten, wurden zwar Lautaufnahmen angefertigt, diese wurden jedoch nicht in die Analyse der vorliegenden Studie eingeschlossen. Im Nachhinein mussten die Aufnahmen von 2 hypertrophen Neugeborenen und von 2 von einer Hyperbilirubinämie sowie von 3 von einer Hypoglykämie betroffenen Neugeborenen von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden, da der Zugang zu den medizinischen Daten der Probanden erst einige Wochen nach Beginn der Datenerhebung möglich war. Die Aufnahmen von weiteren 11 Neugeborenen wurden nicht analysiert, da sie entweder zu wenig verwertbare Lautäußerungen (Schreie) beinhalteten oder durch viele Nebengeräusche (Gespräche von Eltern/Klinikpersonal, technische Geräte) eine zu schlechte Qualität aufwiesen. Die Aufnahmen weiterer 13 Kinder wurden von der Analyse ausgeschlossen, da ihre Schreie einen hohen Rauschanteil aufwiesen (Kapitel 7.5.1). Somit ergab sich eine Stichprobengröße von 52 schwedischen Säuglingen, die sich in 22 männliche und 30 weibliche Probanden aufteilt (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Schwedische Probanden**

Kind	Geschlecht	vSSW	Anthropometrische Daten bei der Geburt			
			Gewicht (g)	Länge (cm)	Kopfumfang (cm)	LGG (g/cm)
AA	w	39	3300	50	34,0	66,0
AB	w	38	3550	51	35,0	69,6
AC	m	40	4230	52	35,0	81,4
AF	w	39	3190	49	35,0	65,1
AG	m	41	4140	49	38,0	84,5
AI	m	41	3970	51	38,0	77,8
AJ	m	42	4620	56	39,0	82,5
AK	w	41	3740	52	34,0	71,9

7 Material und Methoden

Kind	Geschlecht	vSSW	Anthropometrische Daten bei der Geburt			
			Gewicht (g)	Länge (cm)	Kopfumfang (cm)	LGG (g/cm)
AM	w	39	4010	52	35,0	77,1
AN	m	41	3430	53	34,0	64,7
AQ	w	40	3170	49	34,2	64,7
AT	w	40	2790	48	33,0	58,1
AV	m	39	3810	51	35,5	74,7
AW	m	41	3860	51	37,0	75,7
AX	w	39	3610	50	34,5	72,2
AY	w	38	3520	50	36,0	70,4
AZ	w	41	3650	50	34,0	73,0
BD	w	40	4120	50	34,0	82,4
BE	w	38	3550	49	36,0	72,5
BG	w	40	3450	50	36,0	69,0
BH	w	38	2700	48	33,5	56,3
BI	w	40	4090	50	34,5	81,8
BJ	w	40	4260	52	36,0	81,9
BK	m	39	3990	54	35,0	73,9
BL	w	41	4150	52	35,0	79,8
BN	m	39	3660	52	37,0	70,4
BO	m	38	2880	48	33,5	60,0
BQ	m	40	3790	51	34,0	74,3
BR	m	40	3760	52	37,0	72,3
BU	w	40	3910	51	34,0	76,7
BX	w	42	3870	51	36,0	75,9
CD	w	39	3290	49	34,0	67,1
CG	w	38	3910	52	36,0	75,2
CH	m	41	3270	51	36,0	64,1
CK	w	40	3380	51	34,0	66,3
CP	m	41	3830	54	35,0	70,9
CQ	w	40	3820	51	34,5	74,9
CR	m	40	4560	51	37,0	89,4
CS	m	39	4270	52	37,0	82,1
CU	m	40	3630	50	35,0	72,6
CV	w	41	4400	53	36,0	83,0
CW	w	41	3850	49	37,0	78,6
CY	m	40	3720	54	35,0	68,9
DF	m	37	3250	49	33,0	66,3
DG	w	38	2750	45	33,0	61,1
DH	m	41	4060	51	35,5	79,6
DI	m	40	3940	55	36,0	71,6
DJ	w	39	4110	51	34,0	80,6
DK	w	41	3700	51	34,5	72,6
DM	w	40	3620	50	35,0	72,4
DN	m	39	3950	51	34,0	77,5

## 7 Material und Methoden

Kind	Geschlecht	vSSW	Anthropometrische Daten bei der Geburt			
			Gewicht (g)	Länge (cm)	Kopfumfang (cm)	LGG (g/cm)
DP	w	40	3590	50	36,0	71,8

Die deutsche Probandengruppe wurde nach den in Kapitel 7.1 genannten Auswahlkriterien aus dem Archiv des ZVES zusammengestellt (Tabelle 3) und besteht aus insgesamt 79 Probanden, zusammengesetzt aus 38 weiblichen und 41 männlichen Probanden<sup>19</sup>.

**Tabelle 3: Deutsche Probanden**

Kind	Geschlecht	vSSW	Anthropometrische Daten bei der Geburt			
			Gewicht (g)	Länge (cm)	Kopfumfang (cm)	LGG (g/cm)
AB	m	40	2710	51	31,0	53,1
AC	m	41	3215	49	35,3	65,1
AD	w	39	3100	51	35,0	60,8
AR	w	40	3600	51	33,5	70,6
AT	w	41	4195	54	36,0	77,7
AU	w	39	3200	52	32,0	61,5
AX	w	39	3790	55	36,0	68,9
BA	w	40	3950	53	37,0	74,5
BC	m	40	3890	53	37,0	73,1
BD	w	41	3170	51	34,5	62,2
BI	w	39	3610	55	36,0	65,6
BQ	w	40	3070	51	32,0	60,2
BR	m	38	3670	52	36,0	70,6
BV	w	41	3805	51	35,0	74,6
BZ	m	40	3795	51	37,5	74,4
CB	m	40	3410	53	35,0	64,3
CD	m	41	3310	52	35,0	63,7
CF	w	41	4110	55	36,5	74,7
CG	m	39	3300	53	37,0	62,3
CH	m	38	3280	52	35,0	63,1
CI	m	38	3140	51	35,0	61,6
CN	m	40	3435	54	37,0	63,6
CS	w	40	3205	52	33,0	61,6
CV	w	38	3310	51	35,4	65,5
CW	w	39	3435	51	35,0	67,4
CY	m	39	3330	48	35,0	69,4
DB	m	38	3010	51	34,0	59,0

<sup>19</sup> Die anthropometrischen Daten der deutschen Probanden wurden freundlicherweise von Prof. Dr. Volker Hesse von der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin Lindenhof in Berlin zur Verfügung gestellt.



7 Material und Methoden

Kind	Geschlecht	vSSW	Anthropometrische Daten bei der Geburt			
			Gewicht (g)	Länge (cm)	Kopfumfang (cm)	LGG (g/cm)
DC	m	39	3120	49	34,0	63,7
DD	w	41	3890	52	38,0	74,8
DF	m	40	3290	50	36,0	65,8
DG	w	38	3350	50	33,5	67,0
DH	m	39	3300	54	33,0	61,1
DJ	w	39	3450	51	36,0	67,7
DK	m	41	3305	49	36,0	67,5
DL	m	38	3085	52	34,0	59,3
DO	m	40	3900	55	36,0	70,9
DQ	w	41	3965	53	35,0	74,8
DR	m	40	3890	53	36,0	73,4
DV	w	41	3900	54	36,0	72,2
DW	w	39	3345	51	33,0	65,6
DY	m	39	3630	52	35,0	69,8
DZ	w	39	2860	48	33,0	59,6
EE	w	39	3400	52	34,0	65,4
EF	w	40	3050	51	35,5	59,8
EH	m	38	3060	48	36,0	63,8
EI	m	40	3175	52	34,0	61,1
EL	w	38	3210	50	36,0	64,2
EO	m	40	4080	55	38,0	74,2
EQ	m	39	3550	53	34,0	67,0
FA	m	40	3510	51	35,0	68,8
FB	m	41	3610	53	36,0	68,1
XF	m	41	4200	56	36,0	75,0
XA	w	39	3250	52	34,0	62,5
FG	w	39	3230	53	33,0	60,9
XN	w	40	3260	49	34,5	66,5
XB	w	41	4160	54	37,0	77,0
FK	m	39	3570	52	35,0	68,7
FM	w	40	3260	52	33,0	62,7
XO	w	39	3175	52	34,0	61,1
XQ	w	39	2870	50	34,0	57,4
FP	w	39	3250	51	32,5	63,7
FQ	w	40	3240	51	34,5	63,5
FR	m	40	3430	50	35,0	68,6
FS	m	39	3980	53	36,5	75,1
FT	m	39	3035	52	34,0	58,4
FU	m	39	3220	51	34,0	63,1
FX	w	40	3095	51	33,5	60,7
FY	m	38	3275	53	35,0	61,8
FZ	m	41	3640	53	36,0	68,7
GG	w	40	3215	49	35,0	65,6

Kind	Geschlecht	vSSW	Anthropometrische Daten bei der Geburt			
			Gewicht (g)	Länge (cm)	Kopfumfang (cm)	LGG (g/cm)
GK	m	40	3075	50	35,0	61,5
GM	m	39	3890	54	36,0	72,0
GO	w	38	3380	51	35,0	66,3
GR	w	37	2885	51	34,0	56,6
GS	w	38	3585	53	35,0	67,6
GU	m	39	3000	52	34,0	57,7
GV	m	40	4110	53	37,0	77,6
GW	m	38	3100	50	36,0	62,0
GZ	m	40	3870	55	35,0	70,4

Tabelle 4 gibt die jeweiligen Mittelwerte mit Standardabweichungen sowie die Minima und Maxima von Gestationsalter und anthropometrischen Daten beider Probandengruppen an.

**Tabelle 4: Lage- und Streuungsmaße von Gestationsalter und anthropometrischen Daten der schwedischen und deutschen Probandengruppe**

	Schwedisch			Deutsch		
	gesamt <i>n</i> = 52	weiblich <i>n</i> = 30	männlich <i>n</i> = 22	gesamt <i>n</i> = 79	weiblich <i>n</i> = 38	männlich <i>n</i> = 41
vSSW						
<i>M</i> ± <i>SD</i>	39,8 ± 1,1	39,7 ± 1,2	40,0 ± 1,1	39,5 ± 1,0	39,5 ± 1,1	39,5 ± 1,0
<i>Min</i> – <i>Max</i>	37–42	38–42	37–42	37–41	37–41	38–41
Gewicht (g)						
<i>M</i> ± <i>SD</i>	3724 ± 434	3635 ± 435	3846 ± 410	3433 ± 360	3416 ± 364	3449 ± 359
<i>Min</i> – <i>Max</i>	2700–4620	2700–4400	2880–4620	2710–4200	2860–4195	2710–4200
Länge (cm)						
<i>M</i> ± <i>SD</i>	50,9 ± 1,9	50,2 ± 1,6	51,7 ± 2,0	51,8 ± 1,8	51,7 ± 1,7	52,0 ± 1,9
<i>Min</i> – <i>Max</i>	45–56	45–53	48–56	48–56	48–55	48–56
KU (cm)						
<i>M</i> ± <i>SD</i>	35,2 ± 1,4	34,8 ± 1,0	35,8 ± 1,6	35,0 ± 1,4	34,6 ± 1,4	35,3 ± 1,4
<i>Min</i> – <i>Max</i>	33,0–39,0	33,0–37,0	33,0–39	31,0–38,0	32,0–38,0	31,0–38,0
LGG (g/cm)						
<i>M</i> ± <i>SD</i>	73,1 ± 7,1	72,3 ± 7,1	74,3 ± 7,2	66,2 ± 5,6	66,0 ± 5,7	66,3 ± 5,6
<i>Min</i> – <i>Max</i>	56,3–89,4	56,3–83,0	60,0–89,4	53,1–77,7	56,6–77,7	53,1–77,6

Da zwischen Geburtsgewicht und -länge bei Neugeborenen eine lineare Korrelation besteht, eignet es sich für die somatische Klassifikation von Neugeborenen, das längenbezogene Geburtsgewicht (LGG) – als Quotient aus Gewicht und Länge – zu ermitteln (Voigt, 1994, zitiert nach Schneider, 2002). Der Tabelle 4 ist zu entnehmen, dass das arithmetische Mittel des LGG bei den schwedischen Probanden um 6,9 g/cm höher liegt als bei den deutschen Probanden. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ( $p < .0000001$ ). Auch der geschlechtsspezifische Vergleich zeigt, dass die schwedischen weiblichen bzw. schwedischen männlichen Probanden ein signifikant höheres LGG aufweisen als die deutschen weiblichen bzw. deutschen männlichen (weiblich:  $p = .0003$ , männlich:  $p < .0001$ ).

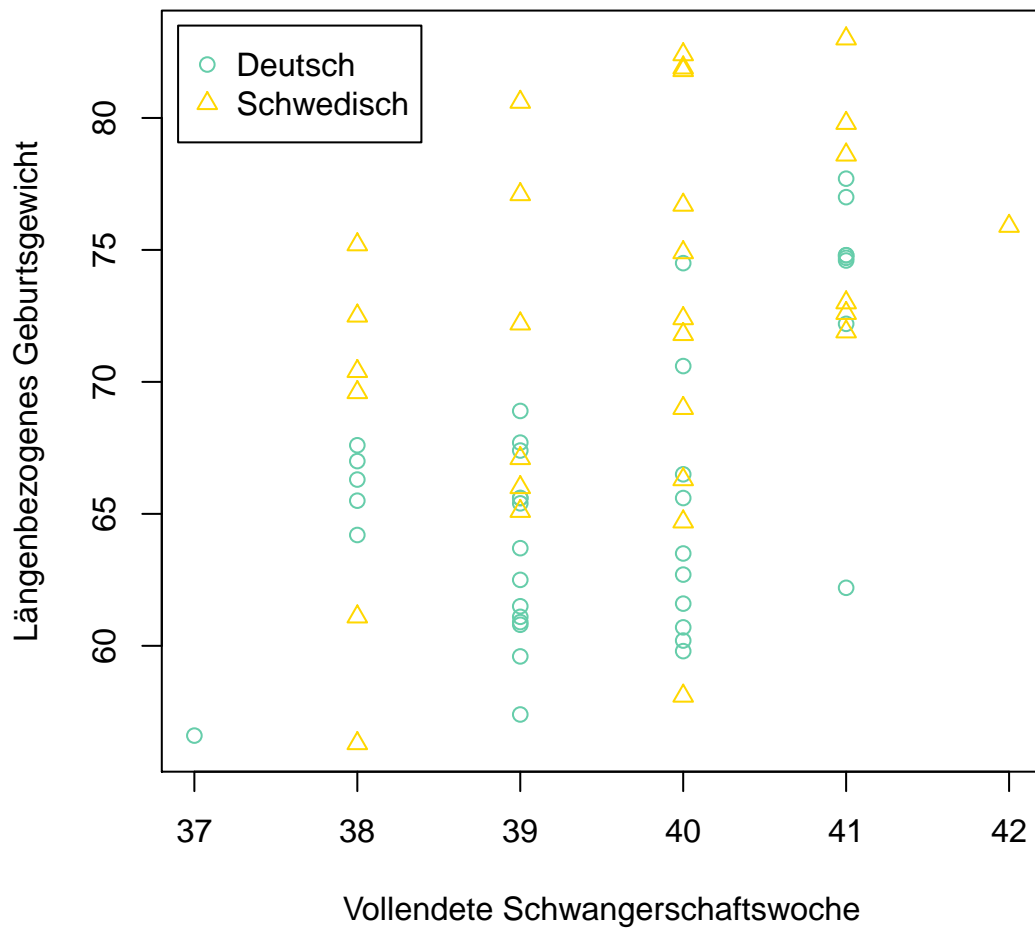


Abbildung 7: Streudiagramm zur Verteilung des LGG in Abhängigkeit von der vSSW bei den weiblichen Probanden

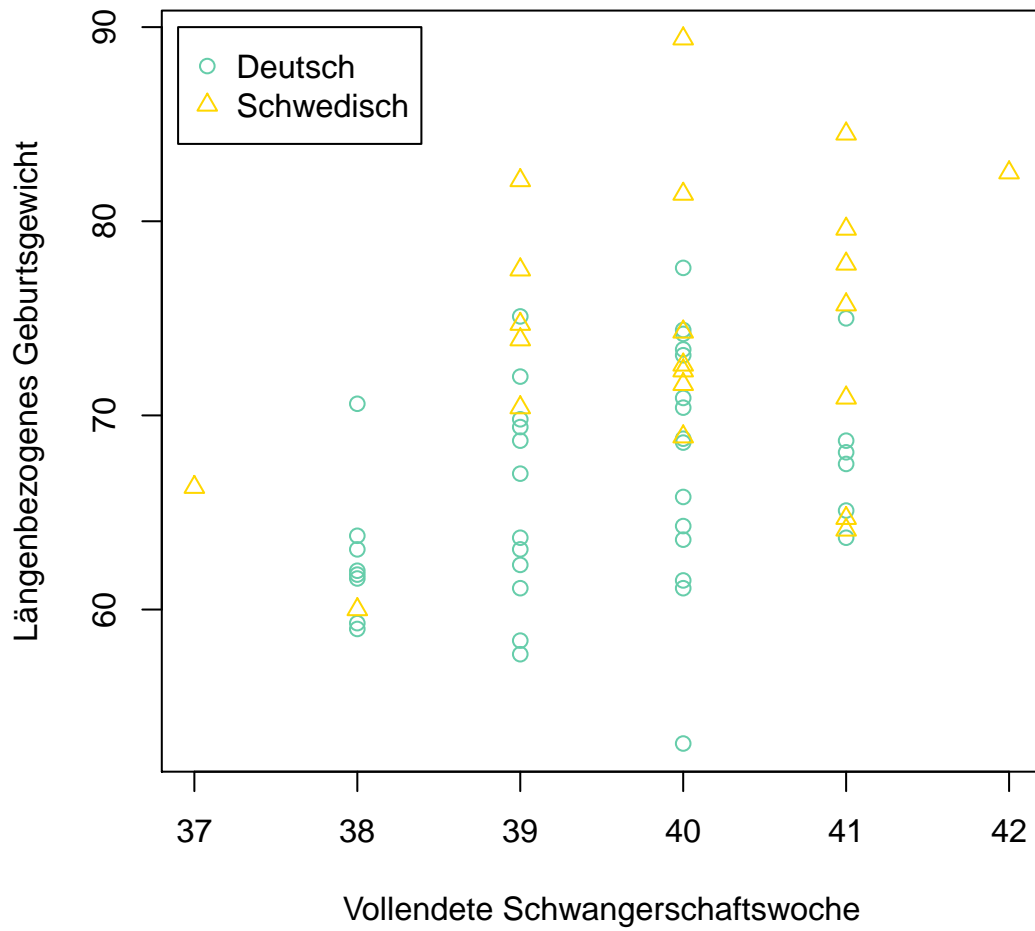


Abbildung 8: Streudiagramm zur Verteilung des LGG in Abhängigkeit von der vSSW bei den männlichen Probanden

### 7.3 Datenerhebung

Die Datenerhebung in Schweden wurde an die im Folgenden erläuterte Routine der Geburtsnachsorge auf der Wöchnerinnenstation angepasst. Wenn Schwangerschaft und Geburt komplikationslos verlaufen sind, bleiben Mutter und Neugeborenes normalerweise nur zwischen 6 und 48 Stunden in der Klinik (Sectiones ausgenommen). Nach ungefähr 72 Stunden erfolgt dann in der Klinik eine weitere Untersuchung (entspricht der U2 in Deutschland) durch die Ärzte und die Hebammen bzw. Entbindungspfleger. Optimalerweise erfolgten von jedem Kind zwei Lautaufnahmen, eine während der ersten 48 Stunden auf der Wöchnerinnenstation sowie eine während der Nachuntersuchung. Da ausschließlich spontane, das heißt keine induzierten Schreie (z. B. durch Blutentnahme) aufgenommen wurden, war es während der limitierten Aufnahmezeiten nicht immer möglich, zwei auswertbare Aufnahmen von jedem Neugeborenen zu erhalten (Tabelle 5).

Die Aufnahmen auf der Wöchnerinnenstation erfolgten während normaler Eltern-Kind-Interaktionen, wie zum Beispiel beim Wickeln oder kurz vor dem Stillen. Die Aufnahmen während der Nachuntersuchung erfolgten beim Wiegen, beim An- und Auskleiden oder ebenfalls kurz vor dem Stillen. Während aller Aufnahmen war mindestens ein Elternteil anwesend.

Die im Rahmen der „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“ durchgeführten Aufnahmen der deutschen Neugeborenen wurden während der ärztlichen Untersuchung oder ebenfalls während normaler Eltern-Kind-Interaktionen angefertigt. Diese Aufnahmen wurden der Verfasserin der Arbeit freundlicherweise von Frau Prof. Dr. Kathleen Wermke (ZVES, Universität Würzburg) für die vorliegende Untersuchung zur Verfügung gestellt.

Zu jeder Aufnahme wurde ein Begleitprotokoll erstellt, das Informationen zur Aufnahmesituation (Datum, Uhrzeit, Position des Kindes, letzte Mahlzeit etc.) enthält (siehe Anhang). Alle schwedischen Aufnahmen wurden mit einem Digitalrecorder (Tascam DR-100, 48 kHz Abtastrate / 16 bit Abtasttiefe) sowie einem Earthworks-Kondensatormikrofon (TC-20) durchgeführt. Die Aufnahmen der deutschen Neugeborenen erfolgten mit dem Digitalrecorder Sony TCD-D100 (48 kHz Abtastrate / 16 bit

Abtasttiefe) und einem Sony-Kondensatormikrofon (ECM-MS950). Damit eine gewisse Standardisierung der Aufnahmesituation eingehalten werden konnte, betrug der Abstand zwischen Mikrofon und Mund des Kindes stets ungefähr 10 bis 15 cm. Je nach Aufnahmesituation dauerte eine Aufnahme ungefähr 30 Sekunden bis 10 Minuten. Die Anzahl der analysierten Lautäußerungen jedes Kindes pro zur Auswertung herangezogener Aufnahme sowie das Alter<sup>20</sup> zum Zeitpunkt der Lautaufnahme sind in Tabelle 5 (schwedische Probanden) und in Tabelle 6 (deutsche Probanden) dargestellt.

**Tabelle 5: Alter des Kindes und Anzahl der analysierten Schreie pro Aufnahmezeitpunkt (schwedische Probanden)**

Kind	Alter in Tagen					$\Sigma$
	1	2	3	4	5	
AA			48	53		101
AB		36				36
AC		89	78			167
AF			165		116	281
AG					10	10
AI		108			95	203
AJ		63			12	75
AK		9			50	59
AM			49		27	76
AN		83				83
AQ			29			29
AT		13			36	49
AV			46		22	68
AW		48				48
AX		66		28		94
AY		125			17	142
AZ		47				47
BD			60			60
BE			22			22
BG	14			18		32
BH		35				35
BI		15		61		76
BJ				49		49
BK			40		8	48

<sup>20</sup> Das hier angegebene Alter in Tagen dient als grober Richtwert, der nicht in die Analyse einbezogen wurde. Für eine Berücksichtigung des Alters in den ersten Lebenstagen wäre eine Altersangabe in Stunden erforderlich. Dies war im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nicht möglich, da für die deutschen Probanden keine genaue Zeitangabe der Geburt vorlag.

## 7 Material und Methoden

Kind	Alter in Tagen					$\Sigma$
	1	2	3	4	5	
BL			22			22
BN			185			185
BO				11		11
BQ		55				55
BR			70	17		87
BU			19			19
BX		23		34		57
CD		37				37
CG			38			38
CH		104				104
CK		27			18	45
CP	28					28
CQ		193	48			241
CR		10	155			165
CS			149			149
CU		29				29
CV			105			105
CW		59				59
CY		30				30
DF				167		167
DG		28	22			50
DH		23				23
DI			142			142
DJ		98				98
DK		18				18
DM		24				24
DN		11	32			43
DP			39		28	67

Somit wurden von den 52 schwedischen Probanden insgesamt 74 Lautaufnahmen analysiert, wobei das durchschnittliche Alter bei 3,0 Tagen (Minimum: 1 Tag; Maximum: 5 Tage) lag. Von den 79 deutschen Probanden wurden 81 Aufnahmen analysiert (Tabelle 6). Das durchschnittliche Alter lag hier bei 3,8 Tagen (Minimum: 2 Tage; Maximum: 5 Tage). Insgesamt wurden 2699 Lautäußerungen deutscher Säuglinge und 3988 Lautäußerungen schwedischer Säuglinge analysiert.



Tabelle 6: Alter des Kindes und Anzahl der analysierten Schreie je Aufnahmezeitpunkt (deutsche Probanden)

Kind	Alter in Tagen					$\Sigma$
	1	2	3	4	5	
AB			29	15		44
AC			24	17		41
AD				25		25
AR			39			39
AT				32		32
AU			22			22
AX			21			21
BA				40		40
BC				52		52
BD					30	30
BI					36	36
BQ				24		24
BR					12	12
BV			37			37
BZ			8			8
CB			8			8
CD				28		28
CF				47		47
CG				40		40
CH				30		30
CI			49			49
CN			35			35
CS				30		30
CV					25	25
CW				30		30
CY			33			33
DB			48			48
DC				38		38
DD					17	17
DF				32		32
DG			24			24
DH			13			13
DJ			18			18
DK			15			15
DL				16		16
DO			13			13
DQ				50		50
DR		38				38
DV				59		59
DW				16		16

7 *Material und Methoden*

Kind	Alter in Tagen					$\Sigma$
	1	2	3	4	5	
DY			38			38
DZ			37			37
EE					34	34
EF				52		52
EH			40			40
EI				61		61
EL					30	30
EO				51		51
EQ				69		69
FA			75			75
FB				44		44
XF				36		36
XA				37		37
FG				13		13
XN				20		20
XB				61		61
FK			21			21
FM				26		26
XO				14		14
XQ				24		24
FP				21		21
FQ				37		37
FR					34	34
FS				37		37
FT				25		25
FU					26	26
FX				40		40
FY					24	24
FZ				47		47
GG					9	9
GK				34		34
GM				50		50
GO					32	32
GR				36		36
GS			52			52
GU				44		44
GV				84		84
GW				48		48
GZ				21		21

## 7.4 Datenaufbereitung

### 7.4.1 Manuelle Segmentierung der Rohdaten

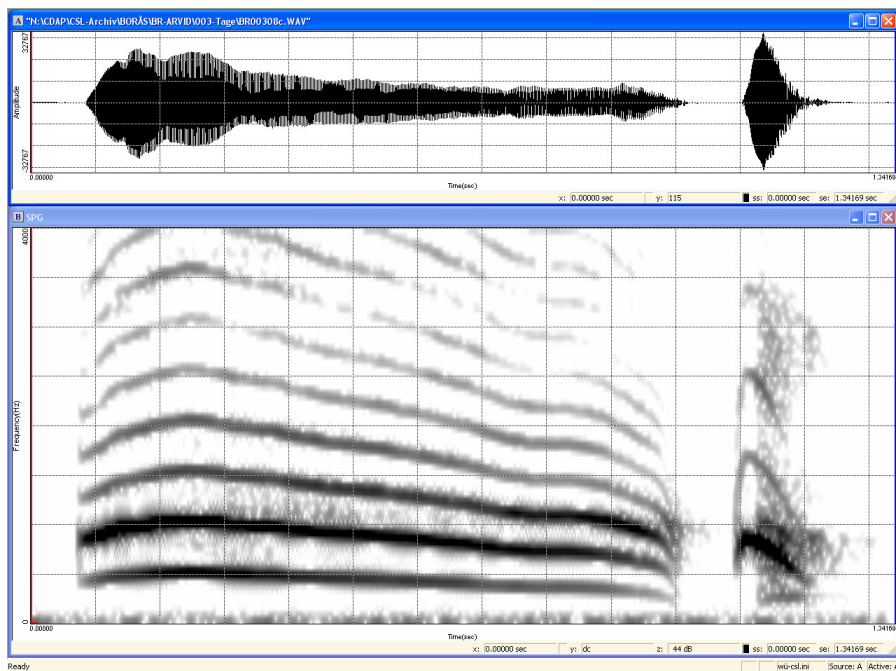
Die der Auswertung vorausgehende Datenaufbereitung der schwedischen Aufnahmen erfolgte gemäß der am ZVES standardmäßig durchgeführten Routine.

Zunächst wurden die in Form von WAV-Dateien vorliegenden Rohdaten zur besseren Übersichtlichkeit mithilfe der Sprachanalysesoftware *Computerized Speech Lab* (CSL, Modell 4500, KayPENTAX, USA) in zweiminütige Sequenzen (Langserien) geschnitten. Danach wurde jede einzelne Lautäußerung separat geschnitten, gegebenenfalls verstärkt und abgespeichert. Eine Lautäußerung repräsentiert hier immer die Lautproduktion während einer Expirationsphase. Die nachfolgende Inspiration wurde ebenfalls mitgespeichert, um das Ende eines Einzelschreies auch im Fall glottaler Stopps sicher zu erfassen. Begleitend wurde für jede Aufnahme ein Digitalisierungsprotokoll angefertigt, das Informationen über den Grad der Verstärkung jedes einzelnen Signals, über die Art der Lautäußerung sowie über zusätzliche Faktoren, wie z. B. die Qualität der Aufnahme oder das Auftreten von Nebengeräuschen, liefert.

### 7.4.2 Spektralanalyse

Anschließend wurde ebenfalls *CSL* verwendet, um für jedes Signal mittels Fast-Fourier-Transformation unter Verwendung eines Hanning-Fensters (1024 Abtastpunkte) eine Spektralanalyse durchzuführen. Auf diese Weise ergibt sich ein Schmalbandspektrogramm, das aufgrund seiner hohen Frequenzauflösung – im Gegensatz zum Breitbandspektrogramm – eine Frequenz-Zeit-Darstellung liefert, die den Grundfrequenzverlauf sichtbar macht. Somit können bereits kleine Variationen der Grundfrequenz visualisiert werden. Die Berechnung der Schmalbandspektrogramme erfolgt am ZVES über eine automatische Routine. In Abbildung 9 ist beispielhaft ein Schmalbandspektrogramm eines Säuglingsschreies dargestellt.

Im Schmalbandspektrogramm bilden Zeit und Frequenz die beiden Achsen eines kartesischen Koordinatensystems. Der Zeitverlauf ist auf der x-Achse in Sekunden angegeben, während auf der y-Achse die Frequenz in Hertz angezeigt wird. Der unterste Balken repräsentiert die Grundfrequenz ( $f_0$ ). Die oberen Balken stellen die Harmoni-



**Abbildung 9: Beispiel für das Schmalbandspektrogramm (CSL) eines Säuglingschreis mit nachfolgendem Inspirationslaut**

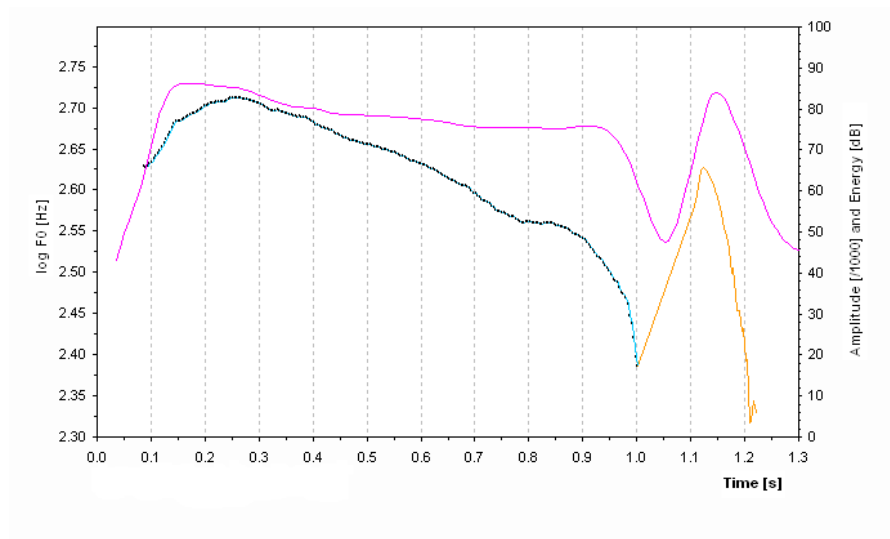
Im oberen Fenster ist das Signal im Zeitbereich dargestellt (Amplitude vs. Zeit). Das untere Fenster zeigt das Schmalbandspektrogramm (Frequenz vs. Zeit) der im Signal enthaltenen Frequenzkomponenten auf einer linearen Skala von 0 bis 4000 Hz und deren Veränderung über die Dauer des Signals.

schen (Obertöne) dar, die ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind. Die Zeitfunktion der Grundfrequenz wird hier als Melodie definiert. Die unterschiedlichen Graustufen im Spektrogramm zeigen die Intensität (Energiedichte) der einzelnen Frequenzbereiche. Durch die Darstellung eines Säuglingsschreis im Schmalbandspektrogramm kann zum Beispiel das Auftreten von Subharmonischen, phonatorischen Rauschbanden, Frequenzsprüngen und Segmentierungen sichtbar gemacht werden. Die in der vorliegenden Arbeit abgebildeten Schmalbandspektrogramme zeigen immer den Frequenzbereich zwischen 0 und 4000 Hz an. Die Zeitbasis richtet sich bei CSL-Spektrogrammen automatisch nach der jeweiligen Länge des Signals und kann daher variieren.

### **7.4.3 Ermittlung von Intensitäts- und Grundfrequenzverläufen (Melodien)**

Da im Schmalbandspektrogramm die Melodie nur grob anhand des Verlaufs der oberen Harmonischen erkennbar ist, wurden zusätzlich für jedes Signal der schwedischen und deutschen Aufnahmen die zeitabhängigen Grundfrequenzwerte (in Hz) sowie auch die Intensitätswerte (in dB SPL) separat berechnet. Dies erfolgte mithilfe der Open-Source-Software *Praat* (Version 5.2.02, Boersma & Weenink, 2011). Im Gegensatz zu *CSL* ermöglicht *Praat* – unter Verwendung eines entsprechenden Skripts, das von der Verfasserin der Arbeit erstellt wurde – das automatische Einlesen beliebig vieler Signale und die automatische Berechnung von Grundfrequenz- und Intensitätswerten dieser Signale. Des Weiteren können mit *Praat* auch Signale bearbeitet werden, deren Grundfrequenzwerte oberhalb von 1000 Hz liegen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Grundfrequenzwerte jedes Schreis mittels des in *Praat* standardmäßig verwendeten Autokorrelationsalgorithmus (Boersma, 1993) berechnet. Auf Basis der berechneten Grundfrequenz- und Intensitätswerte konnten anschließend mit dem speziell für die Analyse von Säuglingsschreien entwickelten Programm *CDAP* (*Cry-Data-Analysis-Program, pw-project*) die Intensitäts- und Grundfrequenzverläufe (Melodien) grafisch dargestellt werden (Abbildung 10).

Da Säuglingsschreie teilweise sehr komplizierte Signaleigenschaften aufweisen (z. B. Auftreten von Subharmonischen und/oder von phonatorischen Rauschbanden) (Wermke, 2002), mussten die Melodien mancher Schreie im *CDAP*-System nachbearbeitet wer-



**Abbildung 10: Beispiel für eine Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP) eines Säuglingsschreis**

Melodie-/Intensitätsgrafik des Säuglingsschreis, dessen Schmalbandspektrum in Abbildung 9 dargestellt wird. Links befindet sich die logarithmische Frequenzachse, rechts wird die dB-Skala für die Intensität angezeigt. Auf der x-Achse ist die Zeit dargestellt. Die Melodie ist blau, der Intensitätsverlauf rosa dargestellt. Der Inspirationslaut am Ende wurde gelöscht (orange).

den. Dabei wurden Algorithmus-Artefakte in Form von einzelnen Spike-artigen Werten manuell gelöscht und anschließend die Melodien einer Gauß-Filterung (13 Iterationen) unterzogen. Der Intensitätsverlauf wurde bei allen Signalen mittels Mittelwert-Filterung nachbearbeitet.

Für die Frequenzachse wurde in den Melodie-/Intensitätsgrafiken – angepasst an die menschliche Tonhöhenempfindung (Weber-Fechner-Gesetz) – stets eine logarithmische Skala gewählt, die in Halb- und Ganztonschritte unterteilt wurde. Die Frequenz-, Intensitäts- und Zeitachsen können mit *CDAP* manuell variabel skaliert werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde für die Darstellung der Melodie-/Intensitätsgrafik in den meisten Fällen eine einheitliche Zeitbasis von 2 Sekunden, eine Frequenzspannweite von  $0,3 \log \text{ Hz}$  und eine Intensitätsspannweite von 50 dB gewählt. Davon wurde nur abgewichen, wenn ein Schrei länger als 2 Sekunden bzw. die Frequenzspannweite größer als  $0,3 \log \text{ Hz}$  oder die Intensitätsspannweite größer als 50 dB war.

## 7.5 Datenauswertung

### 7.5.1 Analyse und Klassifikation der Melodiestructur

Anhand der Schmalbandspektrogramme sowie der Melodie-/Intensitätsgrafiken wurde unter auditiver Kontrolle die Melodiestructur jedes Schreis mithilfe eines speziellen Analysemoduls von *CDAP* analysiert und kategorisiert. Dies erfolgte auf Basis des von Wermke entwickelten Klassifikationssystems (z. B. Wermke, 2002, 2011a, Kapitel 3.3), das sowohl melodische als auch spektrale Merkmale des Säuglingsschreis berücksichtigt. Die Kriterien für die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Melodiestructurkategorien werden im Folgenden näher erläutert.

**Einfachbogen** Ein Einfachbogen ist als ein auf- und absteigender Melodiebogen definiert, der länger als 300 ms ist (Abbildungen 9 und 10). Ein Schrei mit einem einzelnen Bogen, der kürzer als 300 ms ist, wird als *Kurzlaut* bezeichnet.

**Doppelbogen** Als Doppelbögen sind alle Melodien von Einzelschreien definiert, die aus zwei auf- und absteigenden Bögen bestehen, wobei jeder Bogen länger als 150 ms

ist und einen Frequenzhub von mindestens drei Halbtonschritten aufweist (Abbildung 11). Beide Bögen können ähnliche Formeigenschaften aufweisen oder aber auch unterschiedlich geformt sein. So wurden auch Einzelschreie als Doppelbögen gewertet, die aus einem Einfachbogen, gefolgt von einem weiteren Bogen, dessen Maximum ein ausgeprägtes Plateau aufweist (Kapitel 3.3), – et vice versa – zusammengesetzt sind.

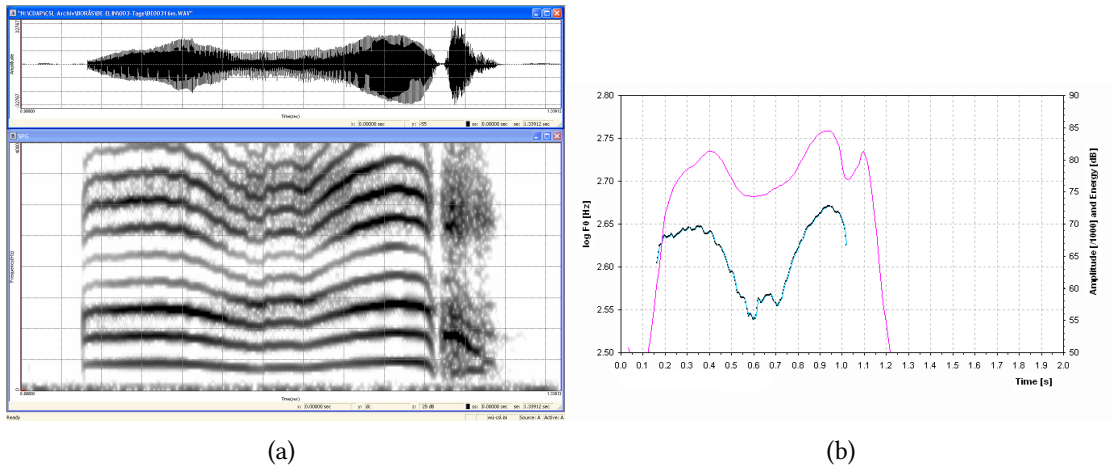


Abbildung 11: Säuglingsschrei mit dem melodischen Merkmal *Doppelbogen*

Auf der linken Seite (a) ist das Schmalbandspektrum (CSL) des Schreies abgebildet [schwedische Probandin BE am 3. Tag]. Die rechte Seite (b) zeigt die korrespondierende Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP).

**Dreifachbogen** Als Dreifachbögen wurden Melodien von Einzelschreien klassifiziert, die aus drei Bögen bestehen, wobei auch hier jeder Bogen länger als 150 ms ist sowie einen Frequenzhub von mindestens drei Halbtonschritten aufweist.

**Mehrfachbogen** Zur Kategorie der Mehrfachbögen gehören alle Einzelschreie, deren Melodie aus mehr als drei Bögen besteht. Auch in diesem Fall ist jeder Bogen länger als 150 ms und weist einen Frequenzhub von mindestens drei Halbtonschritten auf.

Neben den kontinuierlichen Melodiekonturen wurden auch sogenannte segmentierte Melodien kategorisiert:

**Einfache Segmentierung** Bei einer einfachen Segmentierung werden zwei Melodieelemente durch eine laryngeal bedingte Segmentierungspause getrennt, ohne dass in



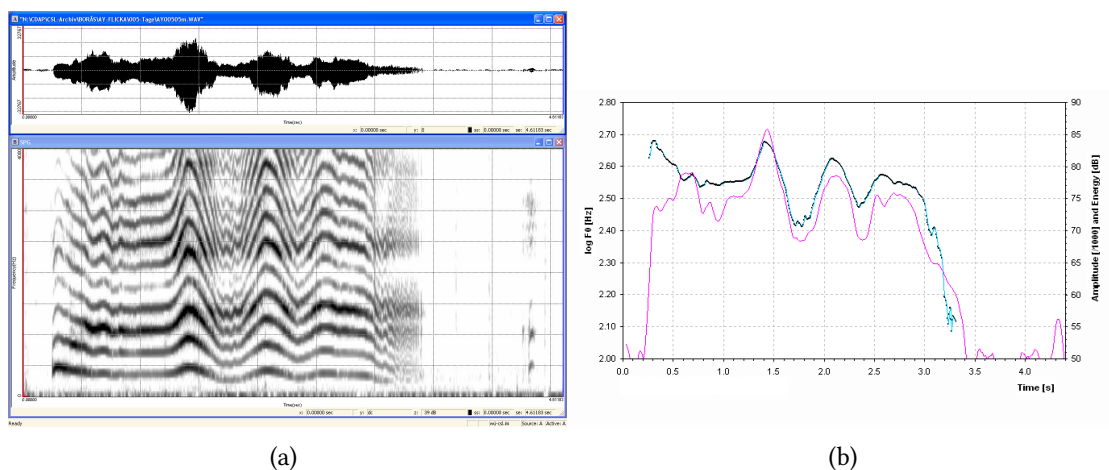


Abbildung 12: Säuglingsschrei mit dem melodischen Merkmal *Mehrfachbogen*

Auf der linken Seite (a) ist das Schmalbandspektrogramm (CSL) des Schreies abgebildet [schwedische Probandin AY am 5. Tag]. Die rechte Seite (b) zeigt die korrespondierende Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP).

der Pause eine Inspiration erfolgt. Zusätzlich fällt in der Pause die Intensität um  $> 9$  dB ab. Eines der Elemente besteht aus einem Einfachbogen, während das zweite Element auch ein Kurzlaut sein kann (Abbildung 13).

**Komplexe Segmentierung** Komplexe Segmentierungen folgen den oben genannten Kriterien einer einfachen Segmentierung. Anders als bei den einfachen Segmentierungen weist aber eines der beiden Elemente vor oder nach der Pause eine doppel-, drei- oder mehrfachböigige Struktur auf (Abbildung 14).

**Zweifache Segmentierung** Zur Kategorie der zweifachen Segmentierung gehören alle Schreie, die zwei Segmentierungspausen aufweisen. Mindestens ein Element erfüllt die Kriterien für einen Einfach-, Doppel- oder Mehrfachbogen.

**Dreifache Segmentierung** Hierzu gehören alle Einzelschreie, die drei Segmentierungspausen aufweisen. Mindestens ein Element muss die Kriterien für einen Einfach-, Doppel- oder Mehrfachbogen erfüllen.

**Mehrfachsegmentierung** Zur Kategorie der Mehrfachsegmentierung gehören alle Laute, die drei oder mehr Segmentierungspausen aufweisen. Mindestens ein Element

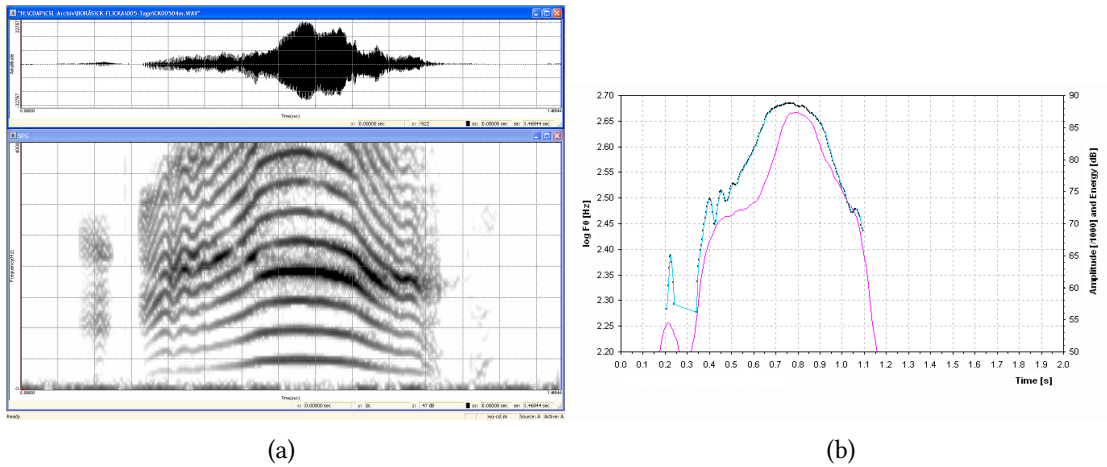


Abbildung 13: Säuglingsschrei der Kategorie *einfache Segmentierung*

Das Schmalbandspektrogramm (CSL) auf der linken Seite (a) zeigt eine Melodiestructur mit einer einfachen, vollständigen Segmentierung, bestehend aus einem Kurzlaut und einem Einfachbogen [schwedische Probandin CK am 5. Tag]. Auf der rechten Seite (b) ist die korrespondierende Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP) dargestellt.

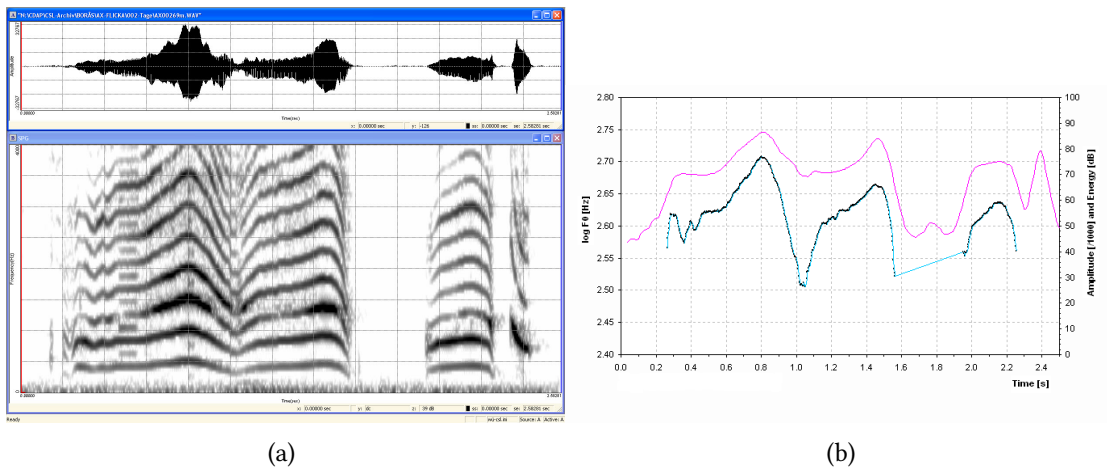


Abbildung 14: Säuglingsschrei der Kategorie *komplexe Segmentierung*

Auf der linken Seite (a) ist das Schmalbandspektrogramm (CSL) einer komplexen Segmentierung, bestehend aus einem Doppelbogen mit Anwelle, einer Segmentierung (glottale Pause) und eines Einfachbogens abgebildet [schwedische Probandin AX am 2. Tag]. Die nachfolgende Inspiration ist ebenfalls dargestellt. Im ersten Bogen treten Subharmonische auf (Kapitel 7.5.1). Die rechte Seite (b) zeigt die korrespondierende Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP).

muss die Kriterien für einen Einfach-, Doppel- oder Mehrfachbogen erfüllen (Abbildung 15).

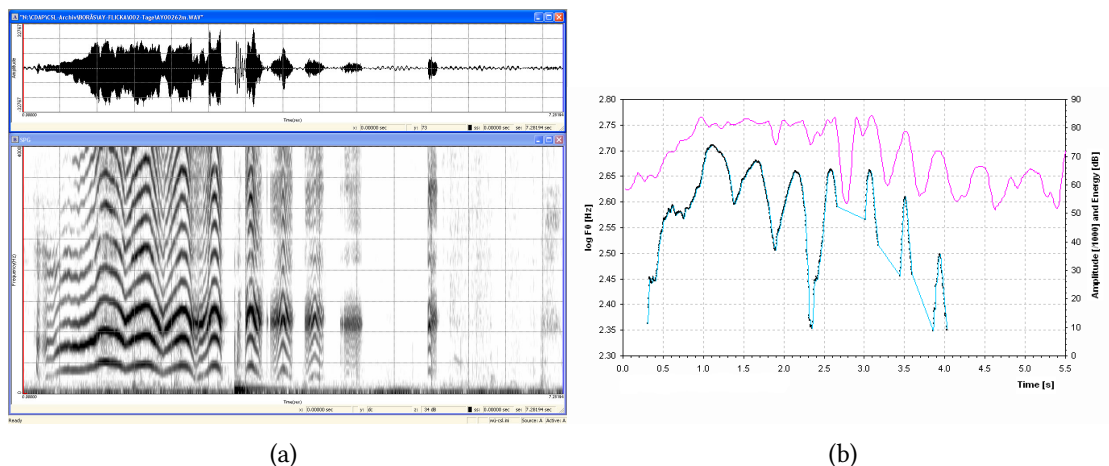


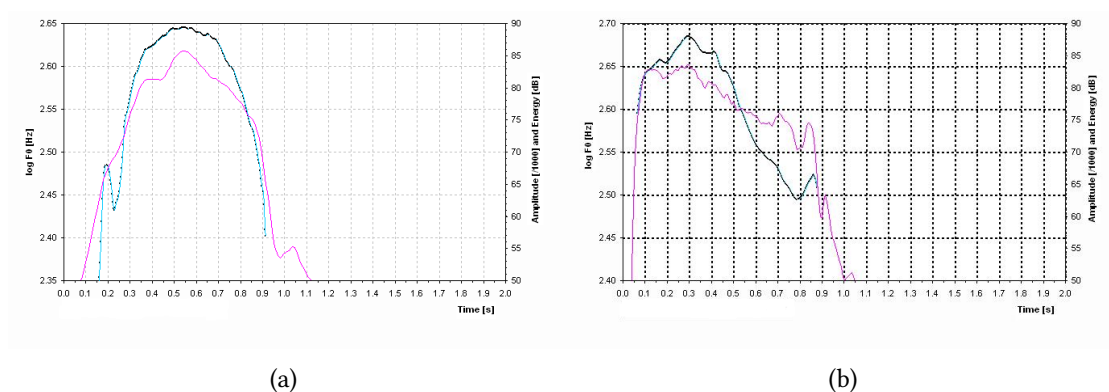
Abbildung 15: Säuglingsschrei der Kategorie *Mehrfachsegmentierung*

Auf der linken Seite (a) ist das Schmalbandspektrogramm (CSL) einer Mehrfachsegmentierung, bestehend aus einem Mehrfachbogen und fünf Kurzlauten, dargestellt [schwedische Probandin AY am 2. Tag]. Die rechte Seite (b) zeigt die korrespondierende Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP).

**An- und Endlaut** An- und Endlaute, eigentlich Melodiewellen, sind bogenartige Elemente, die kürzer als 150 ms sind (länger als 150 ms wäre ein separater Bogen) und sich ohne Segmentierungspause am Anfang bzw. am Ende an den Hauptbogen anschließen (Abbildung 16).

Anlaute können entweder als bogenähnliche Struktur dem Hauptbogen vorausgehen (Anlaut im eigentlichen Sinne) oder in die Anstiegsflanke des Hauptbogens integriert sein (integrierter Anlaut). Die Form von An- und Endlauten kann bogenähnlich, plateauförmig oder ein „unvollständiger“ Bogen (einfaches Fallen [Anlaut] bzw. Steigen [Endlaut] der Melodie) sein. Die verschiedenen Strukturen sind exemplarisch für den Anlaut in Abbildung 17 dargestellt.

Bei längeren Einzelschreien verlängert sich teilweise entsprechend auch die Dauer des Anlautes. Um eine Überinterpretation solcher Strukturen – basierend auf dem festen Wert von 150 ms – als Doppelbogen zu vermeiden, wurden in solchen Fällen auch Bögen

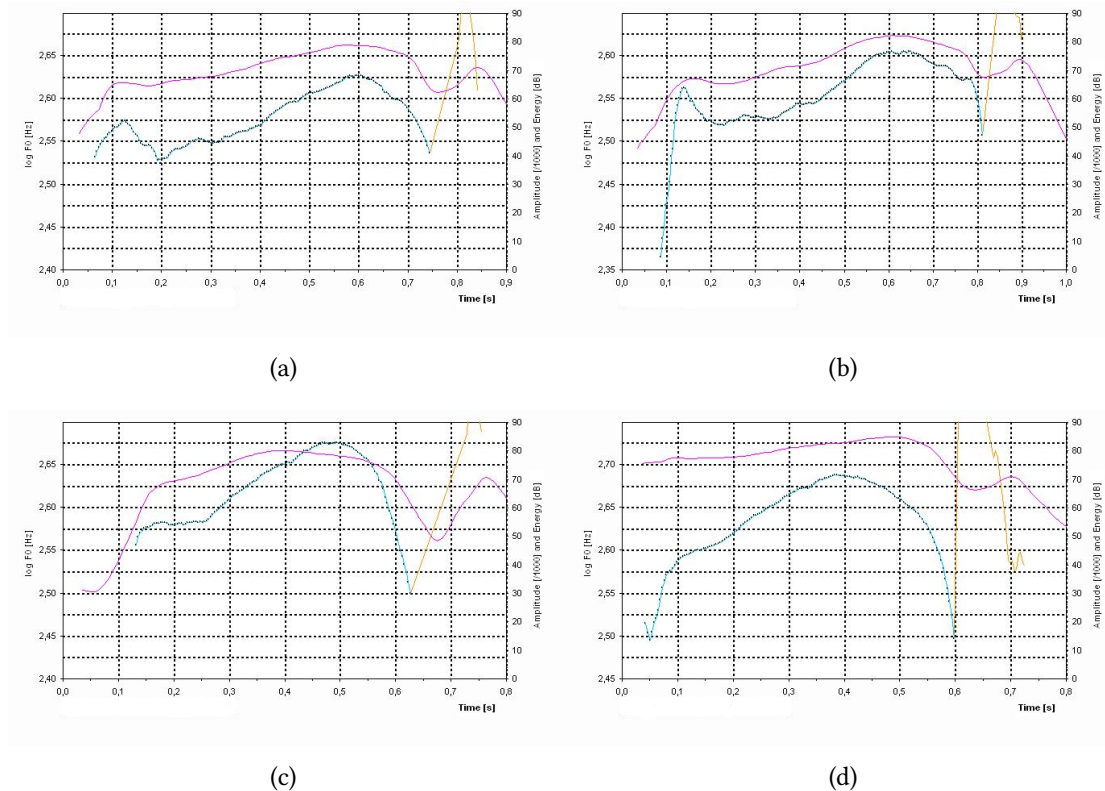


**Abbildung 16: Zwei einfachböige Schreimelodien mit An- bzw. Endlaut**

Die Abbildung zeigt die Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP) von einem Einfachbogen mit Anlaut [schwedische Probandin CK am 5. Tag] (a) sowie von einem Einfachbogen mit Endlaut [deutscher Proband AB am 3. Tag] (b).

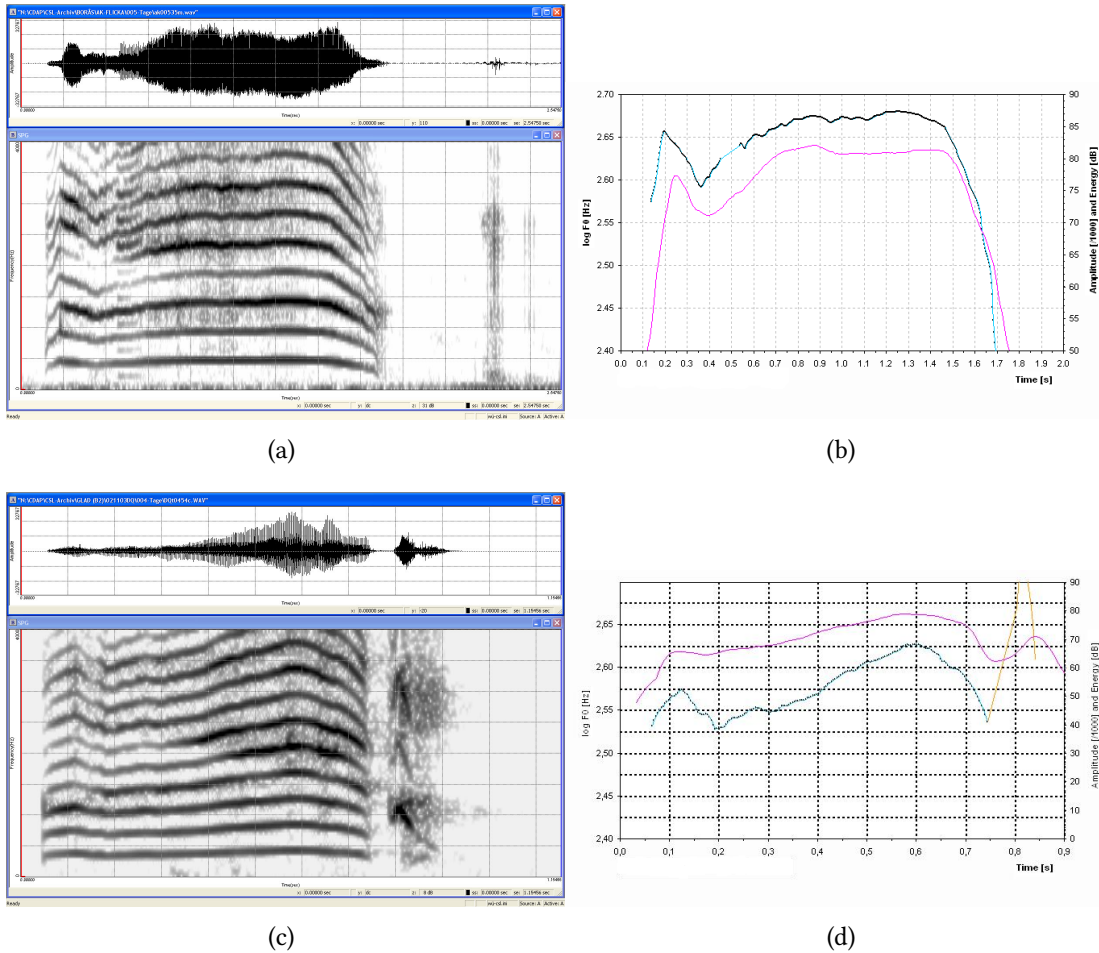
als Anlaute kategorisiert, die länger als 150 ms waren, sofern sie nicht mehr als 25 % des gesamten Bogens einnahmen (Abbildung 18).

**Kurzlaut** In die Kategorie *Kurzlaut* wurden alle Laute eingeordnet, die aus einem Einfachbogen mit einer Länge von weniger als 300 ms bestehen oder aus Ein-, Zwei- oder Mehrfachsegmentierungen bestehen, deren Elemente ausschließlich jeweils kürzer als 300 ms sind. Diese Kategorie ist eine leichte Modifikation des von Wermke eingeführten Systems, bei dem ausschließlich Einzellaute, die kürzer als 300 ms sind, als Kurzlaute eingestuft werden.



**Abbildung 17: Verschiedene Strukturformen von Anlauten**

Die Abbildung zeigt die Melodie-/Intensitätsgrafiken (CDAP) eines bogenähnlichen Anlauts, der dem Hauptbogen vorausgeht (a), eines in die Anstiegsflanke des Hauptbogens integrierten (b) und eines plateauförmigen (c) Anlauts [deutsche Probandin DQ am 4. Tag] sowie eines Anlauts als „unvollständigen“ Bogen (einfaches Fallen der Melodie, d) [deutscher Proband DF am 4. Tag]. Zur besseren Veranschaulichung wurde die Zeitachse jeweils an die Länge des Schreis angepasst.



**Abbildung 18: Ähnliche Melodiekonturen, realisiert über verschiedene Einzelschreilängen**

In der oberen Zeile ist das Schmalbandspektrogramm (CSL) (a) sowie die korrespondierende Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP) (b) eines Einfachbogens dargestellt, dem ein Anlaut mit einer Länge von 228 ms vorangestellt ist [schwedische Probandin AK am 5. Tag]. Die Gesamtlänge des Einzelschreies beträgt 1558 ms. Der Anlaut nimmt somit nur 14,6 % der Gesamtlänge ein und wurde demnach nicht als ein weiterer Bogen kategorisiert. In der unteren Zeile ist das Schmalbandspektrogramm (c) sowie die korrespondierende Melodie-/Intensitätsgrafik (d) eines Einzelbogens mit vergleichbarer Melodiestruktur dargestellt [deutsche Probandin DQ am 4. Tag]. Die Länge des Anlautes beträgt hier jedoch nur 139 ms. Trotzdem nimmt der Anlaut im Verhältnis zu der Gesamtlänge von 679 ms 20,5 % der Gesamtlänge ein.



Säuglingsschreie weisen einen hohen Grad an Instabilitäten auf, die zum Beispiel durch das Auftreten von phonatorischen Rauschbanden, plötzlichen Grundfrequenzsprungen (Shifts) oder Subharmonischen gekennzeichnet sind (Kapitel 3.2). Dies führt dazu, dass die Melodiestructur des jeweiligen Suglingsschreies nicht eindeutig bestimmbar ist und in die Kategorie *unklare Struktur* bzw. *phonatorisches Rauschen* eingeordnet wird.

**Unklare Struktur** In diese Kategorie wurden alle Einzelschreimelodien eingeordnet, die stark instabile und irreguläre Frequenzmodulationen aufweisen und deshalb nicht einem der vorausgehend definierten Strukturtypen zugeordnet werden konnten.

Der Kategorie wurden ebenfalls solche Laute zugeordnet, deren Struktur zwar als Ein-, Zwei- oder Mehrfachsegmentierung gekennzeichnet ist, die aber ausschließlich aus Elementen mit stark instabilen und irregulären Frequenzmodulationen, auch in Kombination mit einem oder mehreren Kurzlauten, bestehen (Abbildung 19).

Signale, deren Melodiestructur durch einen hohen Anteil an *Shifts* nicht mehr erkennbar war, wurden ebenfalls dieser Kategorie zugeordnet.

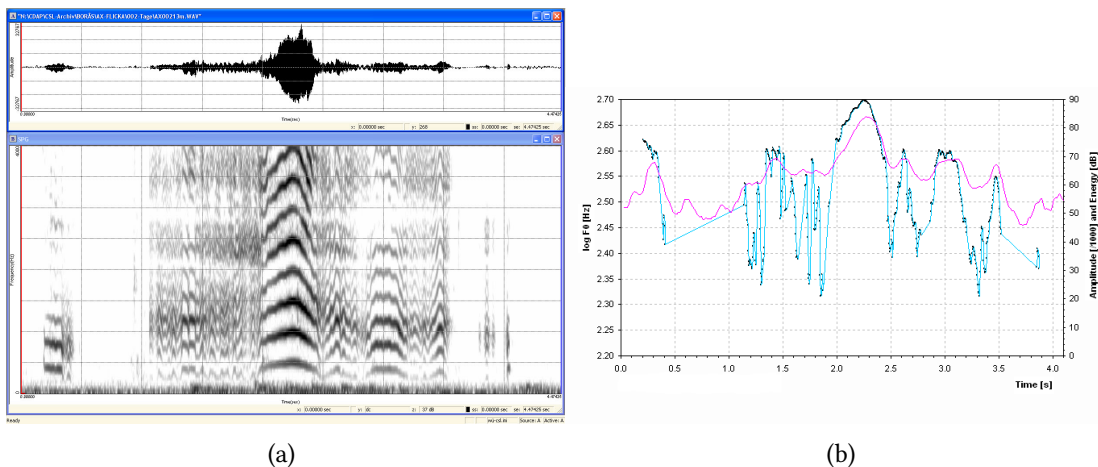
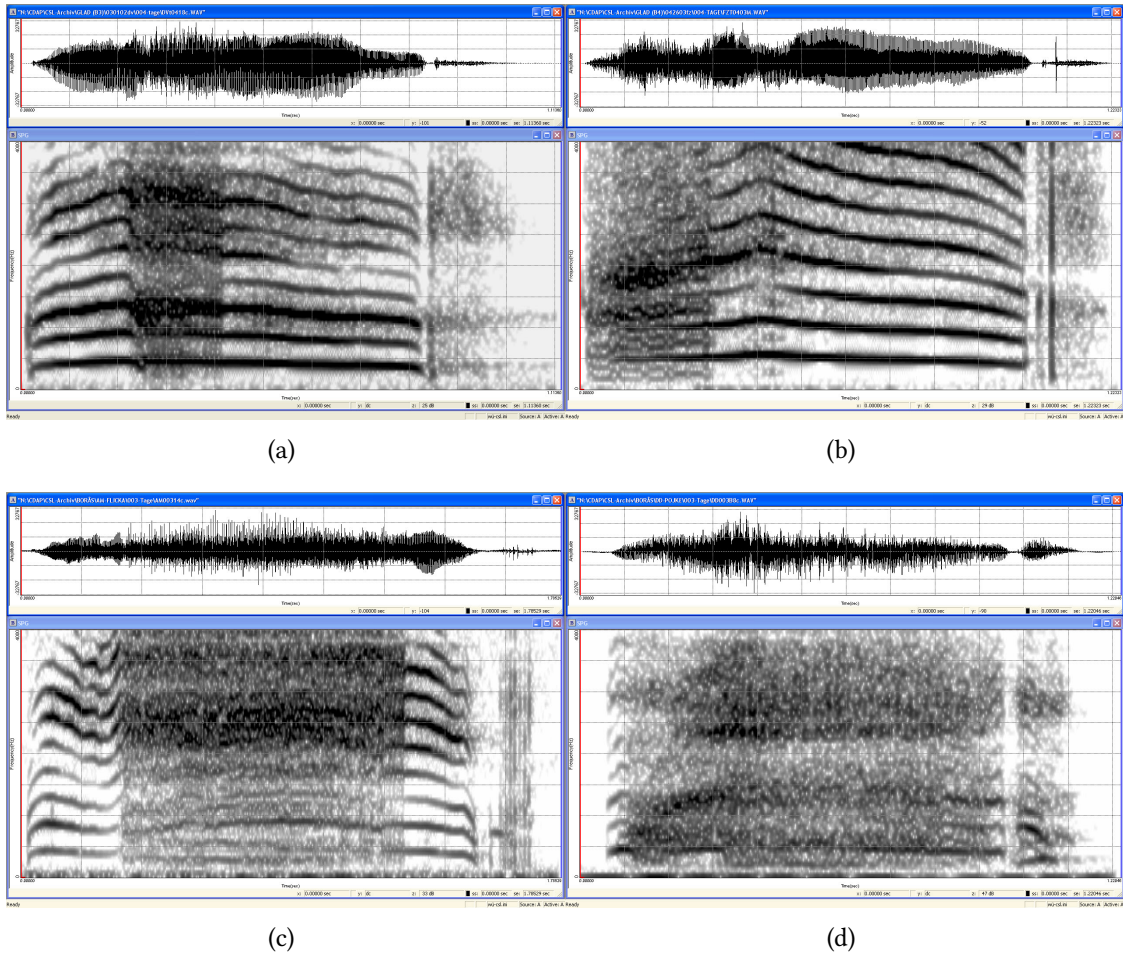


Abbildung 19: Säuglingsschrei der Kategorie *unklare Struktur*

Das Schmalbandspektrogramm (CSL) auf der linken Seite (a) zeigt eine segmentierte Struktur, bestehend aus Kurzlaut und einem Element mit instabiler und irregulärer Frequenzmodulation [schwedische Probandin AX am 2. Tag]. Rechts (b) ist die korrespondierende Melodie-/Intensitätsgrafik (CDAP) dargestellt.

**Phonatorisches Rauschen** Das Auftreten von phonatorischen Rauschelementen innerhalb der Schreimelodie wurde anhand ihrer Lage (am Rand oder in der Mitte) beurteilt. Manche Einzellaute wiesen eine komplett verrauschte Struktur auf. Da im Rauschbereich die Melodie nicht messbar ist, wurden solche Schreie bei der Melodiestructuranalyse separat kategorisiert und von der weiteren Analyse ausgeschlossen.



**Abbildung 20: Phonatorisches Rauschen in Säuglingsschreien**

Die Abbildung zeigt die Schmalbandspektrogramme (CSL) zweier Säuglingsschreie mit phonatorischen Rauschbändern in der Mitte (a) [deutsche Probandin DV am 4. Tag] bzw. am Rand (b) [deutscher Proband FZ am 3. Tag] sowie Schreie mit komplett verrauschter Struktur (c) [schwedische Probandin AM am 3. Tag] und (d) [schwedischer Proband DD am 3. Tag]. Während in (c) am Anfang und am Ende noch deutlich Harmonische zu erkennen sind, weist (d) nur noch Reste von Harmonischenstrukturen auf.



**Subharmonische** Subharmonische treten häufig in Kombination mit phonatorischem Rauschen auf, ihr Auftreten wurde aber separat für jeden Laut vermerkt (Abbildung 14).

**Shift** Das Phänomen des *Shifts* beschreibt einen plötzlichen Sprung der Grundfrequenz in höhere oder tiefere Frequenzen. Das Auftreten von Shifts wurde für jeden Laut gesondert vermerkt.

## 7.5.2 Ermittlung des Komplexitätsgrades der Schreimelodien (MCI)

Die in Kapitel 7.5.1 erläuterten melodischen Strukturkategorien können nach Wermke und Mende (z. B. Wermke et al., 2007; Wermke & Mende, 2011) in eine einfache und eine komplexe Strukturklasse zusammengefasst werden (Kapitel 3.3). Zur einfachen Strukturklasse (ES) gehören alle Einfachbögen, während in der komplexen Strukturklasse (KS) Doppel- und Mehrfachbögen sowie alle Formen von Segmentierungen zusammengefasst werden. Auf Basis dieser Einteilung kann der Grad der Melodiekomplexität berechnet werden (Wermke et al., 2007). Der ermittelte Melodiekomplexitätsindex (melody complexity index; MCI) ist als der Quotient aus der Anzahl von KS und der Summe der Anzahl von ES und KS definiert und variiert zwischen 0 und 1:

$$MCI = \frac{KS}{KS + ES}$$

Je größer der MCI ist, desto höher ist der Anteil an komplexen Strukturen im Schreirepertoire eines Kindes bzw. einer Gruppe von Kindern in einem bestimmten Aufnahmezeitraum. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde zunächst für jeden Probanden ein MCI berechnet. Anschließend wurde für beide Probandengruppen ein Gruppen-MCI berechnet, indem das arithmetische Mittel aller MCI der Probanden einer Gruppe gebildet wurde. Der Bezugszeitraum für die MCI-Berechnung ist der Zeitraum zwischen dem 1. und 5. Lebenstag.

## 7.5.3 Quantitative Analyse melodischer und zeitlicher Parameter

Zusätzlich zur Einordnung der Schreie in das Melodiestruckturensystem wurden ausgewählte Eigenschaften aller Schreie mithilfe von *CDAP* quantitativ charakterisiert. So

wurden als melodische Parameter die mittlere Grundfrequenz sowie das Hubverhältnis (Frequenzmodulationsamplitude) jedes einzelnen Bogens berechnet. Für die Feststellung der mittleren Grundfrequenz wurde aus dem Maximum des Gesamtschreis (ohne An- und Endlaut) und dem Minimum des Gesamtschreis (mit An- und Endlaut) der geometrische Mittelwert berechnet. An- und Endlaute wurden bei der Bestimmung des Maximums nicht miteinbezogen, um höherfrequente An- und Endlaut-Peaks, die das Hauptbogenmaximum überschreiten könnten, auszuschließen. Bei der Bestimmung des Minimums wurden die Werte des An- und Endlautes jedoch miteinbezogen, da viele An- und Endlaute in die Anstiegs- oder Abstiegsflanke der jeweiligen Bögen integriert sind (z. B. Abbildung 17b). Das Hubverhältnis wurde berechnet, indem der Quotient aus dem Maximum und dem Minimum (siehe oben) gebildet wurde. Als weitere, den Schrei charakterisierende Größe wurde die Länge des Einzelschreis bestimmt.

### 7.5.4 Statistische Analyse

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mithilfe von *Microsoft Excel (Version 2010)* sowie der Open-Source-Software *R (Version 2.13.0.; R Development Core Team, 2011)*.

In einer explorativen Datenanalyse wurden zunächst die Häufigkeiten sowie die Lage- und Streuungsmaße ermittelt. Alle Analyseparameter wurden daraufhin mit dem Shapiro-Wilk-Test hinsichtlich ihrer Normalverteilung geprüft. Bei der Analyse der anthropometrischen Daten und der Melodiestructur wiesen nur die Parameter MCI, LGG der schwedischen Untersuchungsgruppe und LGG der deutschen Untersuchungsgruppe eine hinreichende Normalverteilung auf. Für die Prüfung auf Gruppenunterschiede bezüglich des MCI wurde deshalb der nichtparametrische Mann-Whitney-U-Test gewählt. Die Daten der männlichen schwedischen und deutschen Probanden wiesen bezüglich der Variable LGG eine hinreichende Normalverteilung auf. Da sich bei diesen Daten die Varianzen nicht unterschieden (F-Test), konnte hier der Zweistichproben-t-Test verwendet werden.

Die quantitative Analyse der melodischen und zeitlichen Parameter erfolgte auf der Basis der Schreissignale aller Kinder der jeweiligen Gruppe (Schwedisch bzw. Deutsch). Da sich die Anzahl der analysierten Lautäußerungen von Proband zu Proband zum Teil

sehr stark unterscheidet (Kapitel 7.3), wurde die statistische Auswertung dieser Parameter mittels zweifaktorieller Mixed-Model Nested ANOVA durchgeführt. Der Einfluss der Gruppe wurde dabei als fester Faktor gewertet, während der Einfluss jedes einzelnen Probanden einen zufälligen Faktor darstellte. Das statistische Verfahren wurde als R-Version von Herrn Johannes Hain (Institut für Mathematik der Julius-Maximilians-Universität Würzburg) erstellt und dem ZVES zur Verfügung gestellt. Die Analyse mithilfe des Verfahrens wurde von der Autorin der vorliegenden Arbeit durchgeführt.

Bei allen Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von  $p \leq 0.05$  gewählt.

## 8 Ergebnisse

Es wurden insgesamt 3988 schwedische und 2699 deutsche Lautäußerungen analysiert. Lautäußerungen, die den Kategorien *Kurzlaut*, *Rauschen* und *unklare Struktur* zugeordnet worden sind (Kapitel 7.5.1), wurden von der im Fokus stehenden Melodiestrukturanalyse ausgeschlossen (Kapitel 7.5.1). Tabelle 7 enthält die Anzahl dieser aussortierten Lautäußerungen für die jeweilige Kategorie pro Gruppe.

**Tabelle 7: Anzahl der für die weitere Analyse nicht geeigneten Lautäußerungen**

Kategorie	Schwedisch	Deutsch
Unklare Struktur	580	361
Kurzlaut	426	338
Phonatorisches Rauschen	187	93
<b>Gesamt</b>	<b>1193</b>	<b>792</b>

Somit ergibt sich für die schwedischen Ausgangsdaten von ursprünglich 3988 Lautäußerungen ein Ausschluss von 29,91 %, der gerundet einen Anteil von 14,54 % *unklare Strukturen*, 10,68 % *Kurzlaute* und 4,69 % *phonatorisches Rauschen* beinhaltet. Von den deutschen Ausgangsdaten mit ursprünglich 2699 Lautäußerungen wurden 29,34 % von der spezifischen Analyse ausgeschlossen, die sich gerundet in 13,38 % *unklare Strukturen*, 12,52 % *Kurzlaute* und 3,45 % *phonatorisches Rauschen* aufteilt. Diese Verhältnisse sind in Abbildung 21 dargestellt. Alle im Folgenden dargestellten Ergebnisse basieren somit auf einer Datengrundlage von 2795 schwedischen und 1907 deutschen Lautäußerungen.

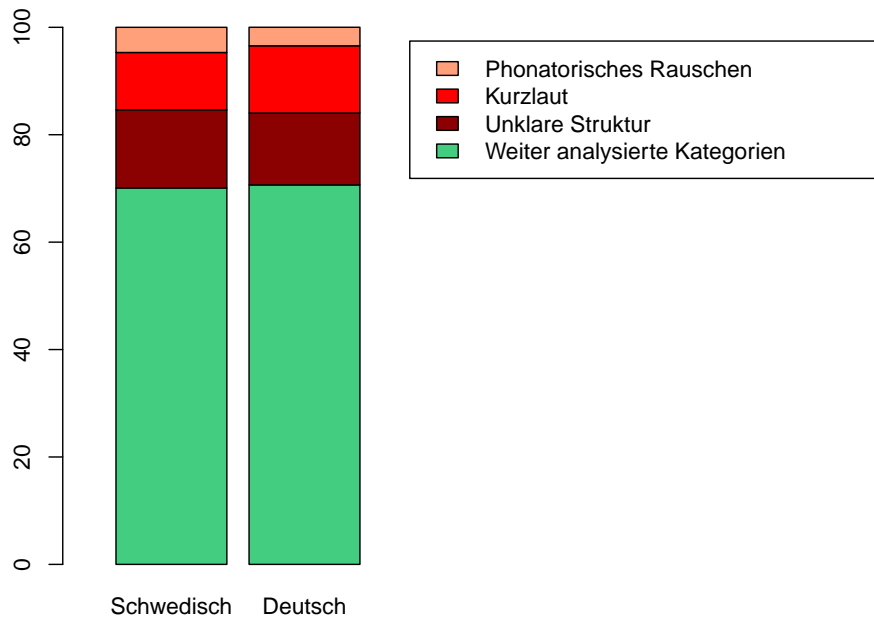


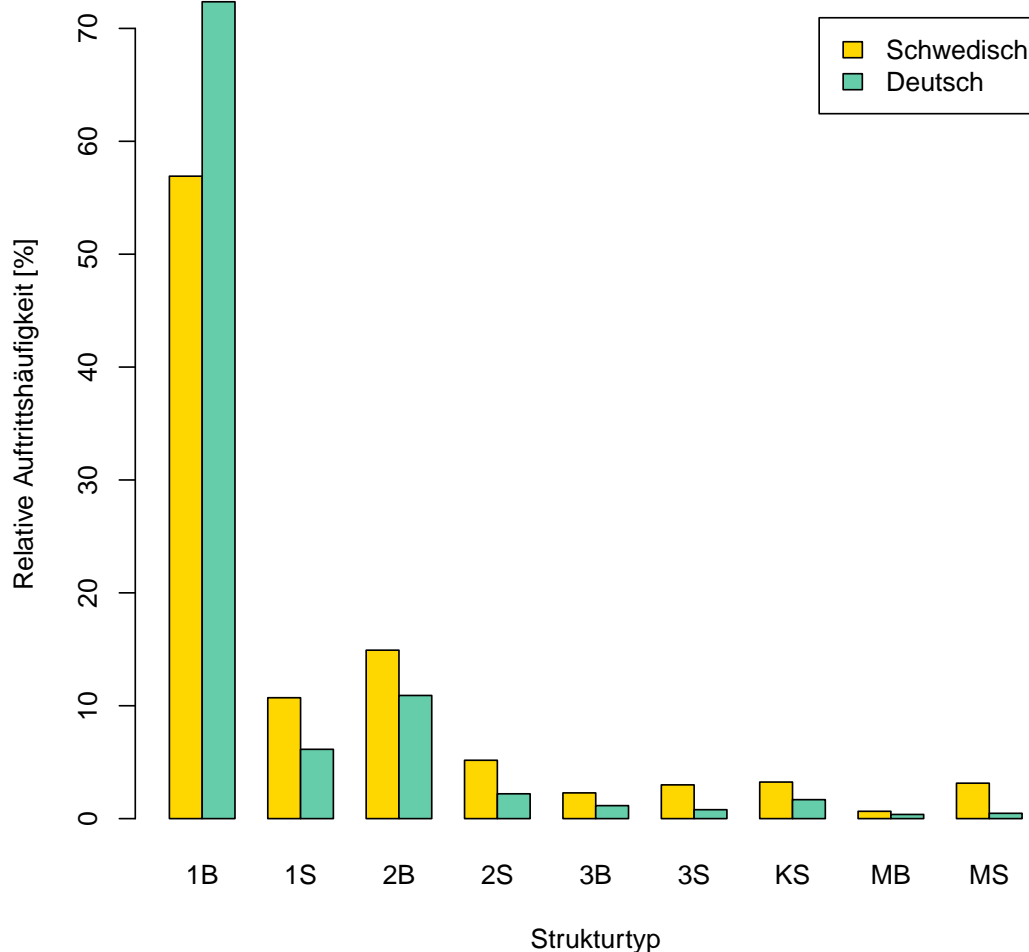
Abbildung 21: Säulendiagramm der prozentualen Verteilung der ausgeschlossenen bzw. weiter analysierten Kategorien

## 8.1 Analyse der Melodiestructur

### 8.1.1 Relative Auftrittshäufigkeit der Melodiestructurkategorien

Im vorliegenden Kapitel werden die relativen Auftrittshäufigkeiten der verschiedenen Melodiestructurkategorien, wie sie in Kapitel 7.5.1 erläutert wurden, dargestellt.

Abbildung 22 zeigt, dass die schwedischen Neugeborenen verhältnismäßig mehr Schreie der komplexen Strukturkategorien produzierten als die deutschen Neugeborenen. Demnach ist der Anteil an einfachböigen Strukturen in den Schreien der deutschen Neugeborenen höher. Er liegt hier bei 72,4 %, während er bei den schwedischen Neugeborenen nur 56,9 % beträgt. Dies korrespondiert mit einem relativen Anteil von Schreien mit komplexer Melodiestructur bei den deutschen Neugeborenen von 27,6 %, bei den schwedischen Neugeborenen von 43,1 %. Von den komplexen Strukturkategorien kommen sowohl bei den deutschen als auch bei den schwedischen Neugeborenen die Kategorien *Doppelbogen (2B)* und *einfache Segmentierung (1S)* am zweithäufigsten vor. Auch diese sind bei den schwedischen Probanden mit 14,9 % (2B) bzw. 10,7 % (1S) prozentual häufiger als bei den deutschen Probanden mit 10,9 % (2B) bzw. 6,1 % (1S). Tabelle 8 gibt die Werte, die der Abbildung 22 zugrunde liegen, wieder und gibt darüber hinaus noch eine Differenzierung nach Geschlecht an. Die relativen Häufigkeiten in der Tabelle zeigen, dass sowohl beim *Intergruppenvergleich* (Schwedisch – Deutsch) als auch beim *Intragruppenvergleich* nach Geschlecht in absteigender Reihenfolge am häufigsten die Strukturkategorien *Einfachbogen*, *Doppelbogen* und *einfache Segmentierung* auftreten. Innerhalb der Strukturkategorie *Einfachbogen* traten bei beiden Untersuchungsgruppen alle in Kapitel 3.3 erläuterten Melodiekategorien auf.



**Abbildung 22: Säulendiagramm der relativen Häufigkeiten der Melodistrukturkategorien beider Gruppen**

Berechnungsgrundlage waren die Mittelwerte der prozentualen Verteilung pro Kind und Gruppe (Schwedisch: n = 52, Deutsch: n = 79). Zeichenerklärung: 1B = Einfachbogen, 1S = einfache Segmentierung, 2B = Doppelbogen, 2S = zweifache Segmentierung, 3B = Dreifachbogen, 3S = dreifache Segmentierung, KS = komplexe Segmentierung, MB = Mehrfachbogen, MS = Mehrfachsegmentierung.

Tabelle 8: Relative Häufigkeiten der Melodiestrukturkategorien nach Gruppe und Geschlecht [in %]

	Schwedisch			Deutsch		
	gesamt <i>n</i> = 52	weiblich <i>n</i> = 30	männlich <i>n</i> = 22	gesamt <i>n</i> = 79	weiblich <i>n</i> = 38	männlich <i>n</i> = 41
1B	56,91	52,57	62,82	72,36	71,93	72,76
1S	10,71	12,05	8,88	6,14	6,63	8,18
2B	14,92	15,56	14,05	10,91	12,87	11,27
2S	5,17	5,19	5,16	2,2	3,3	2,04
3B	2,28	3,33	0,85	1,15	1,01	1,55
3S	2,99	3,15	2,77	0,79	1,59	1,1
KS	3,24	3,85	2,4	1,68	1,74	1,87
MB	0,65	0,93	0,26	0,37	0,43	0,67
MS	3,14	3,37	2,82	0,47	0,5	0,56

Zeichenerklärung: 1B = Einfachbogen, 1S = einfache Segmentierung,  
 2B = Doppelbogen, 2S = zweifache Segmentierung, 3B = Dreifachbogen,  
 3S = dreifache Segmentierung, KS = komplexe Segmentierung, MB = Mehrfachbogen,  
 MS = Mehrfachsegmentierung

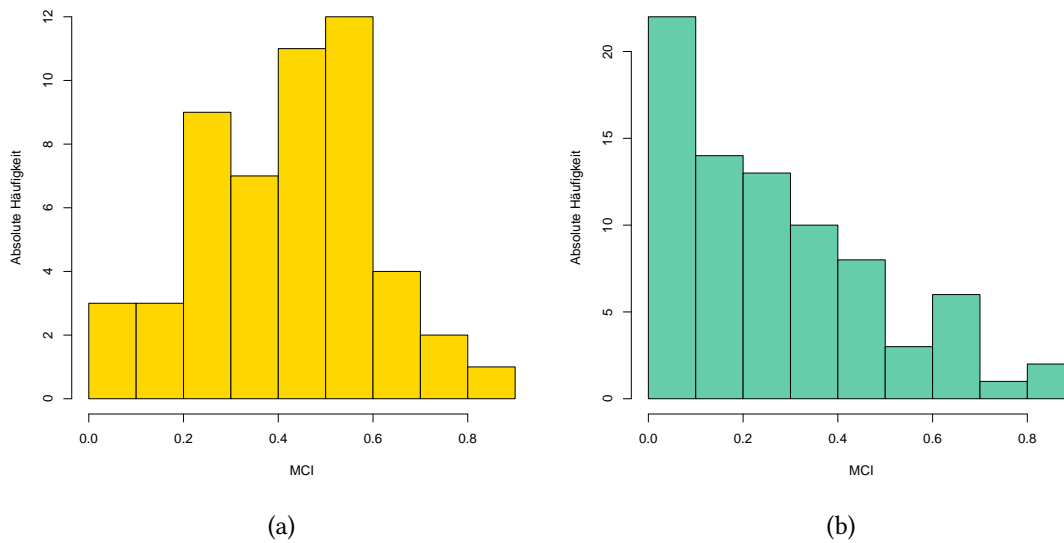
## 8.1.2 Melodiekomplexitätsindex (MCI)

Um das Verhältnis von einfachen zu komplexen Strukturen in einer Maßzahl auszudrücken, wurde auf Basis der absoluten Häufigkeiten der Strukturkategorien für jedes Kind ein Melodiekomplexitätsindex (MCI) berechnet (Kapitel 7.5.2). Die Histogramme in Abbildung 23 stellen die Verteilung der MCI-Werte für beide Gruppen dar. Während die Verteilung der Indizes der deutschen Neugeborenen (Abbildung 23b) eine klare rechtsschiefe Verteilung anzeigen – das heißt, der Gipfel befindet sich auf der linken Seite des Histogramms – zeigen die schwedischen Daten (Abbildung 23a) eine eher symmetrische bis linksschiefe Verteilung an. Der Gipfel liegt hier auf der rechten Seite des Histogramms. Die MCI-Werte der schwedischen Probanden weisen laut Shapiro-Wilk-Test eine hinreichende Normalverteilung auf ( $p = .40$ ). Die Werte für die deutschen Probanden weisen keine hinreichende Normalverteilung auf ( $p < .001$ ).

Die Tabelle 9 zeigt die Lage- und Streuungsmaße des kindbasierten MCI für jede Gruppe an. In Abbildung 24 ist die Verteilung der MCI-Werte pro Kind und Gruppe ohne Ausreißer dargestellt.



## 8 Ergebnisse

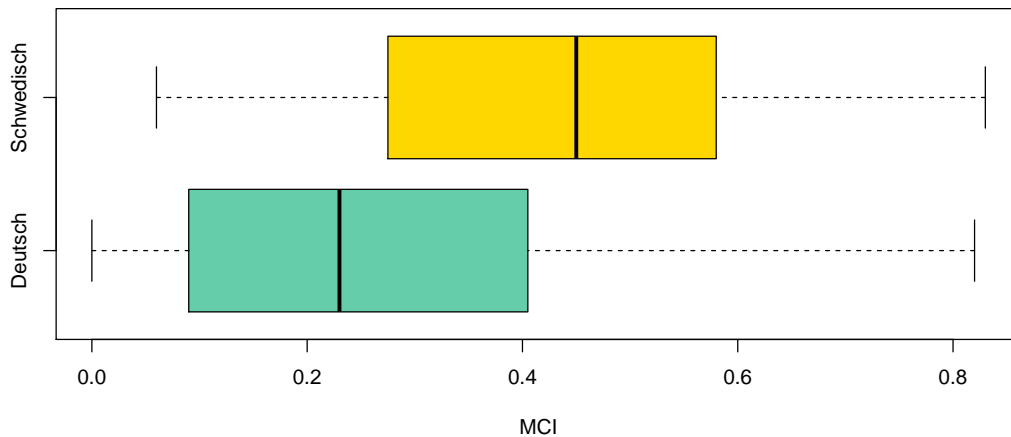


**Abbildung 23: Histogramme zur Verteilung der einzelnen kindbasierten MCI-Werte**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der einzelnen MCI-Werte pro Kind für die schwedische ( $n = 52$ ) und für die deutsche ( $n = 79$ ) Gruppe an.

**Tabelle 9: Ergebnis der Berechnung des MCI pro Kind und Gruppe**

Gruppe	n	Median	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum
Deutsch	79	0,23	0,28	0,22	0,00	0,82
Schwedisch	52	0,45	0,43	0,19	0,06	0,83

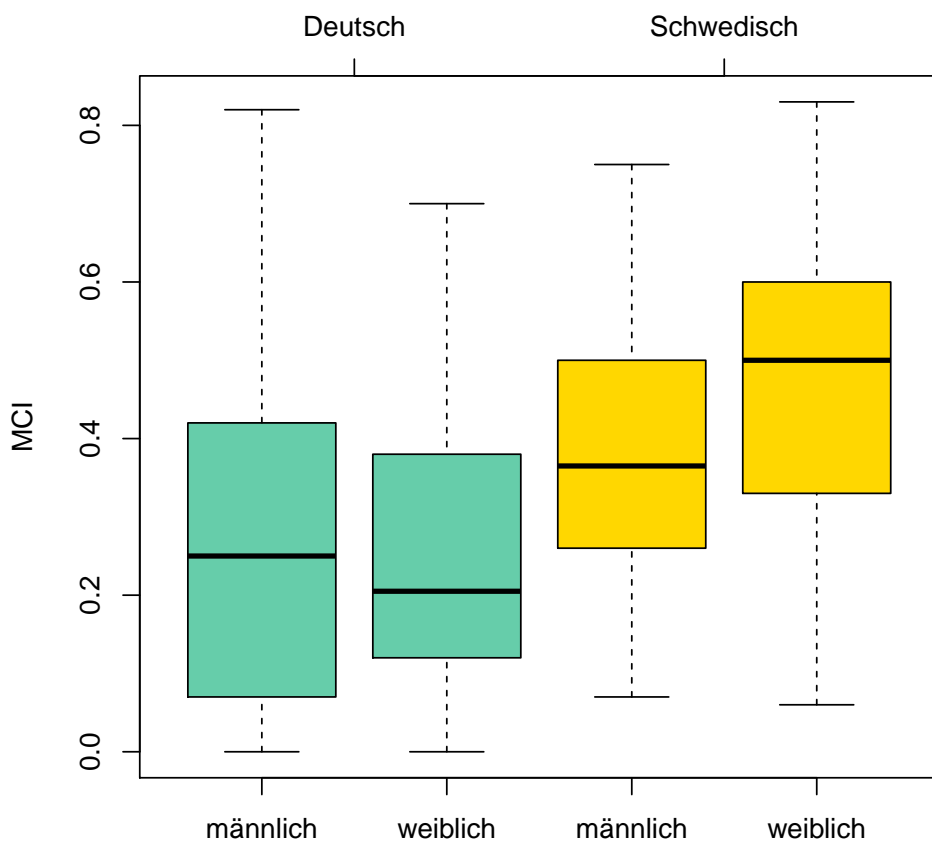


**Abbildung 24: Boxplot-Diagramm zur Verteilung der MCI-Werte pro Kind und Gruppe (Schwedisch:  $n = 52$ ; Deutsch:  $n = 79$ )**

Die Überprüfung der Gruppenunterschiede mittels Mann-Whitney-U-Test ergab einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der schwedischen und der deutschen Untersuchungsgruppe ( $p < 0.0001$ ). Ausgehend vom Median der Verteilung produzierten die schwedischen Neugeborenen zu 45 % komplexe Melodiestructuren, während die deutschen Neugeborenen nur zu 23 % komplexe Strukturen produzierten. Der Anteil an komplexen Melodiestructuren ist somit bei den schwedischen Neugeborenen fast doppelt so hoch wie bei den deutschen Neugeborenen.

Die Abbildung 25 gibt einen Überblick über die Verteilung der MCI-Werte differenziert nach Gruppe und Geschlecht. Sowohl die MCI-Werte für die männlichen schwedischen Probanden als auch die für die weiblichen schwedischen Probanden weisen laut Shapiro-Wilk-Test eine hinreichende Normalverteilung auf (weiblich:  $p = .31$ ; männlich:  $p = .94$ ). Bei den deutschen Probanden weisen die MCI-Werte weder für die weiblichen noch für die männlichen Probanden eine Normalverteilung auf (weiblich:  $p = .009$ ; männlich:  $p = .009$ ). Die männlichen deutschen Probanden besitzen einen etwas höheren durchschnittlichen MCI (Median: 0,25) als die weiblichen deutschen Probanden (Median: 0,21). Bei den schwedischen Probanden verhält es sich umgekehrt. Hier besitzen die weiblichen Probanden einen höheren MCI (Median: 0,50) als die männlichen Pro-

banden (Median: 0,37). Trotzdem besitzen sowohl die weiblichen als auch die männlichen schwedischen Probanden einen höheren durchschnittlichen MCI als die weiblichen bzw. männlichen deutschen Probanden. Die Überprüfung der Gruppenunterschiede nach Geschlecht ergab jeweils statistisch signifikante Unterschiede zwischen der schwedischen und der deutschen Untersuchungsgruppe (weiblich Schwedisch vs. weiblich Deutsch:  $p = .0005$ ; männlich Schwedisch vs. männlich Deutsch:  $p = .03$ ; Mann-Whitney-U-Test).



**Abbildung 25: Boxplot-Diagramm zur Verteilung der MCI-Werte pro Kind und Gruppe, differenziert nach Geschlecht**

Im Boxplot-Diagramm ist die Verteilung der kindbasierten MCI-Werte pro Gruppe und weiter differenziert in weibliche (Schwedisch:  $n = 30$ ; Deutsch:  $n = 38$ ) und männliche (Schwedisch:  $n = 22$ ; Deutsch:  $n = 41$ ) Probanden dargestellt.

## 8.2 Quantitative Analyse melodischer und zeitlicher Parameter

Im Folgenden werden die Verteilungseigenschaften und Häufigkeiten der melodischen Parameter *mittlere Grundfrequenz* ( $f_0$ ) und *Hubverhältnis* sowie des zeitlichen Parameters *Einzelschreilänge* beschrieben. Die deskriptive statistische Analyse erfolgte hier jeweils auf Basis der gesamten Anzahl an Lautäußerungen pro Gruppe (Schwedisch bzw. Deutsch). Durch die spezielle inferenzstatistische Analyse mittels Mixed-Model Nested ANOVA wurde die stark variierende Anzahl an Lautäußerungen pro Kind (Tabellen 5 und 6) bei der Auswertung berücksichtigt (Kapitel 7.5.4).

### 8.2.1 Mittlere Grundfrequenz

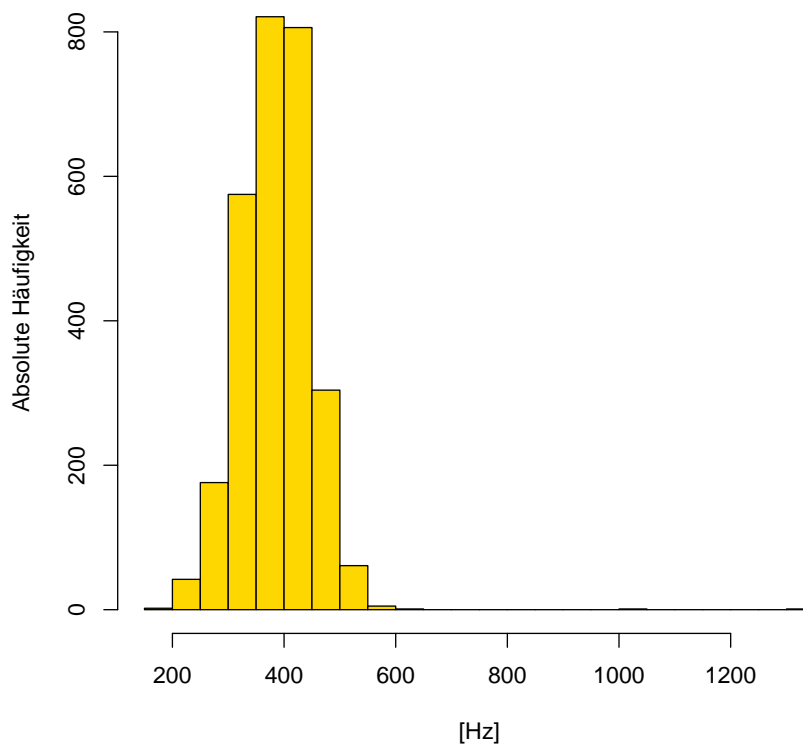
In den Abbildungen 26 und 27 werden zunächst die Verteilungen der mittleren Grundfrequenz (geometrischer Mittelwert) für alle schwedischen bzw. deutschen Lautäußerungen (Schreie) dargestellt.

Weder die Werte für die mittlere Grundfrequenz der schwedischen Lautäußerungen noch diejenigen für die deutschen Lautäußerungen weisen nach Shapiro-Wilk-Test eine hinreichende Normalverteilung auf (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p < .0001$ ).

**Tabelle 10: Lage- und Streuungsmaße der mittleren  $f_0$  aller schwedischen und deutschen Schreie, differenziert nach Geschlecht**

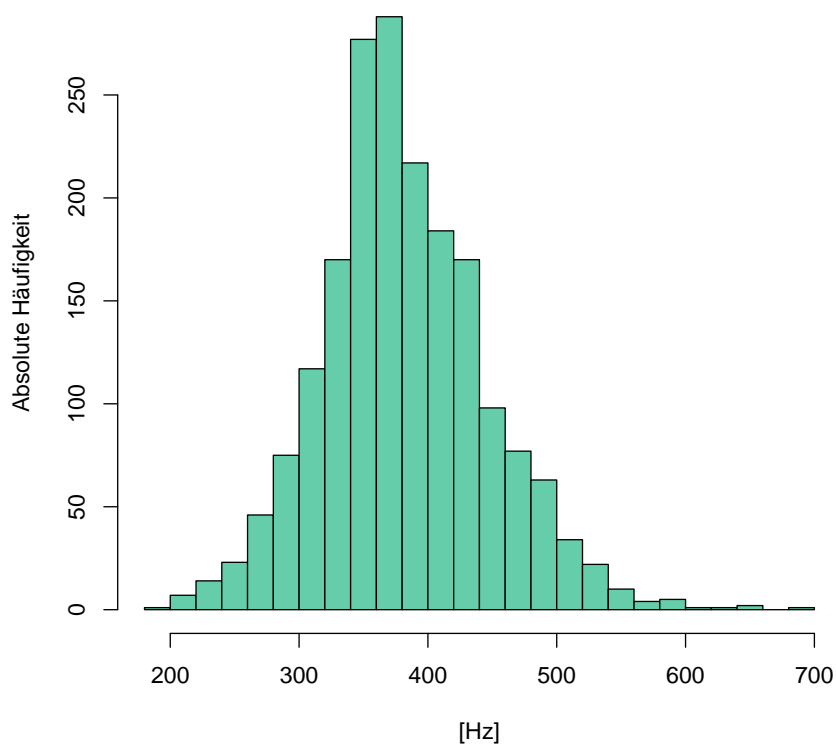
	Schwedisch			Deutsch		
	gesamt $n = 2795$	weiblich $n = 1468$	männlich $n = 1327$	gesamt $n = 1907$	weiblich $n = 867$	männlich $n = 1040$
<i>Mittelwert</i>	385,6	388,5	382,4	381,7	378,2	384,5
<i>SD</i>	63,4	64,6	61,9	64,2	67,7	60,9
<i>Median</i>	387,0	390,2	383,1	374,7	367,3	382,8
<i>Minimum</i>	159,0	159,0	208,4	185,0	200,6	185,0
<i>Maximum</i>	1345,1	599,5	1345,1	689,9	651,9	689,9

Tabelle 10 zeigt, dass sich die Lagemaße beider Gruppen kaum voneinander unterscheiden. Betrachtet man die Streuungsparameter, zeigt sich jedoch, dass die mittlere



**Abbildung 26: Histogramm zur Verteilung der mittleren  $f_0$  aller schwedischen Lautäußerungen**

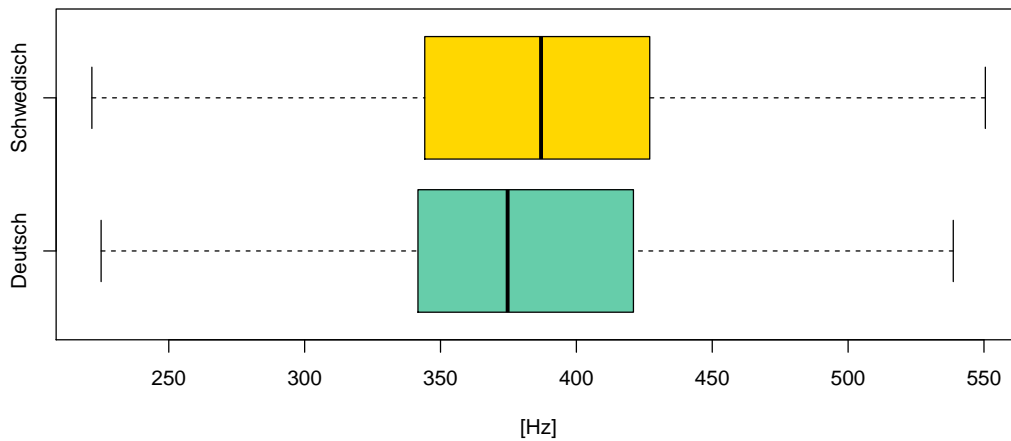
Das Histogramm zeigt die relative Verteilung der Werte für die mittlere Grundfrequenz für die Gesamtheit der schwedischen ( $n = 2795$ ) Lautäußerungen.



**Abbildung 27: Histogramm zur Verteilung der mittleren  $f_0$  aller deutschen Lautäußerungen**

Das Histogramm zeigt die relative Verteilung der Werte für die mittlere Grundfrequenz für die Gesamtheit der deutschen ( $n = 1907$ ) Lautäußerungen.

Grundfrequenz der schwedischen Gruppe eine weit größere Spannweite besitzt als die der deutschen Gruppe. So beträgt die Spannweite für die mittlere Grundfrequenz in der schwedischen Gruppe 1186,1 Hz, während sie in der deutschen Gruppe nur 504,9 Hz beträgt. Das Histogramm für die schwedischen Daten in Abbildung 26 zeigt, dass diese größere Spannweite durch Ausreißer verursacht wird. Dies verdeutlicht auch der relativ geringe Unterschied der Standardabweichungen der beiden Gruppen (Schwedisch: 63,4 Hz vs. Deutsch: 64,2 Hz). Abbildung 28 stellt die Verteilungseigenschaften, ohne Darstellung der Ausreißer, in einem Boxplot-Diagramm dar.



**Abbildung 28: Boxplot-Diagramm zur mittleren  $f_0$ , berechnet auf Basis aller Schreie pro Gruppe**

Es besteht kein signifikanter Unterschied ( $p = .95$ ) hinsichtlich der mittleren Grundfrequenz zwischen den beiden Gruppen (Mixed-Model Nested ANOVA).

Zusätzlich zum Intergruppenvergleich der mittleren Grundfrequenz wurde mittels Mixed-Model Nested ANOVA untersucht, ob sich diese innerhalb der beiden Gruppen zwischen den weiblichen und männlichen Probanden unterscheidet (Abbildung 29). Im Intragruppenvergleich nach Geschlecht zeigten sich weder innerhalb der schwedischen ( $p = .997$ ) noch innerhalb der deutschen ( $p = .297$ ) Gruppe signifikante Unterschiede zwischen der mittleren Grundfrequenz der weiblichen und der männlichen Probanden. Während die Schreie der weiblichen schwedischen Neugeborenen eine leicht höhere

mittlere Grundfrequenz als die der männlichen schwedischen Neugeborenen aufweisen, ist die mittlere Grundfrequenz der weiblichen deutschen Neugeborenen etwas niedriger als die der männlichen deutschen Neugeborenen (Tabelle 10). Vergleicht man – unabhängig von der Gruppenzugehörigkeit – alle Schreie von weiblichen Neugeborenen mit denen der männlichen Neugeborenen, ergeben sich hinsichtlich des Mittelwertes der mittleren Grundfrequenz nur geringe Unterschiede. Der Mittelwert für die mittlere Grundfrequenz beträgt bei den gesamten weiblichen Probanden  $385 \pm 66$  Hz (Median: 381,5 Hz, Minimum: 159,0 Hz, Maximum: 1345,1 Hz). Bei den gesamten männlichen Probanden beträgt der Mittelwert für die mittlere Grundfrequenz  $383 \pm 61$  Hz (Median: 383,0 Hz, Minimum: 185,0 Hz, Maximum: 689,9 Hz). Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = .535$ , Mixed-Model Nested ANOVA).

Zusätzlich zu dem oben dargestellten Vergleich der mittleren Grundfrequenz zwischen den beiden Untersuchungsgruppen, der auf Basis aller Schreie pro Gruppe erfolgte, wurden zusätzlich für jedes Kind je Gruppe die Lage- und Streuungsmaße der mittleren Grundfrequenz berechnet (Tabellen 11 und 12).

**Tabelle 11: Mittlere  $f_0$  pro Kind, Schwedisch (in Hz)**

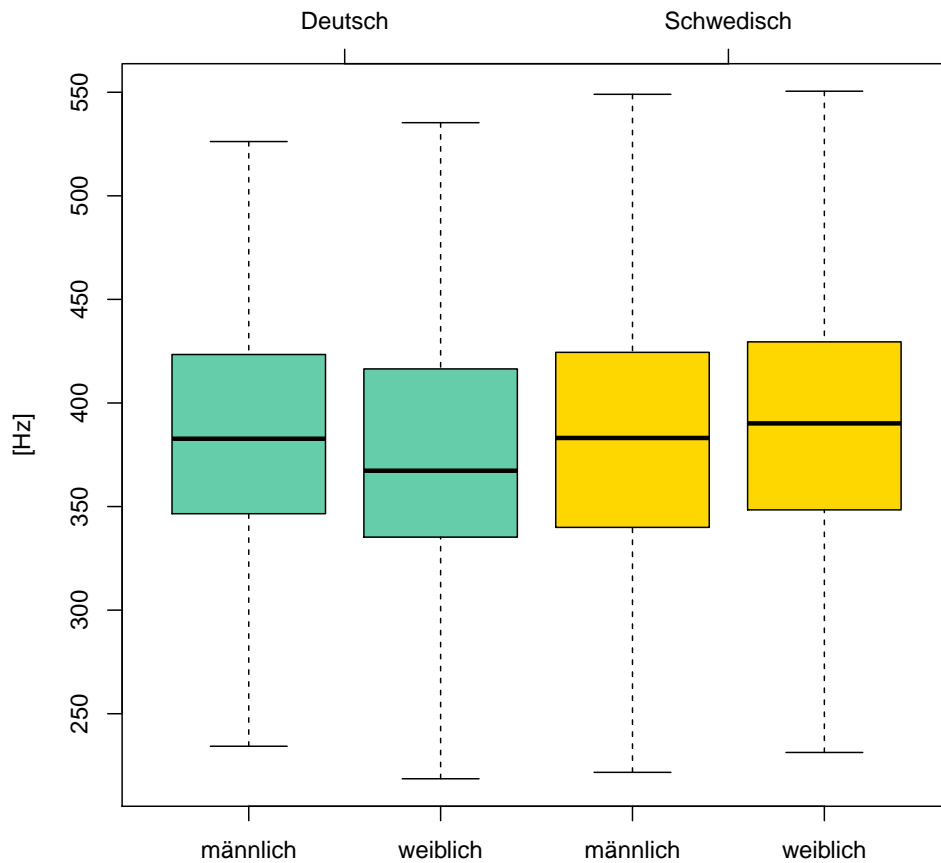
Kind	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
AA	412,7	46,6	297,1	529,3
AB	422,0	68,6	299,6	550,5
AC	317,7	28,5	253,7	486,6
AF	402,1	51,9	184,9	505,4
AG	326,7	19,4	287,6	350,0
AI	454,5	53,9	260,4	540,7
AJ	385,3	45,6	234,9	479,0
AK	335,9	50,1	219,1	441,5
AM	376,6	39,4	258,3	435,0
AN	332,9	43,2	208,4	428,0
AQ	413,1	33,4	355,3	466,7
AT	332,7	46,3	226,0	426,8
AV	303,5	40,8	237,2	378,2
AW	338,4	29,5	249,9	386,7
AX	368,9	51,6	281,2	496,0
AY	352,7	54,7	232,8	458,9
AZ	366,6	41,9	260,6	427,3
BD	380,6	25,4	319,1	419,9
BE	366,3	32,4	326,8	402,7
BG	377,8	38,1	273,6	447,6



## 8 Ergebnisse

Kind	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
BH	421,4	63,7	270,0	513,5
BI	381,4	33,0	284,7	456,4
BJ	415,8	176,6	272,7	1345,1
BK	338,7	38,6	262,0	397,6
BL	368,1	29,4	327,7	428,9
BN	369,3	29,7	262,9	454,5
BO	352,1	48,8	293,0	412,2
BQ	339,7	44,2	221,7	413,9
BR	365,2	40,9	258,8	438,2
BU	441,8	46,6	311,6	508,6
BX	368,1	45,9	253,2	457,3
CD	370,5	32,3	314,3	418,8
CG	410,4	49,1	308,3	470,1
CH	445,7	41,9	317,9	522,6
CK	324,8	45,8	241,2	388,9
CP	461,0	42,5	387,3	553,2
CQ	433,5	62,7	283,3	1004,2
CR	428,9	39,5	295,2	599,5
CS	408,5	26,4	307,5	463,7
CU	365,1	53,3	268,6	425,4
CV	433,1	31,3	343,0	500,0
CW	321,7	52,1	159,0	407,2
CY	398,1	39,9	340,1	468,0
DF	316,3	50,3	226,8	429,3
DG	408,6	49,0	298,5	521,3
DH	375,2	48,6	291,5	444,8
DI	387,9	50,9	232,3	480,6
DJ	341,3	23,8	275,7	412,2
DK	327,6	34,2	269,4	404,3
DM	332,9	40,1	248,4	419,8
DN	384,6	22,9	343,2	445,5
DP	383,5	46,5	269,5	488,5

Innerhalb der schwedischen Gruppe ist das Kind mit der niedrigsten mittleren Grundfrequenz (Mittelwert über alle Schreie) das Kind AV (303,5 Hz). Das Kind CP weist den höchsten Mittelwert für die mittlere Grundfrequenz auf (461,0 Hz). Bei den deutschen Kindern ist der niedrigste Mittelwert für die mittlere Grundfrequenz 288,8 Hz (Kind AT) und der höchste 521,1 (Kind XA). Während bei Betrachtung aller analysierten Schreie pro Gruppe die schwedische Gruppe eine größere Spannweite bezüglich der mittleren Grundfrequenz aufweist (siehe oben, Tabelle 10), ist die Spannweite bei Be-



**Abbildung 29: Boxplot-Diagramm zur Verteilung der mittleren Grundfrequenzwerte pro Gruppe, differenziert nach Geschlecht**

Das Boxplot-Diagramm zeigt die Verteilung der mittleren  $f_0$ -Werte aller weiblichen schwedischen ( $n = 1468$ ) und deutschen ( $n = 867$ ) sowie aller männlichen schwedischen ( $n = 1327$ ) und deutschen ( $n = 1040$ ) Schreie.

## 8 Ergebnisse

trachtung der mittleren Grundfrequenzwerte pro Kind und Gruppe bei der deutschen Gruppe größer.

**Tabelle 12: Mittlere  $f_0$  pro Kind, Deutsch (in Hz)**

Kind	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
AB	336,7	35,1	262,4	400,7
AC	349,7	42,2	282,6	483,7
AD	389,0	90,1	280,8	491,8
AR	387,0	35,4	303,3	462,1
AT	288,8	38,8	234,1	362,6
AU	352,8	53,1	229,2	436,8
AX	345,5	42,7	278,2	421,3
BA	425,6	16,3	381,9	453,1
BC	335,3	40,8	267,1	409,2
BD	343,5	53,7	200,6	459,6
BI	356,1	51,3	248,3	422,4
BQ	404,5	85,0	238,1	526,1
BR	369,1	54,9	270,9	435,6
BV	405,4	56,9	336,2	593,7
BZ	363,8	48,8	283,8	420,2
CB	373,9	36,1	338,8	429,7
CD	448,0	46,3	330,1	542,2
CF	361,5	26,8	306,7	420,5
CG	370,9	39,9	288,3	434,6
CH	328,6	64,5	216,3	413,5
CI	471,8	24,9	411,5	511,5
CN	324,5	37,9	234,3	367,2
CS	470,0	19,4	437,7	517,8
CV	472,0	73,5	255,8	541,0
CW	348,3	29,7	283,0	402,9
CY	390,1	50,9	251,2	452,7
DB	438,0	27,0	385,3	515,7
DC	413,2	27,4	327,6	459,6
DD	325,2	30,8	246,1	370,1
DF	416,7	48,8	323,0	507,2
DG	357,0	56,1	261,2	429,7
DH	413,2	34,5	319,5	450,4
DJ	300,2	33,2	218,6	340,5
DK	404,4	75,2	309,9	538,7
DL	409,9	40,8	326,0	463,9
DO	403,3	49,4	274,9	469,1
DQ	372,2	32,0	273,9	441,0
DR	378,1	31,3	249,8	421,1
DV	356,3	23,9	306,7	412,7

## 8 Ergebnisse

Kind	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
DW	342,0	39,1	256,5	403,7
DY	393,6	47,0	279,4	494,4
DZ	376,9	53,0	267,7	448,5
EE	323,9	54,1	201,9	386,9
EF	327,4	40,4	204,0	368,5
EH	354,9	12,0	334,2	393,1
EI	443,7	56,4	324,1	689,9
EL	342,3	19,0	309,3	375,6
EO	461,6	47,8	384,8	611,9
EQ	376,6	15,6	305,0	398,8
FA	341,2	42,4	185,0	400,0
FB	423,5	15,8	383,7	456,1
XF	356,6	17,9	326,9	387,8
XA	521,1	41,1	436,8	651,9
FG	316,6	48,2	233,9	372,0
XN	346,9	26,1	273,9	383,4
XB	426,9	18,1	396,6	471,5
FK	368,6	41,0	295,0	438,5
FM	505,7	36,8	447,4	584,5
XO	330,9	41,4	274,4	384,9
XQ	354,4	56,6	288,4	466,0
FP	323,1	30,6	268,0	380,6
FQ	339,3	25,9	290,4	382,6
FR	338,1	49,4	227,9	428,0
FS	311,2	48,0	241,9	382,1
FT	374,1	66,6	267,3	457,9
FU	517,5	51,4	443,2	645,6
FX	371,8	21,0	333,3	407,6
FY	352,6	43,7	268,8	404,7
FZ	389,2	30,3	320,2	471,8
GG	323,2	104,5	233,7	438,1
GK	331,4	64,7	247,5	472,6
GM	390,5	42,5	285,1	462,0
GO	378,4	36,0	283,6	427,3
GR	354,8	32,0	292,2	421,8
GS	462,0	69,7	262,5	632,3
GU	322,8	33,0	211,7	384,4
GV	344,2	26,7	263,2	392,6
GW	408,4	47,5	266,3	490,8
GZ	342,4	37,1	292,3	391,8

## 8.2.2 Hubverhältnis

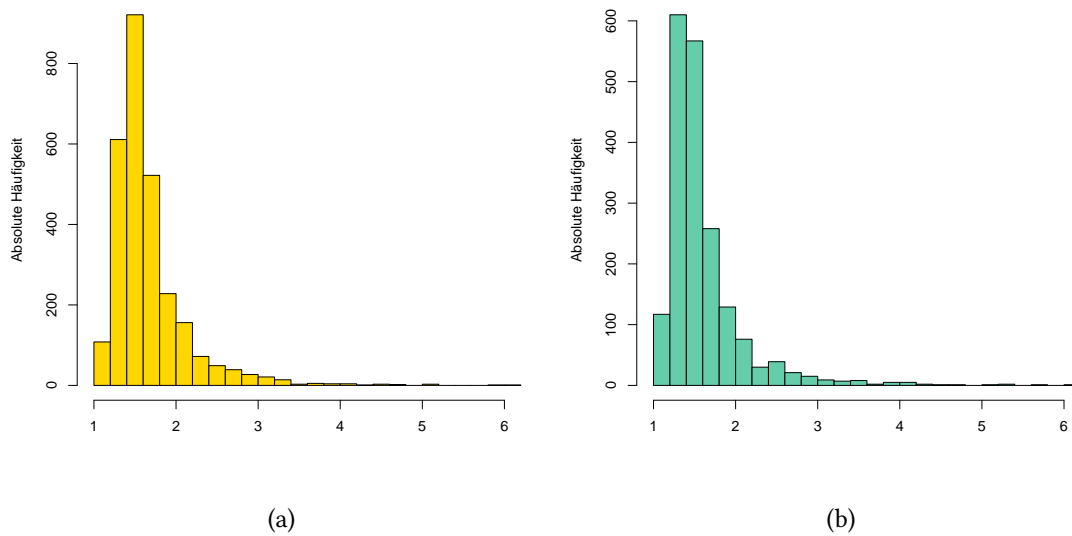
Zunächst werden die Ergebnisse des Vergleichs des Hubverhältnisses zwischen den gesamten schwedischen und deutschen Neugeborenen schreien dargestellt. Ein Faktor, der dieses Ergebnis beeinflussen kann, ist die Verteilung der Melodistrukturkategorien (Kapitel 8.1.1). So können zum Beispiel, wie in Kapitel 7.5.1 gezeigt, segmentierte Schreistrukturen auch Kurzlaute aufweisen. Diese haben, verglichen mit „echten“ Bögen, eine kürzere Dauer (< 300 ms) und weisen oft auch einen geringeren Hub auf. Eine ungleiche Auftretshäufigkeit dieser Elemente innerhalb der segmentierten Strukturen zwischen den Gruppen könnte sich somit auch auf das Ergebnis des Vergleichs des Hubverhältnisses der gesamten Schreie pro Gruppe auswirken. Aus diesem Grund wurde der Vergleich des Hubverhältnisses zwischen den Gruppen zusätzlich separat für die drei in beiden Gruppen am häufigsten vorkommenden Strukturkategorien *Einfachbogen*, *Doppelbogen* und *einfache Segmentierung* vorgenommen.

### 8.2.2.1 Vergleich des Hubverhältnisses aller schwedischen und deutschen Schreie

Weder die Werte für das Hubverhältnis der schwedischen Lautäußerungen noch die der deutschen Lautäußerungen weisen nach Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p < .0001$ ).

**Tabelle 13: Lage- und Streuungsmaße des Hubverhältnisses aller schwedischen und deutschen Schreie, differenziert nach Geschlecht**

	Schwedisch			Deutsch		
	gesamt <i>n</i> = 2795	weiblich <i>n</i> = 1468	männlich <i>n</i> = 1327	gesamt <i>n</i> = 1907	weiblich <i>n</i> = 867	männlich <i>n</i> = 1040
<i>Mittelwert</i>	1,67	1,72	1,61	1,61	1,59	1,63
<i>SD</i>	0,46	0,51	0,40	0,49	0,52	0,46
<i>Median</i>	1,55	1,58	1,52	1,47	1,44	1,50
<i>Minimum</i>	1,08	1,09	1,08	1,05	1,05	1,09
<i>Maximum</i>	6,02	6,10	5,20	6,10	6,02	5,31



**Abbildung 30: Histogramme zur Verteilung des Hubverhältnisses aller schwedischen (a) und deutschen (b) Laute**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der Werte für das Hubverhältnis für die Gesamtheit der schwedischen ( $n = 2795$ ) und deutschen ( $n = 1907$ ) Lautäußerungen.

Die in Tabelle 13 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass sich die Probandengruppen hinsichtlich der Lagemaße des Hubverhältnisses gering voneinander unterscheiden. So ist der Mittelwert mit 1,67 bzw. der Median mit 1,55 der schwedischen Gruppe etwas höher als der Mittelwert von 1,61 bzw. der Median von 1,47 der deutschen Gruppe. Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = .36$ , Mixed-Model Nested ANOVA).

In Abbildung 31 sind die Ergebnisse des Vergleichs des Hubverhältnisses zwischen den Schreien der deutschen und denen der schwedischen Gruppe ohne Ausreißer dargestellt.

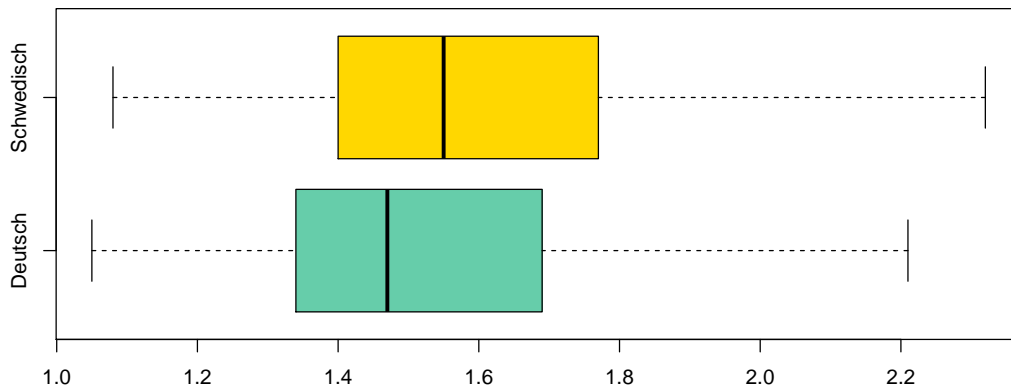


Abbildung 31: Boxplot-Diagramm zum Hubverhältnis aller schwedischen (n = 2795) und deutschen (n = 1907) Lautäußerungen

### 8.2.2.2 Vergleich des Hubverhältnisses nach Melodiestrukturkategorien

Die Lage- und Streuungsmaße des Hubverhältnisses der schwedischen und deutschen Schreie ist in Tabelle 14 für die gesamte Anzahl der analysierten Schreie und auch für die bei beiden Gruppen am häufigsten auftretenden Melodiestrukturkategorien *Einfachbogen*, *Doppelbogen* und *einfache Segmentierung* dargestellt.

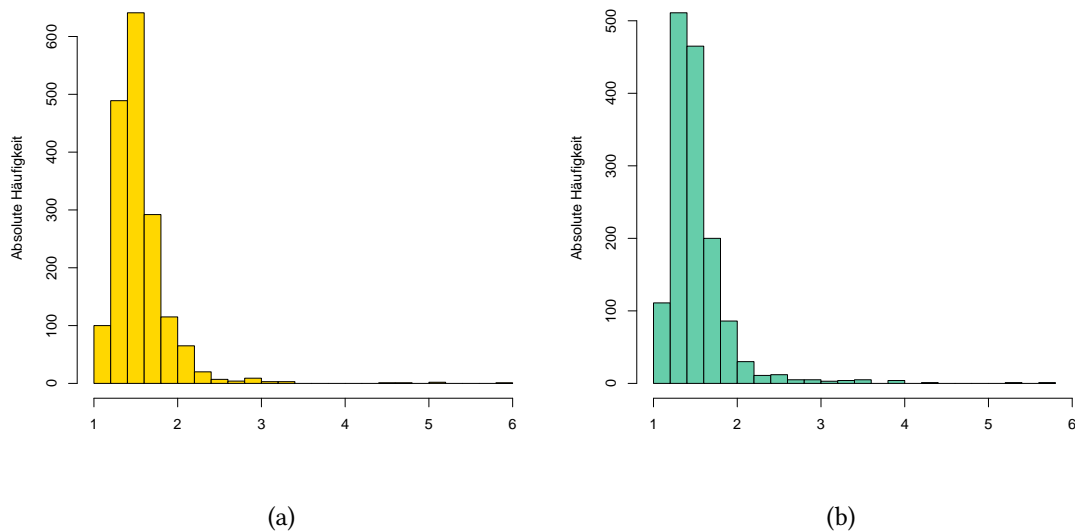
Tabelle 14: Lage- und Streuungsmaße des Hubverhältnisses nach Strukturkategorien

	Schwedisch				Deutsch			
	gesamt n = 2795	1B n = 1753	2B n = 430	1S n = 242	gesamt n = 1907	1B n = 1455	2B n = 208	1S n = 117
<i>Mittelwert</i>	1,67	1,55	1,62	1,90	1,61	1,52	1,54	2,06
<i>SD</i>	0,46	0,34	0,33	0,50	0,49	0,38	0,31	0,62
<i>Median</i>	1,55	1,48	1,55	1,75	1,47	1,44	1,46	1,97
<i>Minimum</i>	1,08	1,08	1,12	1,13	1,05	1,05	1,15	1,12
<i>Maximum</i>	6,02	5,84	3,77	4,43	6,10	5,67	3,45	4,19

Zeichenerklärung: 1B = Einfachbogen, 2B = Doppelbogen, 1S = einfache Segmentierung

**Einfachbogen (1B)** Weder die Werte für das Hubverhältnis der einfachböigen Schreie der schwedischen Lautäußerungen noch die für das der deutschen Laut-

## 8 Ergebnisse



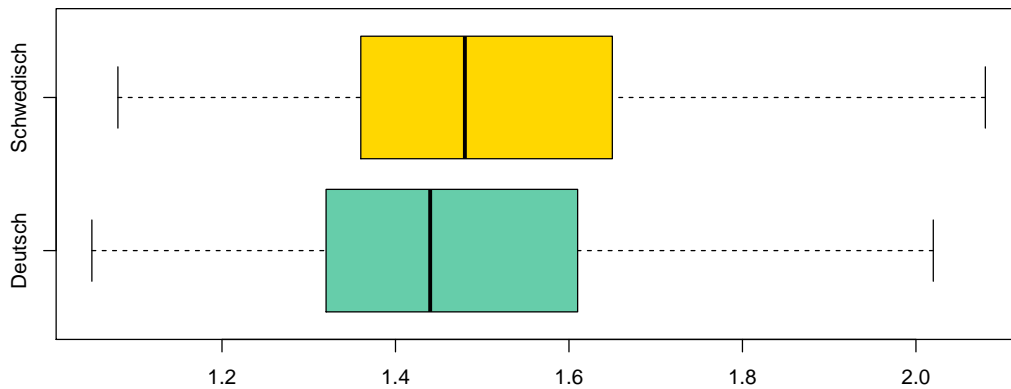
**Abbildung 32: Histogramme zur Verteilung des Hubverhältnisses aller schwedischen (a) und deutschen (b) einfachböigen Laute**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der Werte für das Hubverhältnis der einfachböigen schwedischen ( $n = 1753$ ) und deutschen ( $n = 1455$ ) Lautäußerungen.

äußerungen weisen laut Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p < .0001$ ).

Das Boxplot-Diagramm in Abbildung 33 und die Werte aus Tabelle 14 zeigen, dass die schwedischen einfachböigen Schreie mit einem Mittelwert von 1,55 (Median: 1,48) ein kaum höheres Hubverhältnis aufweisen als die deutschen Schreie mit einem Mittelwert von 1,52 (Median: 1,44). Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = .82$ , Mixed-Model Nested ANOVA).





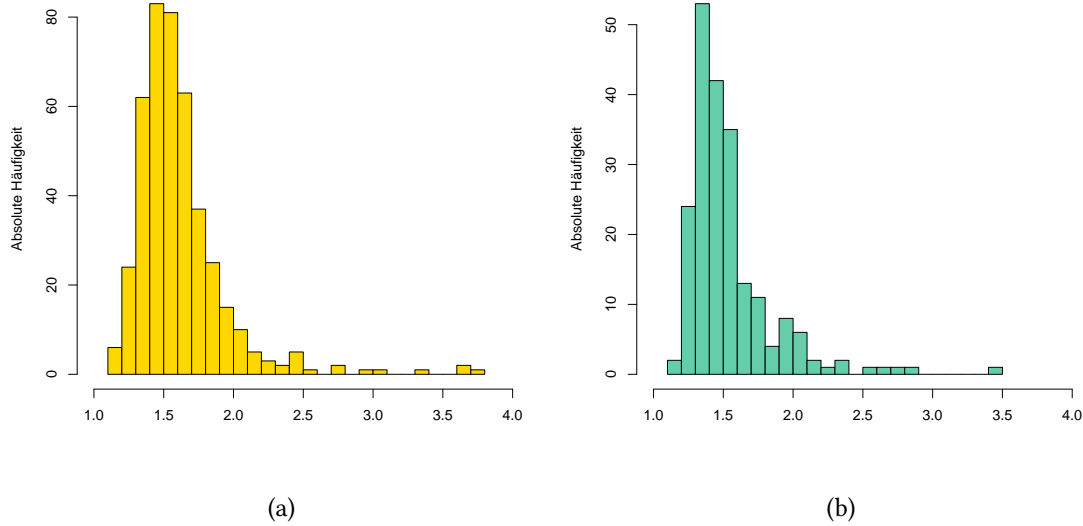
**Abbildung 33: Boxplot-Diagramm zum Hubverhältnis aller schwedischen (n = 1753) und deutschen (n = 1455) Schreie der Struktur 1B**

**Doppelbogen (2B)** Die Verteilung des Hubverhältnisses bei Schreien der Struktur 2B im Vergleich der schwedischen mit der deutschen Gruppe ist in der Abbildung 34 dargestellt.

Weder die Werte für das Hubverhältnis der doppelböigen Schreie der schwedischen Lautäußerungen noch die für das der deutschen Lautäußerungen weisen nach Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p < .0001$ ).

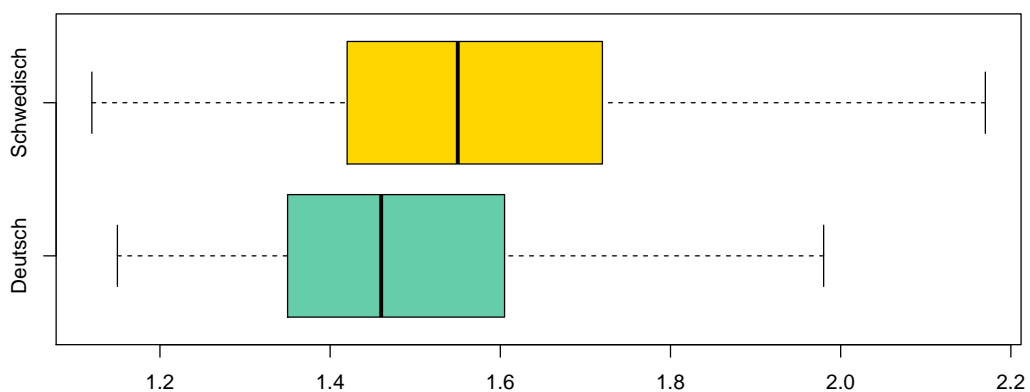
Die Abbildung 35 zeigt das Boxplot-Diagramm für das Hubverhältnis der doppelböigen Schreie im Vergleich der schwedischen mit der deutschen Probandengruppe. Auch hier ist das durchschnittliche Hubverhältnis bei den Schreien der schwedischen Kinder mit 1,62 (Median 1,55) etwas höher als bei den Schreien der deutschen Kinder (Mittelwert 1,54, Median 1,46). Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ( $p = .05$ , Mixed-Model Nested ANOVA).

## 8 Ergebnisse



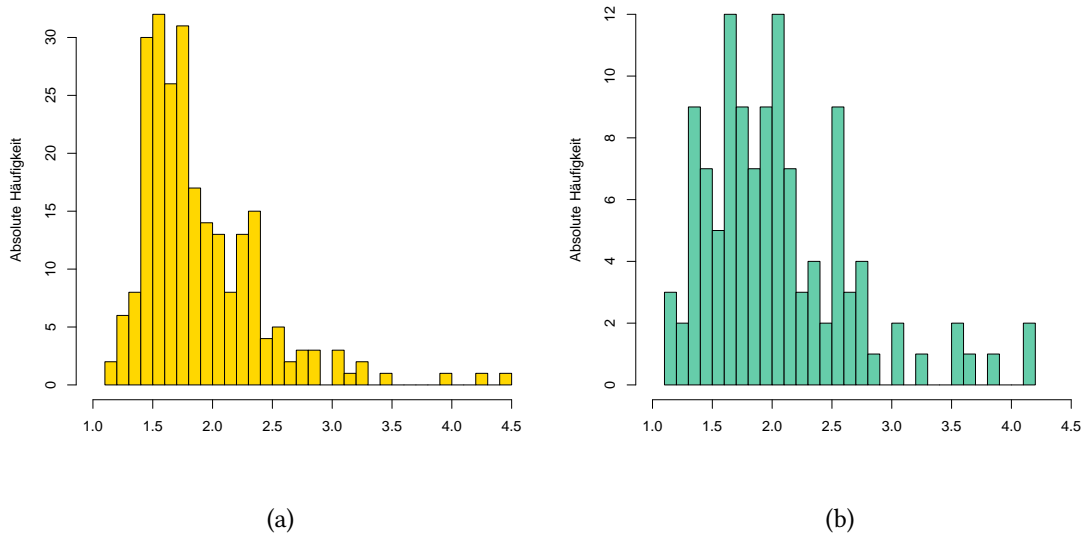
**Abbildung 34: Histogramme zur Verteilung des Hubverhältnisses der schwedischen (a) und deutschen (b) Schreie der Struktur 2B**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der Werte für das Hubverhältnis für die doppelböigen schwedischen ( $n = 430$ ) und deutschen ( $n = 208$ ) Lautäußerungen.



**Abbildung 35: Boxplot-Diagramm zum Hubverhältnis der schwedischen ( $n = 430$ ) und deutschen ( $n = 208$ ) Schreie der Struktur 2B**

**Einfache Segmentierung (1S)** Die Verteilung des Hubverhältnisses im Vergleich der schwedischen mit der deutschen Gruppe ist in der Abbildung 36 dargestellt.



**Abbildung 36: Histogramme zur Verteilung des Hubverhältnisses aller schwedischen (a) und deutschen (b) einfachsegmentierten Laute**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der Werte für das Hubverhältnis der einfachsegmentierten schwedischen ( $n = 242$ ) und deutschen ( $n = 117$ ) Lautäußerungen.

Weder die Werte für das Hubverhältnis der einfachsegmentierten Schreie der schwedischen Lautäußerungen noch die Werte für das Hubverhältnis der deutschen Lautäußerungen sind laut Shapiro-Wilk-Test hinreichend normalverteilt (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p < .0001$ ).

Im Gegensatz zu den Ergebnissen für die ein- und doppelböigen Strukturen weisen die einfachsegmentierten Schreie der schwedischen Gruppe mit 1,90 (Median: 1,75) durchschnittlich ein etwas geringeres Hubverhältnis auf als die Schreie der deutschen Gruppe mit 2,06 (Median: 1,97). Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = .44$ , Mixed-Model Nested ANOVA).

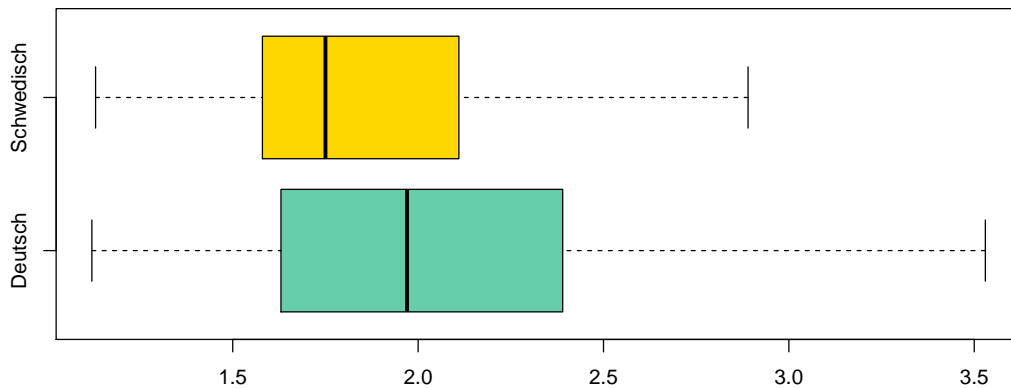


Abbildung 37: Boxplot-Diagramm zum Hubverhältnis der schwedischen (n = 242) und deutschen (n = 117) Schreie der Struktur 1S

### 8.2.3 Einzelschreilänge

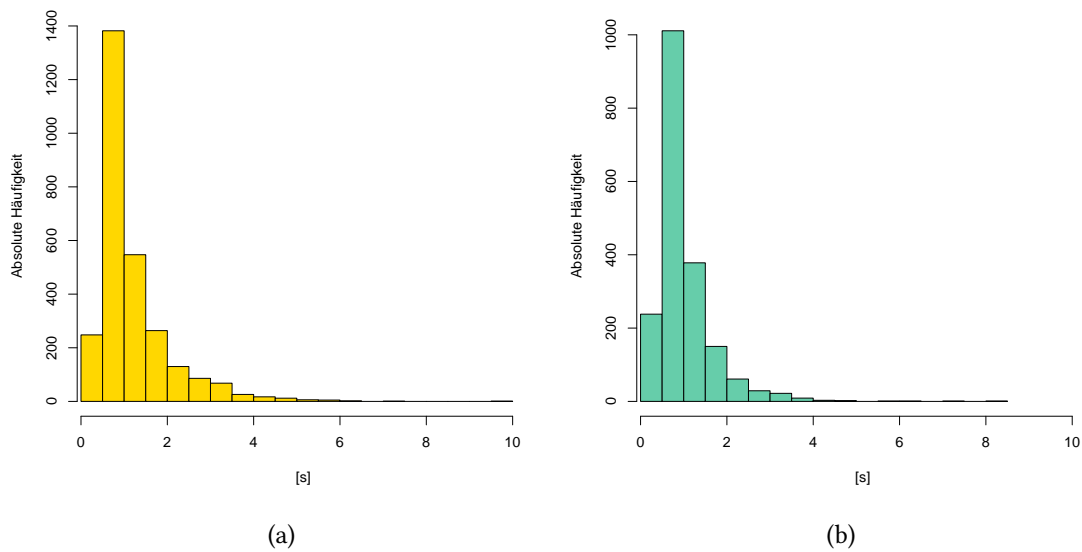
Zusätzlich zu den Parametern *durchschnittliche Grundfrequenz* und *Hubverhältnis* wurde als zeitlicher Parameter die durchschnittliche Einzelschreilänge der schwedischen und deutschen Neugeborenen verglichen. Nach einer Darstellung des Vergleichs der Einzelschreilänge aller Schreie beider Gruppen wird zusätzlich ein Vergleich der Einzelschreilänge für die drei häufigsten Kategorien *Einfachbogen*, *Doppelbogen* sowie *einfache Segmentierung* vorgenommen.

#### 8.2.3.1 Vergleich der Einzelschreilänge aller schwedischen und deutschen Schreie

Die Verteilung der Einzelschreilänge im Vergleich der schwedischen mit der deutschen Gruppe ist in Abbildung 38 dargestellt.

Weder die Werte für die Einzelschreilänge der schwedischen Lautäußerungen noch die für die der deutschen Lautäußerungen weisen nach Shapiro-Wilk-Test eine Normalverteilung auf (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p < .0001$ ).

## 8 Ergebnisse



**Abbildung 38: Histogramme zur Verteilung der Länge aller schwedischen (a) und deutschen (b) Laute**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der Werte für alle schwedischen ( $n = 2795$ ) und deutschen ( $n = 1907$ ) Lautäußerungen.

**Tabelle 15: Lage- und Streuungsmaße der Einzelschreilänge aller schwedischen deutschen Schreie, differenziert nach Geschlecht [in s]**

	Schwedisch			Deutsch		
	gesamt $n = 2795$	weiblich $n = 1468$	männlich $n = 1327$	gesamt $n = 1907$	weiblich $n = 867$	männlich $n = 1040$
<i>Mittelwert</i>	1,179	1,287	1,059	1,008	1,018	0,999
<i>SD</i>	0,851	0,929	0,738	0,663	0,603	0,710
<i>Median</i>	0,871	0,964	0,810	0,813	0,844	0,781
<i>Minimum</i>	0,303	0,303	0,315	0,304	0,304	0,311
<i>Maximum</i>	9,865	9,865	7,450	8,497	4,514	8,497

Die Abbildung 39 zeigt das Boxplot-Diagramm für die Einzelschreilänge der gesamten analysierten Schreie im Vergleich zwischen der schwedischen und der deutschen Probandengruppe. Das Boxplot-Diagramm sowie auch die Werte der Tabelle 15 zeigen, dass die Schreie der schwedischen Neugeborenen durchschnittlich ungefähr 170 ms länger sind als die Schreie der deutschen Neugeborenen. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ( $p = .0008$ , Mixed-Model Nested ANOVA). Die Mediane unterscheiden sich jedoch nur um 58 ms.

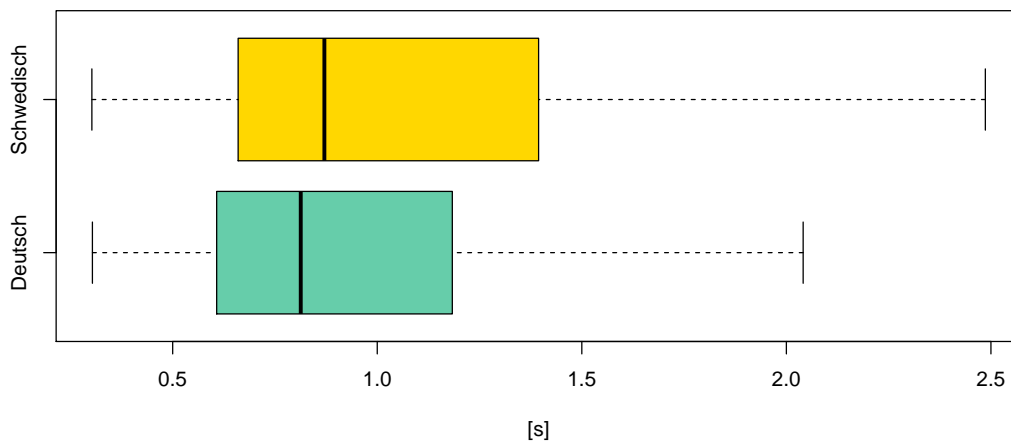


Abbildung 39: Boxplot-Diagramm zur Länge aller schwedischen ( $n = 2795$ ) und deutschen ( $n = 1907$ ) Schreie

### 8.2.3.2 Vergleich der Einzelschreilänge nach Melodistrukturkategorien

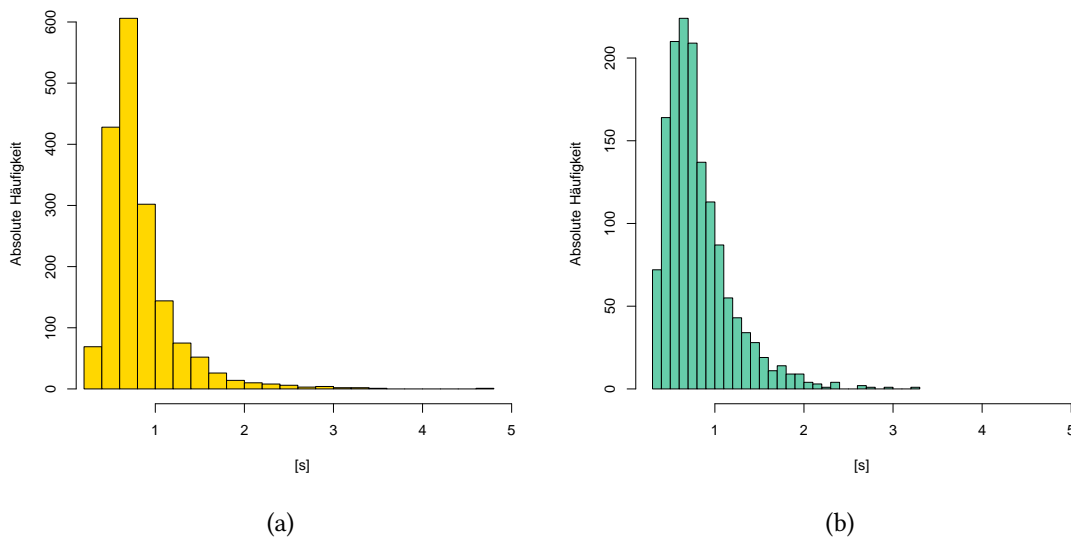
In Tabelle 16 sind die Lage- und Streuungsmaße der Einzelschreilänge der schwedischen und deutschen Schreie für alle analysierten Schreie dargestellt. Zusätzlich fand eine Differenzierung nach den bei beiden Gruppen am häufigsten aufgetretenen Melodistrukturkategorien *Einfachbogen*, *Doppelbogen* und *einfache Segmentierung* statt.

**Einfachbogen (1B)** Die Daten von keiner der beiden Gruppen weisen für die Einzelschreilänge eine hinreichende Normalverteilung auf (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p < .0001$ , Shapiro-Wilk-Test).

**Tabelle 16: Lage- und Streuungsmaße der Einzelschreilänge nach Strukturkategorien [in s]**

	Schwedisch				Deutsch			
	gesamt <i>n</i> = 2795	1B <i>n</i> = 1753	2B <i>n</i> = 430	1S <i>n</i> = 242	gesamt <i>n</i> = 1907	1B <i>n</i> = 1455	2B <i>n</i> = 208	1S <i>n</i> = 117
<i>Mittelwert</i>	1,179	0,816	1,293	1,455	1,008	0,813	1,240	1,503
<i>SD</i>	0,851	0,401	0,558	0,670	0,663	0,368	0,543	0,659
<i>Median</i>	0,871	0,722	1,148	1,277	0,813	0,723	1,110	1,416
<i>Minimum</i>	0,303	0,303	0,518	0,507	0,304	0,304	0,473	0,515
<i>Maximum</i>	9,865	4,762	4,523	5,081	8,497	3,210	3,750	3,266

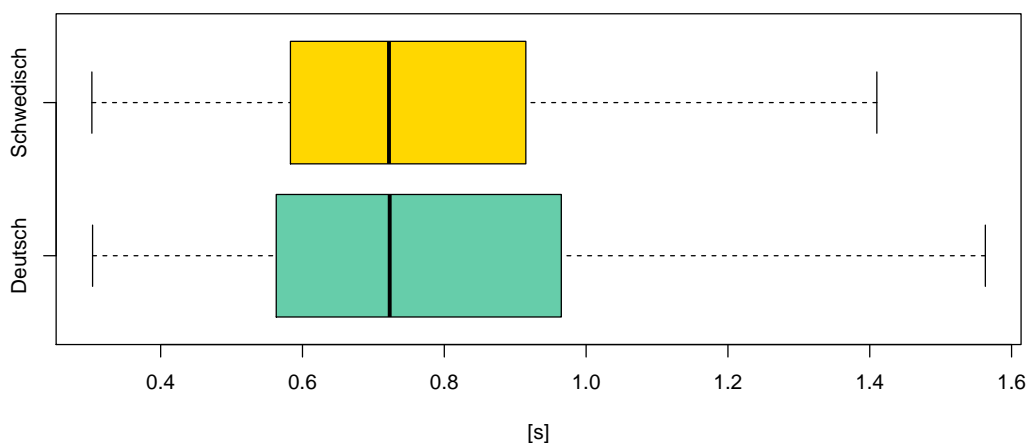
Zeichenerklärung: 1B = einfachböigige Strukturen, 2B = doppelböigige Strukturen, 1S = einfachsegmentierte Strukturen



**Abbildung 40: Histogramme zur Verteilung der Länge aller schwedischen (a) und deutschen (b) Schreie der Struktur 1B**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der Werte für alle schwedischen (*n* = 1753) und deutschen (*n* = 1455) Lautäußerungen.

Die Abbildung 41 gibt das Boxplot-Diagramm für die Einzelschreilänge der einfachböigen Laute wieder. Es zeigt, dass sich die Mediane der beiden Gruppen kaum unterscheiden (Schwedisch: 0,722 s, Deutsch: 0,733 s). Es liegt auch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen vor ( $p = .39$ , Mixed-Model Nested ANOVA).



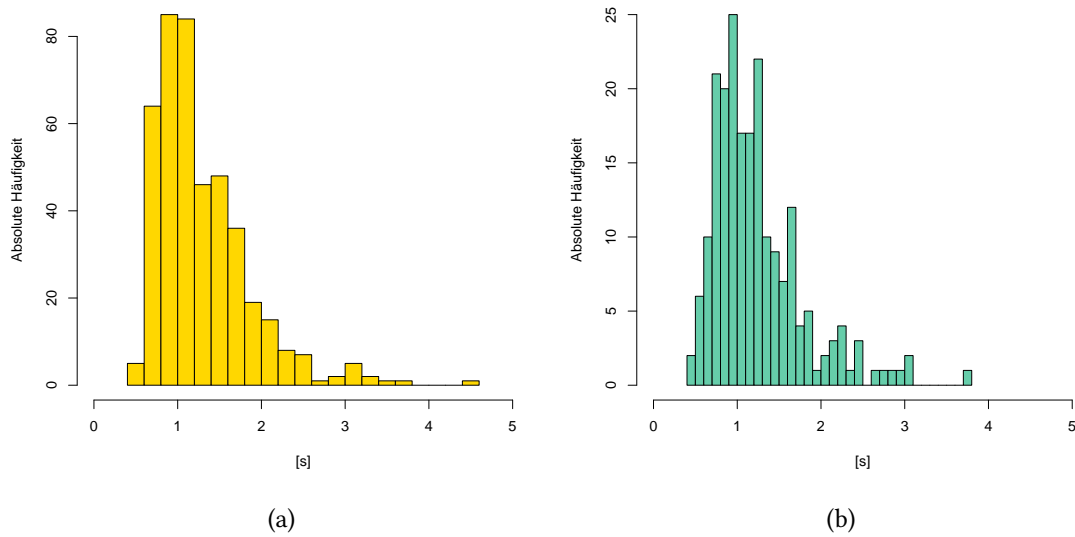
**Abbildung 41: Boxplot-Diagramm zur Länge aller schwedischen (n = 1753) und deutschen (n = 1455) Schreie der Struktur 1B**

**Doppelbogen (2B)** Die Verteilungseigenschaften der Einzelschreilängen aller doppelböigen Schreie sind in Abbildung 42 dargestellt. Die Werte beider Gruppen zeigen eine deutlich rechtsschiefe Verteilung. Für beide Gruppen liegt keine hinreichende Normalverteilung vor (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p < .0001$ , Shapiro-Wilk-Test).

Bezüglich der durchschnittlichen Einzelschreilänge der doppelböigen Laute bestehen nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. So weisen die Daten der schwedischen Gruppe einen Median von 1,148 s (Mittelwert: 1,455 s) auf, während der Median der deutschen Daten bei 1,110 s (Mittelwert: 1,240 s) liegt (Tabelle 16, Abbildung 42). Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = .12$ , Mixed-Model Nested ANOVA). Ein leichter Unterschied ergibt sich auch bezüglich der Spannweite. Sie beträgt für die schwedischen Daten 4,005 s und für die deutschen Daten 3,277 s.

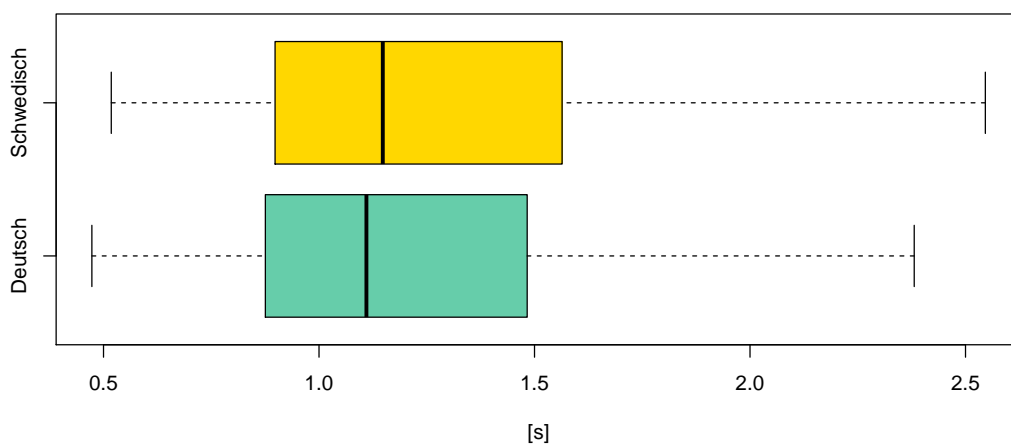


## 8 Ergebnisse



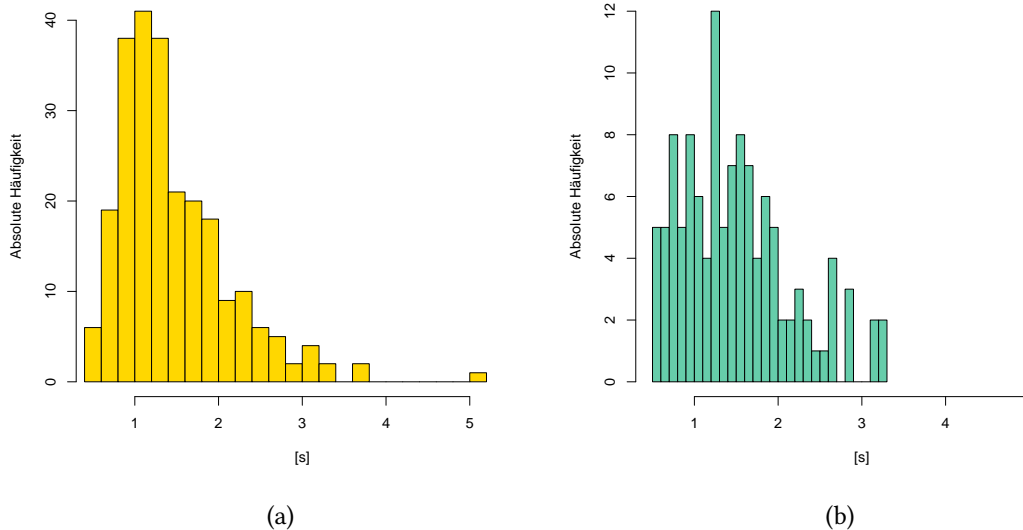
**Abbildung 42: Histogramme zur Verteilung der Länge aller schwedischen (a) und deutschen (b) Schreie der Struktur 2B**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der Werte aller schwedischen ( $n = 430$ ) und deutschen ( $n = 208$ ) Lautäußerungen mit 2B-Struktur.



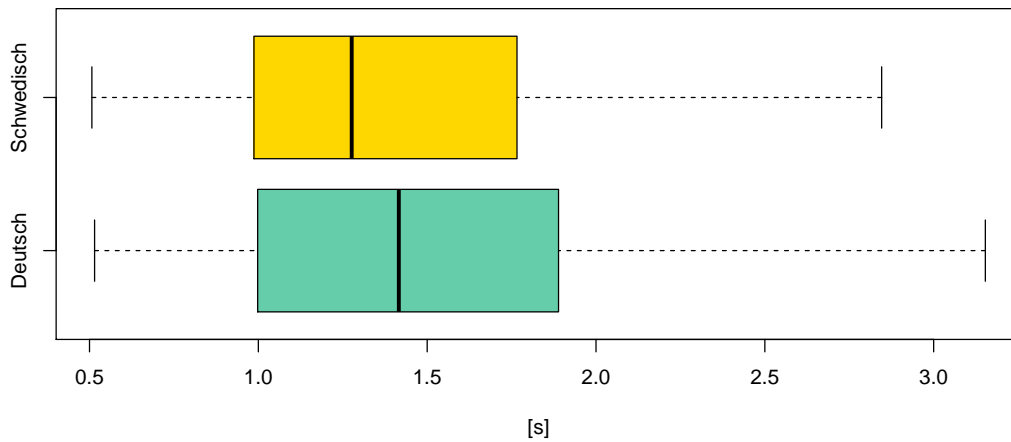
**Abbildung 43: Boxplot-Diagramm zur Länge der schwedischen ( $n = 430$ ) und deutschen ( $n = 208$ ) Schreie der Struktur 2B**

**Einfache Segmentierung (1S)** Die Daten beider Gruppen weisen laut Shapiro-Wilk-Test keine hinreichende Normalverteilung auf (Schwedisch:  $p < .0001$ ; Deutsch:  $p = .0002$ ). Während die Daten für die schwedischen Kinder die Tendenz zu einer rechts-schiefen Verteilung aufweisen, weisen die Daten der deutschen Kinder eine deutlich „unruhigere“ Verteilung mit einem Gipfel zwischen 1 und 1,5 s auf. Bei den schwedischen Daten liegt der Gipfel ungefähr bei 1 s. Dies spiegelt sich auch in den Lage- und Streuungsmaßen wider (Tabelle 16, Abbildung 45). So beträgt der Median für die Einzelschreilänge bei einfachsegmentierten Strukturen bei den schwedischen Kindern 1,277 s (Mittelwert: 1,455 s), während er bei den deutschen Kindern 1,416 s (Mittelwert: 1,503 s) beträgt. Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = .38$ , Mixed-Model Nested ANOVA). Wie bei den doppelbölgigen Strukturen ist auch hier die Spannweite bei den schwedischen Daten größer. Sie beträgt 4,777 s, während sie bei den deutschen Daten 2,751 s beträgt.



**Abbildung 44: Histogramme zur Verteilung der Länge aller schwedischen (a) und deutschen (b) Schreie der Struktur 1S**

Die Histogramme zeigen die relative Verteilung der Werte für alle schwedischen ( $n = 242$ ) und deutschen ( $n = 117$ ) Lautäußerungen mit 1S-Struktur.



**Abbildung 45: Boxplot-Diagramm zur Länge der schwedischen (n = 242) und deutschen (n = 117) Schreie der Struktur 1S**

Die Ergebnisse der Analyse der melodischen und zeitlichen Parameter zeigen, dass sich die mittlere Grundfrequenz bezogen auf alle Schreie nicht signifikant zwischen den beiden Probandengruppen unterscheidet. Auch das Hubverhältnis unterscheidet sich, basierend auf allen Lautäußerungen, nicht zwischen den beiden Gruppen. Beim Vergleich des Hubverhältnisses nach den bei beiden Gruppen am häufigsten auftretenden Strukturkategorien (*1B*, *1S* und *2B*) zeigt sich jedoch, dass sich die Schreie der Kategorie *Doppelbogen* hinsichtlich des Hubverhältnisses signifikant zwischen den beiden Gruppen unterscheiden. Bei der Analyse des zeitlichen Parameters *Einzelstreilänge* zeigt sich bei der Berechnung auf Basis aller Lautäußerungen ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Differenziert nach den Strukturtypen *1B*, *1S* und *2B* zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen der deutschen und der schwedischen Probandengruppe.

## 9 Diskussion

### 9.1 Melodische und zeitliche Parameter als Indikatoren für den Gesundheits- und Reifezustand von Neugeborenen

Wie in Kapitel 3.2 erläutert, gelten die mittlere Grundfrequenz und der Grundfrequenzverlauf bei Säuglingsschreien als Indikatoren für medizinische Auffälligkeiten und neurophysiologische Dysfunktionen bei Neugeborenen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die melodischen Parameter *mittlere Grundfrequenz* und *Hubverhältnis* sowie der zeitliche Parameter *Einzelstrecklänge* erfasst (Kapitel 8.2). Die in Kapitel 8.2 dargestellten Ergebnisse werden im Folgenden auf Basis der Forschungslage (Kapitel 3) diskutiert und interpretiert sowie die in Kapitel 6 aufgestellte HYPOTHESE 1 überprüft.

#### Mittlere Grundfrequenz

Da das Zentralnervensystem (ZNS) die Koordination der an der Erzeugung des Säuglingsschreis beteiligten respiratorischen, laryngealen und supralaryngealen Muskeln kontrolliert, können bestimmte akustische Parameter, hier im Besonderen die mittlere Grundfrequenz, Aufschluss über die Funktion des ZNS geben (Michelsson & Michelsson, 1999). So können sich Faktoren, wie zum Beispiel die pränatale Einwirkung von Noxen, eine Frühgeburt oder Mangelercheinungen, auf die akustischen Eigenschaften des Säuglingsschreis auswirken (Michelsson & Michelsson, 1999).

Alle im Rahmen der vorliegenden Untersuchung berechneten kindbasierten Mittelwerte der mittleren Grundfrequenz lagen innerhalb der von Bosma et al. (1965) und Soltis (2004) angegebenen Spannweite von 200 bis 600 Hz (Kapitel 3.2). Keines der untersuchten Neugeborenen wies eine erhöhte mittlere Grundfrequenz auf. Für eine medi-

zinische Auffälligkeit (z. B. Mangelerscheinung) oder neurophysiologische Dysfunktion des Neugeborenen gab es deshalb keinen Hinweis.

Zusätzlich wurden für beide Probandengruppen die Lage- und Streuungsmaße auf Basis aller analysierten Schreie pro Gruppe berechnet. Verglichen mit dem von Baeck & de Souza (2007) angegebenen Mittelwert von  $398 \pm 85$  Hz für Spontanschreie bei 1 Woche alten Neugeborenen wiesen beide Untersuchungsgruppen eine nur leicht niedrigere mittlere Grundfrequenz auf (Mittelwert Schwedisch:  $387 \pm 64$  Hz und Deutsch:  $384 \pm 67$  Hz). Die Ergebnisse setzen sich aber deutlich von den von Goberman & Robb (1999) sowie Michelsson et al. (2002) ermittelten mittleren Grundfrequenzwerten von  $457 \pm 61$  Hz bzw.  $496 \pm$  Hz bei Schmerzscreien von Neugeborenen innerhalb der ersten Lebenswoche ab.

Mampe (2012) ermittelte die mittlere Grundfrequenz von französischen monolingualen und bilingualen Neugeborenen, das heißt von Neugeborenen, deren Mütter während der Schwangerschaft Französisch und eine weitere Sprache gesprochen hatten. Es zeigten sich nur geringfügige Unterschiede zwischen den beiden Probandengruppen hinsichtlich der mittleren Grundfrequenz. So betrug die mittlere Grundfrequenz bei den monolingualen Neugeborenen durchschnittlich  $459 \pm 66$  Hz und bei den bilingualen Neugeborenen  $441 \pm 50$  Hz (Mampe, 2012). Die durchschnittlichen Grundfrequenzwerte beider französischen Probandengruppen ist jedoch eindeutig höher als die im Rahmen der vorliegenden Arbeit analysierten Schreie der schwedischen und deutschen Neugeborenen. Da sich in beiden Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen Probandengruppen hinsichtlich der mittleren Grundfrequenz zeigten, die Ergebnisse also in sich konsistent sind, scheinen die pränatal gehörten unterschiedlichen Sprachen auf die mittlere Grundfrequenz keinen Einfluss zu haben. Auch aus den Ergebnissen anderer vergleichender Studien lassen sich keine Hinweise auf einen Einfluss der pränatal gehörten Sprache auf die mittlere Grundfrequenz ableiten (z. B. Dahlem, 2008). Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse könnte die Verwendung von unterschiedlicher Software für die Signalanalyse sein. Während alle Melodien bei Mampe (2012) mit der Software *Computerized Speech Lab* (CSL, Modell 4500, KayPENTAX, USA) berechnet wurden, wurde für die Berechnung der Melodien im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Software *Praat* verwendet (Kapitel 7.4.3).

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Mampe (2012), zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schreien der schwedischen und den Schreien der deutschen Probanden hinsichtlich der Höhe der mittleren Grundfrequenz (Kapitel 8.2.1). Die Analyse der anthropometrischen Daten hat jedoch gezeigt, dass das längenbezogene Geburtsgewicht der schwedischen Neugeborenen signifikant höher ist als das der deutschen Neugeborenen (Kapitel 7.2). Der Befund, dass sich trotzdem keine signifikanten Unterschiede bezüglich der mittleren Grundfrequenz gezeigt haben, bekräftigt die Ergebnisse von Wermke & Robb (2010). Wermke & Robb (2010) untersuchten, ob die Körpermaße (längenbezogenes Geburtsgewicht, Geburtsgewicht allein, Rohrer-Index) einen Einfluss auf die mittlere Grundfrequenz von Spontanschreien von 131 Neugeborenen im Alter von 1 Woche haben. Sie konnten zeigen, dass die Körpermaße keinen signifikanten Einfluss auf die mittlere Grundfrequenz bei Neugeborenen haben.

In der vorliegenden Untersuchung wurde zudem erforscht, ob sich die mittlere Grundfrequenz geschlechtsabhängig unterscheidet. In Kapitel 3.1 wurde beschrieben, dass weibliche Neugeborene zwar kleinere Schildknorpelflügel und einen geringeren Abstand zwischen den Aryknorpeln aufweisen, sich jedoch der Durchmesser und die Länge der Glottis im Neugeborenenalter nicht geschlechtsabhängig unterscheiden (Fayoux et al., 2008); demnach sind auch keine geschlechtsabhängigen Unterschiede in der Höhe der mittleren Grundfrequenz im Neugeborenenalter zu erwarten. Dies bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung: Weder innerhalb der Gruppen noch im Intergruppenvergleich unterschieden sich die Mittelwerte der mittleren Grundfrequenz zwischen weiblichen und männlichen Probanden signifikant.

Die Ergebnisse bestätigen die in vorhergehenden Studien festgestellte Tatsache, dass die Variation der mittleren Grundfrequenz im Neugeborenenalter primär durch neurophysiologische Faktoren beeinflusst wird und nicht durch Körper- und Kehlkopfmaße (z. B. Zeskind, 1985; Wermke & Robb, 2010). „(...)  $f_0$  measures can be applied to the cries of full-term neonates without running the risk of data misinterpretation resulting from body size differences“ (Wermke & Robb, 2010, S. 392).

## Hubverhältnis

Zur Größe des Bogenhubs bzw. zum Hubverhältnis als Hinweis auf neurophysiologische Dysfunktionen und medizinische Auffälligkeiten von Neugeborenen gibt es wesentlich weniger Studien als zur mittleren Grundfrequenz. Im Rahmen der „klassischen“ medizinischen Schreiforschung wurde beobachtet, dass eine flache Melodiekontur und davon ausgehend auch ein geringes Hubverhältnis bei Schmerzschreien von Neugeborenen zusammen mit einer erhöhten mittleren Grundfrequenz bei einem Cri-du-chat-Syndrom (Vuorenkoski et al., 1966) und zusammen mit einer erniedrigten mittleren Grundfrequenz bei Chromosomenaberrationen (Lind et al., 1970; Michelsson, Tuppurainen & Aula, 1980) auftreten. Eine flache Melodiestructur ist jedoch allein noch kein Zeichen für eine neurophysiologische Dysfunktion. So konnte Wermke zeigen, dass bereits bei gesunden Neugeborenen in der ersten Lebenswoche regelhaft flache, relativ frequenzstabile Melodien in den Schreien auftreten (z. B. Wermke, 2002; Wermke & Mende, 2011, siehe auch Abbildung 2).

Wie bei der Berechnung der mittleren Grundfrequenz wurden für die Berechnung des Hubverhältnisses die Lage- und Streuungsmaße für beide Gruppen auf Basis aller analysierten Schreie ermittelt. Der Vergleich des Hubverhältnisses der gesamten schwedischen und deutschen Schreie zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen (Kapitel 8.2.2). Das durchschnittliche Hubverhältnis der schwedischen Gruppe lag bei 1,67 (Median: 1,55) und bei den deutschen Schreien bei 1,61 (Median: 1,47). Auch hinsichtlich der Spannweite des Hubverhältnisses glichen sich die beiden Gruppen. So betrug das Minimum bei beiden Gruppen knapp über 1 (Schwedisch: 1,08; Deutsch: 1,05) und das Maximum bei beiden Gruppen ungefähr 6 (Schwedisch: 6,02; Deutsch: 6,10). Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass gesunde Neugeborene in der ersten Lebenswoche Schreie produzieren, die ein Hubverhältnis von 1 bis 6 aufweisen, wobei die Darstellung der Verteilungen zeigt, dass die Mehrheit der Laute ein Hubverhältnis von 1 bis 2 besitzt (Abbildung 34). Da die Ergebnisse zwischen den Gruppen konsistent sind, können diese Ergebnisse als Referenzwerte für das Hubverhältnis von den Schreien gesunder Neugeborener interpretiert werden, die nicht vom pränatalen Sprachinput beeinflusst werden.

Das Hubverhältnis wurde zusätzlich separat für die bei beiden Gruppen am häufigsten aufgetretenen Melodiestrukturtypen *Einfachbogen (1B)*, *Doppelbogen (DB)* und *einfache Segmentierung (1S)* analysiert. Beim Vergleich der einfachböigen Schreie sowie der Schreie der Kategorie *1S* ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen. Beim Vergleich aller doppelböigen Schreie aber zeigte sich ein signifikanter Unterschied, das heißt, die schwedischen doppelböigen Schreie wiesen ein signifikant höheres Hubverhältnis auf als die deutschen doppelböigen Schreie. Der *p*-Wert liegt mit .05 jedoch an der oberen Schranke des Signifikanzniveaus.

Das größere Hubverhältnis der schwedischen doppelböigen Schreimelodien scheint nicht auf einen höheren neuromuskulären Reifegrad oder eine größere Lungenkapazität zurückzuführen zu sein. Zum einen müsste sich das signifikant größere Hubverhältnis dann auch in den Schreien der anderen Melodiestrukturkategorien zeigen, was aber nicht der Fall ist. Zum anderen konnte Wermke (2002) zeigen, dass sich die Bogenhübe mit zunehmender Reife in den ersten 6 Lebensmonaten abflachen, und somit wird das Hubverhältnis nicht größer, sondern es reduziert sich.

Wermke (2002) konnte darüber hinaus belegen, dass die ersten doppelböigen Strukturen bei den Schreien deutscher Neugeborener einen charakteristischen Melodieverlauf besitzen. So sind der Hub und die Länge des ersten Bogens normalerweise höher als der Hub und die Länge des zweiten Bogens (Wermke, 2002). Dies könnte möglicherweise die Basis für den Erwerb des trochäischen Betonungsmusters des Deutschen darstellen (Wermke et al., 2002). Dieses Charakteristikum könnte sich möglicherweise auch auf das Hubverhältnis des gesamten Schreies auswirken. Da die Untersuchung der Variation des Melodieverlaufs *innerhalb* der einzelnen Melodiestrukturkategorien – in diesem Fall innerhalb der Melodiestructur *2B* – nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit war, kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob eventuell unterschiedliche Melodieverläufe für die Unterschiede im Hubverhältnis zwischen den beiden Gruppen verantwortlich sind. Es wäre interessant, in einer weiteren Untersuchung zu erforschen, ob sich die Melodieverläufe bei doppelböigen Strukturen zwischen schwedischen und deutschen Neugeborenen unterscheiden, das heißt, ob bei den *2B*-Strukturen der schwedischen Neugeborenen zum Beispiel der erste Hub auch höher ist als der zweite Hub und inwiefern sich dies auf das Hubverhältnis des gesamten Bogens auswirkt und



darüber hinaus, ob dies möglicherweise auf den pränatalen Sprachinput zurückgeführt werden könnte. Für diese Analyse wäre es zum Beispiel möglich, das sogenannte EF-Modell (Evolon-Force-Modell)<sup>21</sup> zu verwenden. Dieses mathematische Modell wird in der Säuglingsschreiforschung zur Analyse der Melodiekontur angewandt und ermöglicht den objektiven Vergleich der Melodiekonturen anhand von 6 Parametern (weiterführende Information finden sich in Wermke & Mende, 2011).

## **Einzelschreilänge**

Zusätzlich zu den melodischen Parametern *mittlere Grundfrequenz* und *Hubverhältnis* wurde auch der zeitliche Parameter *Einzelschreilänge* im Rahmen der vorliegenden Untersuchung analysiert.

Ergebnisse der medizinischen Schreiforschung zeigten, dass eine vergleichsweise lange durchschnittliche Einzelschreilänge von 4,5 s bei Säuglingen mit Trisomie 21 auftritt (Wasz-Höckert, 1985, zitiert nach Soltis, 2004), wohingegen pränatale Traumata und perinatale Komplikationen zu einem verkürzten Säuglingsschrei führen können (Zeskind & Lester, 1978).

Die Länge des Einzelschreis ist auch abhängig vom Schreityp, das heißt davon, ob es sich um einen Schmerz- oder Spontanschrei handelt. So konnten Runefors, Arnbjörns-son, Elander & Michelsson (2000) bei 50 Neugeborenen während der Blutentnahme zeigen, dass die durchschnittliche Länge des ersten Schreis nach dem Einstechen der Nadel bei 2,7 s lag. Die Länge verringerte sich aber kontinuierlich bis zum 5. Schrei, der im Mittelwert nur noch 0,8 s lang war, was einen signifikanten Unterschied zu dem initialen Schmerzschi darstellte. Das heißt, dass zumindest der erste Schrei nach dem schmerzhaften Stimulus eine größere Länge aufweist (Runefors et al., 2000).

Den in Kapitel 8.2.3 ausgeführten Ergebnissen ist zu entnehmen, dass der Mittelwert für die Einzelschreilänge aller analysierten Laute der schwedischen Probanden bei 1,18 s (Median: 0,87 s) und der deutschen Probanden bei 1,01 s (0,81 s) liegt. Die durchschnittliche Einzelschreilänge beider Gruppen liegt also etwas unter der in der Literatur angegebenen Einzelschreilängen von 1,3 s (Wasz-Höckert et al., 1968) für Spontanschreie und

---

<sup>21</sup> Entwickelt von W. Mende, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften.

1,4 s (Michelsson et al., 2002) bzw. 2,6 s (Wasz-Höckert et al., 1968) für Schmerzschreie. Verglichen mit der von Mampe (2012) ermittelten durchschnittlichen Länge für einfachböige Schreie (monolingual: 0,75 s; bilingual: 0,78 s) haben die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung analysierten einfachböigen Schreie bei den schwedischen Neugeborenen eine geringfügig höhere durchschnittliche Länge von 0,82 s (Median: 0,72 s) und bei den deutschen Neugeborenen eine ebenso geringfügig höhere durchschnittliche Länge von 0,81 s (Median: 0,72 s) (Tabelle 16).

Die Mittelwerte der Einzelschreie wichen im Vergleich zwischen den beiden Probandengruppen nur geringfügig voneinander ab. Der Test auf Signifikanz mittels Mixed-Model Nested ANOVA, mit dem interindividuelle Variationen bezüglich der Anzahl der Schreie in der Analyse berücksichtigt werden können (Kapitel 7.5.4), zeigt allerdings einen signifikanten Unterschied. Eine mögliche Erklärung dafür lässt sich herleiten, wenn man den Vergleich der Einzelschreilängen differenziert nach Melodistrukturkategorien betrachtet. Innerhalb aller drei untersuchten Melodistrukturkategorien wurden – im Gegensatz zum Vergleich auf Basis aller Schreie – keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Einzelschreilänge zwischen den beiden Gruppen festgestellt (Kapitel 8.2.3.2). Es zeigte sich jedoch innerhalb beider Probandengruppen eine Zunahme der Einzelschreilänge von *Einfachbögen (1B)* über *Doppelbogen (1S)* zu *einfachen Segmentierungen (1S)*. Da die schwedischen Neugeborenen signifikant mehr komplexe, das heißt mehrfachböige und mehrfachsegmentierte, Schreie äußerten als die deutschen Neugeborenen (Kapitel 8.1.2), die verglichen mit den einfachböigen Schreien eine längere Einzelschreilänge aufweisen, spiegelt sich dies im Vergleich der Einzelschreilänge bezogen auf die Gesamtheit der Laute wider. Die Schreie der schwedischen Neugeborenen sind also per se nicht länger. Vielmehr könnte die unterschiedliche Auftrittshäufigkeit der Strukturkategorien zu diesen unterschiedlichen Ergebnissen führen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Untersuchung der Einzelschreilänge, aufgeteilt nach Melodistrukturkategorien, für eine differenzierte Analyse sinnvoll war.

Die eben dargestellte Interpretation der Ergebnisse des Vergleichs der quantitativen Analyse der melodischen und zeitlichen Parameter bestätigt die in Kapitel 6 aufgestellte HYPOTHESE 1. Die schwedischen und deutschen Neugeborenen schreie wiesen im Ver-

gleich keine Unterschiede hinsichtlich der melodischen Parameter *mittlere Grundfrequenz* und *Hubverhältnis* sowie des zeitlichen Parameters *Einzelschreilänge* auf, die auf einen unterschiedlichen Gesundheits- oder Reifezustand hinweisen. Potenzielle Unterschiede im Rahmen der vergleichenden Untersuchung des MCI können also nicht auf Unterschiede bezüglich des Gesundheits- oder Reifezustandes der Neugeborenen zurückgeführt werden.

## 9.2 Melodiestructur und MCI

Die in Kapitel 8.1.1 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Mehrheit der schwedischen Schreie als auch die der deutschen Schreie der Kategorie *Einfachbogen (1B)* zuzuordnen sind. Dies bestätigt die Ergebnisse von Wermke und Mende (z. B. Wermke, 2002; Wermke & Mende, 2011), die postulieren, dass gesunde, eutrophe Neugeborene bereits in der ersten Lebenswoche komplexe Melodiestructuren erzeugen können, obwohl die einfachen Melodiestructuren noch überwiegen. Das Ergebnis bestätigt somit die in Kapitel 6 aufgestellte HYPOTHESE 2. Wermke & Mende (2011) geben für die erste Lebenswoche an, dass der Anteil der einfachböigen Laute im Durchschnitt ungefähr 67 % beträgt (Kapitel 3.3). Bei den schwedischen Daten ist der Anteil mit nur 56,9 % geringer. Bei den deutschen Daten ist der Anteil größer, hier liegt er bei 72,4 %. Dementsprechend ist der Anteil der komplexen Melodiestructuren bei den schwedischen Probanden größer als bei den Deutschen, was sich in einem höheren Anteil *aller* komplexen Strukturkategorien äußert. Daraus folgend ergibt sich für die Schreie der schwedischen Neugeborenen ein durchschnittlicher Melodiekomplexitätsindex (MCI) von 0,43 (Median: 0,45) und für die der deutschen ein MCI von 0,28 (Median: 0,23). Dieser Unterschied ist statistisch signifikant (Kapitel 8.1.2) und bestätigt somit die HYPOTHESE 3.

Sowohl im *Intergruppenvergleich* als auch im geschlechtsabhängigen *Intragruppenvergleich* ist *1B* die häufigste Strukturkategorie, *DB* die zweithäufigste Kategorie, *1S* die dritthäufigste und *2S* die vierthäufigste Strukturkategorie, was auf ein angeborenes Entwicklungsprogramm hinweist. Dieses Ergebnis bestätigt den von Wermke (2002) postulierten angeborenen universellen Erzeugungsmechanismus, der von angeborenen

Protomodulen ausgeht, die dann – als einfachste Kombination – zu Doppelbögen kombiniert werden und weitergehend mit Segmentierungspausen kombiniert werden (Kapitel 3.3).

Wermke konnte bei deutschen Neugeborenen eine unidirektionale Entwicklung von einfachen zu komplexen Melodiestructuren in den ersten Lebensjahren zeigen (z. B. Wermke, 2002). Wenn die schwedischen Neugeborenen – wie die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung gezeigt haben – in der ersten Lebenswoche bereits einen höheren MCI aufweisen als die deutschen Neugeborenen, wäre es interessant zu untersuchen, wie sich die Melodieentwicklung in den ersten Lebensmonaten bei den schwedischen Säuglingen oder Säuglingen anderer Sprachen vollzieht. Weitere Untersuchungen dazu wären wünschenswert.

Wieso ist der Anteil an komplexen Melodien bei den schwedischen Neugeborenen größer als bei den deutschen Neugeborenen? Die Kriterien für die Auswahl der Probanden (Kapitel 7.1) sowie die Ergebnisse der quantitativen Analyse der melodischen und zeitlichen Parameter (Kapitel 8.2 und 9.1) schließen einen unterschiedlichen neurophysiologischen Reifegrad bzw. gesundheitlichen Zustand als Erklärung für dieses Ergebnis aus.

Eine mögliche Interpretation dieses Befundes wäre in der Prägung durch den pränatalen Einfluss der Muttersprache zu finden. Der bisher einzige „cross-linguistische“ Vergleich des MCI wurde von Dahlem (2008) anhand der Spontanschreie von 47 japanischen und 43 deutschen 1 Woche alten Neugeborenen durchgeführt. Die japanischen Neugeborenen wiesen im Mittelwert einen etwas höheren MCI auf als die deutschen Neugeborenen; dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant. So wiesen die japanischen Neugeborenen einen MCI-Mittelwert von 0,41 (Median: 0,44) auf und die deutschen Neugeborenen zeigten einen MCI-Mittelwert von 0,36 (Median: 0,31). Die Werte der japanischen Neugeborenen liegen auf einer Höhe mit den MCI-Werten der schwedischen Neugeborenen; diese liegen bei einem arithmetischen MCI-Mittelwert von 0,43 (Median: 0,45). Der durchschnittliche MCI der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung analysierten Schreie der deutschen Neugeborenen liegt jedoch mit 0,28 (Median: 0,23) unter dem von Dahlem (2008) ermittelten MCI für die deutschen Neugeborenen. Das ist überraschend, da sowohl die deutschen Probanden von Dahlem (2008)

als auch die deutschen Probanden der vorliegenden Untersuchung Teil des Probandenkollektivs der *Deutschen Sprachentwicklungsstudie* gewesen sind (Kapitel 7). Das heißt, die Kriterien für die Auswahl der Probanden als auch das Setting der Datenerhebung stimmten bei beiden Untersuchungen überein. Eine mögliche Begründung für die unterschiedlichen Ergebnisse könnte die unterschiedliche Anzahl der Probanden sein. In der Untersuchung von Dahlem (2008) wurden die Schreie von 43 deutschen Neugeborenen analysiert – in der vorliegenden Untersuchung waren es 79 deutsche Probanden. Weiterhin könnten Differenzen bei der Datenauswertung als Erklärung dienen: Wie in Kapitel 7.4 beschrieben, wurden alle erhobenen Schreie anhand von bestimmten melodischen und spektralen Merkmalen analysiert und klassifiziert. Für die weitere Analyse wurden dann alle Schreie ausgeschlossen, die der Kategorie *Kurzlaut*, *phonatorisches Rauschen* und *unklare Struktur* zugeordnet wurden (Kapitel 8). Hierbei wurden auch die Schreie der Kategorie *Kurzlaut* zugeordnet, die aus mehreren Kurzlauten während einer Expirationsphase bestanden. Der Kategorie *1S* (und auch *2S* etc.) wurden dann nur die Schreie zugeordnet, bei denen mindestens eines der beiden Elemente die Kriterien für einen Einfachbogen erfüllt. So konnte ausgeschlossen werden, dass vegetative Laute, die aus mehreren Kurzlauten bestehen, nicht als komplexe Laute gewertet werden. Dass bei der Untersuchung von Dahlem (2008) dieses Kriterium nicht angewandt wurde, könnte möglicherweise dazu geführt haben, dass die deutschen Probanden einen höheren MCI aufwiesen als die deutschen Probanden der vorliegenden Untersuchung. Dies könnte zum Beispiel durch einen höheren Anteil an vegetativen, segmentierten Lautäußerungen bedingt sein.

Wie bereits oben aufgeführt, könnte eine Erklärung für die signifikanten Unterschiede bezüglich des MCI bei den schwedischen und deutschen Neugeborenen der pränatale Einfluss der Muttersprache, hier im Besonderen der muttersprachlichen Prosodie sein. In den Kapiteln 2 und 3 wurde erläutert, welche Bedeutung die pränatale Sensibilität in Bezug auf Melodie und Rhythmus für die perzeptive und produktive Sprachentwicklung besitzt, was sich bereits bei 1 Woche alten Neugeborenen zeigt. Kinder nutzen prosodische Eigenschaften ihrer Muttersprache(n), um sich implizit grammatische Regularitäten zu erschließen („prosodic bootstrapping“) (z. B. Christophe, Nespore, Guasti

& van Ooyen, 2003). So konnten zum Beispiel Gervain & Werker (2013) zeigen, dass 7 Monate alte bilinguale Kinder sich differierende Syntaxen über prosodische Hinweise (Hervorhebungen) auf Phrasenebene, wie zum Beispiel Änderungen in der Tonhöhe oder Länge, erschließen.

Whalen, Levitt & Wang (1991) konnten zeigen, dass sich charakteristische Eigenschaften der muttersprachlichen Intonation im kanonischen Babbeln von 0;5 bis 1;1 Jahre alten Kindern zeigen.

Perzeptionsstudien konnten mithilfe der „Headturn Preference Procedure (HPP)“ zeigen, dass deutsche Kinder im Alter von 6 Monaten trochäische Betonungsmuster bevorzugen, während französische Kinder in diesem Alter zwar trochäische von jambischen Mustern unterscheiden können, allerdings keine Präferenz für eines von beiden zeigen (Höhle, Bijeljac-Babic, Herold, Weissenborn & Nazzi, 2009). Allerdings wurden in diesem Experiment nur Wörter als Stimuli verwendet – die Melodie weist dabei also eine schnelle Modulationsgeschwindigkeit auf, die von Säuglingen möglicherweise noch nicht wahrgenommen werden kann (z. B. Sheridan et al., 2010, Kapitel 2.2). Mampe et al. (2009) gehen hingegen davon aus, dass die Feten und Neugeborenen Unterschiede in der Intonationskontur auf einer übergeordneten Ebene, also auf der Phrasen- oder Satzebene, wahrnehmen, die langsamere Modulationseigenschaften besitzt. Sie konnten zeigen, dass sich prosodische Eigenschaften der Muttersprache, die auf Phrasen- oder Satzebene abgebildet werden, in den Schreimelodien wenige Tage alter Neugeborener widerspiegelt.

In Kapitel 4 wurde aufgezeigt, welche Besonderheiten die Prosodie der schwedischen Sprache im Vergleich zur Prosodie des Deutschen besitzt. Charakteristisch für die schwedische Intonation bzw. Prosodie sind die zwei verschiedenen Wortakzente. In zahlreichen Untersuchungen wurde bisher der Frage nachgegangen, ab wann sich diese durch unterschiedliche Melodieverläufe gekennzeichneten Wortakzente in den vorsprachlichen bzw. sprachlichen Lautäußerungen von schwedischen Kindern widerspiegeln. Engstrand, Williams & Lacerda (2003) untersuchten in einem Hör-Experiment, ob 5 Phonetiker in der Lage sind, bei jeweils 8 schwedischen und US-amerikanischen 12 bzw. 18 Monate alten Kindern anhand der Babbellaute die Sprachzugehörigkeit festzustellen. Die Ergebnisse zeigten jedoch bei keiner Altersgruppe einen signifikanten Effekt

der Sprache nach Einschätzung der Phonetiker (Engstrand et al., 2003). Anders verhält es sich, wenn für die Analyse signalanalytische Methoden herangezogen werden. Ota (2006) konnte zeigen, dass der charakteristische, fallende Grundfrequenzverlauf auf der betonten Silbe bei Akzent-II-Wörtern bereits in Wörtern von 16 bis 18 Monate alten mit Stockholm-Schwedisch aufwachsenden Kindern ( $n = 5$ ) auftritt. Engstrand et al. (1991) konnten zeigen, dass die von 17 Monate alten Kindern produzierten Akzent-II-Wörter im Vergleich zu Akzent-I-Wörtern und zweisilbigen Vokalisationen, die nicht als Wort identifiziert werden konnten, einen Anstieg der Grundfrequenz auf der zweiten Silbe aufwiesen. Dass diese charakteristischen Melodieverläufe eine Folge des Einflusses der Umgebungssprache sind, konnten Kadin & Engstrand (2005) belegen, indem sie anfangsbetonte zweisilbige Wörter von 18 Monate alten schwedischen ( $n = 11$ ) und US-amerikanischen ( $n = 16$ ) Kindern sowie 24 Monate alten schwedischen ( $n = 11$ ) und US-amerikanischen ( $n = 13$ ) Kindern anhand ihrer Melodiekontur verglichen. Es zeigte sich, dass die Melodiekontur und ihr zeitlicher Verlauf (Timing) bei den schwedischen Kindern denen der Akzent-II-Wörter der Erwachsenensprache glich. Die Melodiekontur und das Timing der von den US-amerikanischen Kindern produzierten Wörter ähnelte jedoch weder den schwedischen Akzent-I- noch den schwedischen Akzent-II-Wörtern. Kadin & Engstrand (2005) gehen daher davon aus, dass der Erwerb der Wortakzente bereits vor dem 18. Lebensmonat stattfinden könnte.

Wie die Untersuchung von Engstrand et al. (2003) zeigt, ist es durch ein alleiniges Anhören von kindlichen Lautäußerungen nicht möglich, die Muttersprache bzw. bestimmte Eigenschaften der muttersprachlichen Prosodie (Akzent I vs. Akzent II) festzustellen. Ebenso können Neugeborene noch keine prosodischen, lexikalisch-relevanten Grundfrequenzverläufe imitieren. Die Unterscheidung der schwedischen Wortakzente findet zwar auf Wortebene statt, jedoch prägen sie auch die „overall impression of intonation“ (Gårding, 1998) (Kapitel 4). Dies äußert sich vermutlich durch langsamere Modulationseigenschaften, die von den Feten schon intrauterin wahrgenommen und verarbeitet worden sein könnten. Wird der statistisch signifikant höher MCI der schwedischen Probanden also dahingehend interpretiert, dass er durch eine muttersprachliche Prägung hervorgerufen worden ist, ist damit *nicht* gemeint, dass sich bereits die charakteristischen Melodieverläufe von Akzent I und II in den Weinmelodien 1 Wo-

che alter Neugeborener zeigen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die schwedischen Neugeborenen im Mutterleib eine muttersprachliche Prosodie wahrgenommen haben, die – bedingt durch die zwei Wortakzente – durch stärkere Frequenzmodulationen gekennzeichnet ist als die mütterliche Prosodie, die die deutschen Neugeborenen gehört haben. Es wäre interessant zu untersuchen, ob es einen Zusammenhang zwischen dem MCI schwedischer Säuglinge in den ersten Lebenswochen und dem späteren Erwerb der Wortakzente gibt. Wermke et al. (2007) weisen auf einen möglichen Zusammenhang zwischen dem MCI im zweiten Lebensmonat und sprachlichen Leistungen im zweiten Lebensjahr hin. In Schweden haben Kinder, die von einer spezifischen Spracherwerbsstörung betroffen sind, häufig besonders Schwierigkeiten beim Erwerb des Kontrastes von Akzent I und II (Samuelsson & Löfqvist, 2006). Durch die Erforschung des Zusammenhangs von MCI und späteren Erwerb des Akzentkontrastes könnten möglicherweise neue Methoden für die Früherkennung von Risikokindern für eine spezifische Spracherwerbsstörung entwickelt werden.

Zudem wäre für ein vertieftes Verständnis der Einflüsse des pränatalen Sprachinputs eine größere vergleichende Studie wünschenswert, in der sowohl die Melodiekontur als auch die Melodiekomplexität von Neugeborenen schreien mit unterschiedlichem sprachlichen Hintergrund (z. B. Japanisch, Französisch, Schwedisch und Deutsch) untersucht werden.

### **9.3 Schreimelodien von Neugeborenen werden durch die Prosodie der Muttersprache geprägt: Erwerbsmechanismen und die Art des Inputs**

*„(...) innate potentialities are perfected by habit“*

*(Kugiumutzakis, 1998, S. 63)*

Die Ergebnisse von Mampe et al. (2009) und Mampe (2012) haben gezeigt, dass die pränatale Wahrnehmung der muttersprachlichen Prosodie einen Einfluss auf die Melodiekontur von Neugeborenen schreien zu haben scheint. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie haben diesen vorhergehenden Befund bestätigt und dahingehend erweitert, dass sie gezeigt haben, dass sich die pränatale Wahrnehmung der muttersprachlichen



Prosodie auch auf die Melodie*komplexität* von Schreien Neugeborener auswirken kann. In diesem letzten Abschnitt der Diskussion soll zum einen zusammenfassend diskutiert werden, welche Voraussetzungen von Seiten des Kindes für diese produktiven Leistungen gegeben sind und welcher Erwerbsmechanismus diesen Leistungen zugrunde liegen könnte. Zum anderen soll diskutiert werden welche Rolle dabei die Art des Inputs spielt.

Bezogen auf die sprachspezifischen Perzeptionsleistungen von Neugeborenen und jungen Säuglingen spricht Parncutt (2009) von einem zugrunde liegenden Lernprozess. Er definiert dabei Lernen als den Erwerb von Informationen, die das spätere Handeln beeinflussen. Bezogen auf die Prägung der Schreimelodien durch die Muttersprache könnte demnach ebenso von einem Lernprozess gesprochen werden. Dieser Lernprozess erfordert jedoch Voraussetzungen, die erfahrungs- und wahrnehmungsunabhängig sind (Hansen, 2003); so können Neugeborene zum Beispiel phonetische Kontraste wahrnehmen, die in natürlichen Sprachen vorkommen – unabhängig davon, ob sie diese Sprachen pränatal gehört haben oder nicht (z. B. Eimas, Siqueland, Jusczyk & Vigorito, 1971; Hansen, 2003).

Mampe et al. (2009) erklären den Erwerbsmechanismus der frühen sprachspezifischen Prägung der Schreie von Neugeborenen durch das Phänomen der Imitation. Schon wenige Minuten alte Neugeborene sind in der Lage, menschliche Handlungen zu imitieren (Kugiumutzakis, 1998). Neugeborene können Gesichtsausdrücke, Augenblinzeln, Lippen- und Zungenbewegungen imitieren (z. B. Field, Woodson, Greenberg & Cohen, 1982; Meltzoff & Moore, 1983; Kugiumutzakis, 1999). Dies funktioniert auch bei einer Pause zwischen Darbietung des Modells und der Imitation; die von Meltzoff & Moore (1994) untersuchten 6 Wochen alten Kinder konnten die Handlung sogar nach einer 24-stündigen Pause imitieren. Meltzoff & Moore (1998) gehen daher davon aus, dass die Imitation Neugeborener nicht *automatisch* und *reflexiv* ist. Klassische Reflexe, wie zum Beispiel der Moro- oder der Babinski-Reflex, können nämlich nicht initiiert werden, nachdem der Stimulus verschwunden ist (Meltzoff & Moore, 1999).

Meltzoff & Moore (1983) sehen in der Imitation den ersten beobachtbaren Akt der sozialen Verbindung zwischen dem Neugeborenen und anderen Menschen. Weniger als 40 Minuten alte Säuglinge können auch schon Laute imitieren oder versuchen es zumindest, diese Fähigkeit ist jedoch begrenzt durch die Unreife der neuromuskulä-

ren Kontrolle; in der Studie von Kugiumutzakis (1999) imitierten die Säuglinge nämlich den Laut /a/, jedoch nicht die Laute /m/ und /ang/. In einer weiteren Studie konnten Chen, Striano & Rakoczy (2004) zeigen, dass 1 Woche alte Neugeborene in der Lage sind – ohne Vokalisation der Laute – die Mundbewegungen des Vokals /a/ (Mund öffnen) und des Konsonanten /m/ (Mund schließen) zu imitieren. Dabei spielte es keine Rolle, ob die Neugeborenen die Augen geschlossen oder geöffnet hatten, während ihnen die Laute dargeboten wurden. Chen et al. (2004) berufen sich bei der Interpretation dieser Ergebnisse auf ein Modell von Kuhl & Meltzoff (1996), das davon ausgeht, dass Neugeborene über eine *auditory-articulatory map* verfügen, die die Beziehung zwischen Mundbewegungen und Lautwahrnehmungen abbildet. „(...) it suggests that newborns can map perceived sounds onto corresponding mouth movements, even if they have not seen these mouth movements in others“ (Chen et al., 2004, S. 46). Im Gegensatz dazu ist die Imitation von Melodiekonturen nicht durch die supralaryngeale, neuromuskuläre Unreife begrenzt, da die laryngeale Kontrolle bei Neugeborenen bereits funktioniert (Mampe et al., 2009). Somit stellt die Imitation muttersprachlicher prosodischer Eigenschaften sogar eine einfachere Handlung dar als die Imitation von Lippen- und Zungenbewegungen, die weitaus höhere Anforderungen an die noch unreife supralaryngeale Kontrolle stellt (Kapitel 3.2). Dies spricht für das Vorhandensein einer *auditory-laryngeal map* zum Zeitpunkt der Geburt.

Im Kontext von Bindungstheorien wird das Schreien von Neugeborenen als kommunikatives Mittel angesehen, das für die erfolgreiche Bindung zwischen einem Neugeborenen und seiner Bezugsperson unerlässlich ist (Bowlby, 1969, zitiert nach Papoušek, 1984) und sich schon früh in der menschlichen Evolution entwickelt hat:

„Crying arose early in mammalian evolution as an adaption for the requirement of maternal contact and sustenance of an infant, where the need to re-establish contact between mother and infant was essential for infant survival in those instances when contact was lost“ (Newman, 2007, S. 155).

Die Imitation der mütterlichen Melodiekontur ist demnach die einzige Möglichkeit für das Neugeborene, die mütterliche Sprache zu imitieren (Mampe et al., 2009). Meltzoff & Moore (1998) gehen, wie oben beschrieben, davon aus, dass diese frühe Imitation Neugeborener nicht reflexiv ist, sondern intentional und volitional: „It [imitation, A. P.] is not

solely driven by the information presented to the senses but appears to be under voluntary control“ (Meltzoff & Moore, 1998, S. 57). Weiter stellt Meltzoff drei Bedingungen auf, die eine Imitation definieren:

„(1) the observer produces behavior similar to that of the model, (2) the perception of an act causes the observer’s response, and (3) the equivalence between the acts of self and other plays a role in generating the response. Equivalence need not be registered at a conscious level, but if it is not used at any level in the system (neurally, cognitively, computationally), the soul of imitation has been snatched away.“ (Meltzoff, 2005, S. 55)

Werden diese Bedingungen mit dem Befund, dass sich in den Schreien Neugeborener bestimmte akustische Eigenschaften der muttersprachlichen Prosodie widerspiegeln, zusammengeführt, ergibt sich folgendes Bild: Die Melodiekonturen weisen Ähnlichkeiten zu bestimmten Eigenschaften der muttersprachlichen Prosodie auf (1), da Neugeborene eine angeborene Sensibilität für Melodie und Rhythmus besitzen und sie die muttersprachliche Prosodie bereits intrauterin wahrgenommen und verarbeitet haben (2). Über die Imitation der muttersprachlichen Prosodie versucht das Neugeborene, eine Bindung zur Mutter herzustellen (3). Demnach wären die drei Bedingungen von Meltzoff (2005), nach denen man bei den frühen sprachspezifischen produktiven Leistungen von einer Imitation sprechen könnte, erfüllt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie haben gezeigt, dass die Schreie der schwedischen Neugeborenen einen signifikant höheren MCI aufweisen als die Schreie der deutschen Neugeborenen. Geht man davon aus, dass die Entwicklung von einfachen zu komplexen Melodien bei allen Kindern universell abläuft (Wermke, 2011b), stellt sich die Frage, ob der höhere MCI der schwedischen Neugeborenen eine Form der Imitation darstellt oder ob die schwedische Prosodie eher als eine Art Trigger für die Melodiebogenentwicklung fungiert. Bevor diese Fragestellung weiter ausgeführt wird, soll zunächst noch einmal zusammenfassend dargestellt werden, welche Voraussetzungen von Seiten des Kindes die frühen perzeptiven und produktiven prosodierelevanten Leistungen ermöglichen.

Wie ausführlich in Kapitel 2 dargestellt, können Feten infolge der pränatalen Reifung des zentralen und peripheren Hörsystems im letzten Drittel der Schwangerschaft auditive Stimuli wahrnehmen und Frequenzen diskriminieren. Eine weitere Erklärung für die erstaunlichen muttersprachspezifischen perzeptiven und produktiven Leistungen von 1 Woche alten Neugeborenen ist das Phänomen des fetalen Gedächtnisses. Das

fetale Gedächtnis bezeichnet die postnatale Beibehaltung von pränatal erworbenen Informationen, die implizit geschieht, das heißt keiner bewussten Kontrolle unterliegt (Parncutt, 2009). Behaviorale Studien haben gezeigt, dass Neugeborene vibroakustische (z. B. Gonzalez-Gonzalez et al., 2006), musikalische (z. B. Hepper, 1988) und sprachliche (z. B. DeCasper & Spence, 1986) Stimuli wiedererkennen, die sie pränatal wahrgenommen haben. Das fetale *auditive* Gedächtnis für pränatal wahrgenommene Melodiekonturen reicht mindestens 6 Wochen weit (Granier-Deferre, Bassereau, Ribeiro, Jacquet & DeCasper, 2011). Die Ergebnisse von Granier-Deferre et al. (2011) liefern den ersten direkten Beleg dafür, dass speziell die *Melodiekontur* – unabhängig von anderen melodischen und zeitlichen Parametern – vom Fetus pränatal verarbeitet werden kann und auch Wochen nach der Geburt noch im Gedächtnis gespeichert ist (Granier-Deferre et al., 2011). Fetale Gedächtnisleistungen sind damit die Grundlage für frühe postnatale prosodierelevante produktive Leistungen.

Die Tatsache, dass Neugeborene pränatal gehörte Melodien und Rhythmen memorieren können, ist allerdings noch keine hinreichende Erklärung für die prosodierelevanten Leistungen von Seiten der Lautperzeption und -produktion. Weiterführende Erklärungen liefern die Ergebnisse von elektrophysiologischen Studien.

Im Gegensatz zu segmentaler Sprachinformation wird suprasegmentale (prosodische) Information bereits auf subkortikaler Ebene verarbeitet (Krishnan, Xu, Gandour & Cariani, 2005; Krishnan & Gandour, 2009; Krishnan, Gandour & Bidelman, 2012).

Durch die Aufzeichnung der *frequency-following response (FFR)*<sup>22</sup> konnten Jeng et al. (2011) belegen, dass 1 Woche alte chinesische und US-amerikanische Neugeborene Melodiekonturen von Sprache auf Hirnstammebene abbilden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Neugeborenen beider Nationalitäten genau gleich stark auf das chinesische, einsilbige Wort (zugleich englischer Vokal /i/) reagierten wie ein amerikanischer Erwachsener, jedoch nicht so stark wie ein chinesischer Erwachsener. Jeng et al. (2011) erklären die Unterschiede zu den Erwachsenen damit, dass Neugeborene alle mit denselben Verar-

---

<sup>22</sup> Die Aufzeichnung der FFR ist eine elektrophysiologische Messung, die es ermöglicht, Mechanismen der Tonhöhenkodierung des auditiven Systems zu erfassen (Jeng et al., 2011). Das bedeutet: Die Grundfrequenz eines auditiven Stimulus erscheint als korrespondierende Gipfel („Peaks“) in den aufgezeichneten Wellen („waveform“); diese spektrale Energie kann daraufhin als Zeitfunktion im Spektrogramm dargestellt werden (Jeng et al., 2011).

beitungsmechanismen dafür ausgestattet sind, Änderungen der Tonhöhe wahrzunehmen. Im Erwachsenenalter verändert sich diese Fähigkeit durch die Erfahrung mit Sprache (Krishnan et al., 2005; Krishnan & Gandour, 2009) und auch Musik (Kraus & Banai, 2007). „We infer that the role of the brainstem is to facilitate cortical level processing of pitch-relevant information by optimally capturing those dimensions of the auditory signal that are of linguistic relevance“ (Krishnan & Gandour, 2009, S. 142). Nach Jeng et al. (2011) ist die linguistische Erfahrung von Neugeborenen noch nicht so groß, als dass von einer auf die muttersprachliche Prosodie bezogenen Veränderung dieser Fähigkeit gesprochen werden kann; eine solche Veränderung, das heißt eine muttersprachsspezifische Anpassung der Perzeption, ist wahrscheinlich erst in der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres erreicht, wenn Kinder die Fähigkeit verlieren, jeden Phonemkontrast zu diskriminieren (z. B. Kuhl et al., 2006).

Die Ergebnisse behavioraler Studien haben gezeigt, dass Neugeborene schon nach der Geburt ihre Muttersprache präferieren; Kisilevsky et al. (2003) gehen davon aus, dass dieser Präferenz kortikale Prozesse zugrunde liegen. Darauf weisen auch die Ergebnisse elektrophysiologischer Studien hin, die belegt haben, dass Feten und Neugeborene Änderungen eines auditiven Stimulus bezüglich der Grundfrequenz auf kortikaler Ebene wahrnehmen können (z. B. Sambeth et al., 2009, Kapitel 2.1.3). Dies könnte möglicherweise auch auf die führen prosodierelevanten produktiven Leistungen von Neugeborenen übertragbar sein.

Studien, in denen bildgebende Verfahren eingesetzt wurden, konnten erste Hinweise über die funktionelle Organisation bezüglich der kortikalen Sprachperzeption bei Neugeborenen liefern. So zeigte sich beim Vorwärtshören sprachlicher Stimuli eine klare Dominanz des linken Temporallappens im Vergleich zum Rückwärtshören (Peña et al., 2003). Sato et al. (2012) konnten diese Ergebnisse noch erweitern, indem sie den Neugeborenen auch nicht-muttersprachliche Stimuli vorspielten. Die von ihnen untersuchten japanischen Neugeborenen reagierten mit einem stärker ausgeprägten links-dominanten Aktivierungsmuster beim Vorwärtsabspielen im Vergleich zum Rückwärtsabspielen, wenn sie ihre Muttersprache hörten, als beim Hören von englischen Stimuli, die von derselben Sprecherin gesprochenen wurden. Sato et al. (2012) interpretieren dieses Ergebnis auf zweierlei Weise. Einerseits könnte die Reaktion der Neuge-

borenen durch ein neurales Abstimmen auf bestimmte akustische Eigenschaften wie Melodie und Rhythmus der Muttersprache – bedingt durch die pränatale Erfahrung – hervorgerufen worden sein. Andererseits könnte dieses Ergebnis aber auch darin seine Ursache haben, dass Japanisch und Englisch unterschiedlichen Rhythmusgruppen angehören (Sato et al., 2012). Zwar konnten bislang keine Unterschiede in der neuronalen Verarbeitung von Sprachen unterschiedlicher Rhythmusklassen gefunden werden; allerdings könnte es möglich sein, dass das morazählende Japanisch mehr prosodische Unterschiede zwischen vorwärts und rückwärts aufweist als das akzentzählende Englisch (Sato et al., 2012). Es muss also die Frage geklärt werden, ob die Unterschiede in der funktionellen Organisation darin begründet liegen, dass Neugeborene ihre Muttersprache bereits pränatal gehört haben und dementsprechend geprägt wurden, oder allgemein in den prosodischen Unterschieden aufgrund der Verschiedenheit der beiden Rhythmusklassen. Perani et al. (2011) haben gezeigt, dass das sprachbezogene neuronale „Substrat“ bei Neugeborenen bereits ab der Geburt in beiden Hemisphären im Frontal- und Temporallappen vorhanden ist. Die von Perani et al. (2011) untersuchten Neugeborenen wiesen eine stärkere Aktivierung im rechten auditorischen Kortex in Reaktion auf normale Sprache auf als im linken. Analog zu einer vorhergehenden Studie von Perani et al. (2010), in der gezeigt werden konnte, dass bei Neugeborenen beim Hören von Musik ebenso der rechte auditorische Kortex stärker aktiviert ist als der linke, schließen Perani et al. (2011) aus ihren Ergebnissen, dass die Sprachverarbeitung bei Neugeborenen stärker auf prosodischen als auf segmentalen Informationen beruht und dass Sprachverarbeitung und Musikverarbeitung teilweise auf denselben neuronalen Substraten im rechten auditorischen Kortex beruhen. Darauf weisen auch behaviorale Studien hin, die zeigen, dass Feten in Reaktion auf Musik und Sprache mit dem jeweils gleichen Anstieg der Herzschlagrate und den jeweils gleichen motorischen Reaktionen reagieren (Al-Qahtani, 2005).

Die soeben dargestellten Forschungsergebnisse zeigen deutlich, dass die Verarbeitung von Melodie und Rhythmus auf subkortikaler und kortikaler Ebene – im Sinne einer erfahrungsabhängigen Neuroplastizität – durch die Erfahrungen von Sprache und Musik beiderseits beeinflusst wird (siehe auch Krishnan et al., 2012) und dass Neugeborene

Musik und Sprache auf ähnliche Art und Weise verarbeiten. Daraus ergibt sich die Frage, welcher Art der pränatale Input sein muss, um einen Einfluss auf die Melodien von Neugeborenen zu haben.

Parncutt (2009) postuliert, dass Feten und Säuglinge in ihrer Wahrnehmung nicht zwischen Sprache bzw. Sprechen und Musik unterscheiden. Den Ergebnissen der Untersuchung von Dahlem (2008) ist zu entnehmen, dass 1 Woche alte Neugeborene, deren Mütter während der letzten 3 Monate der Schwangerschaft ein Instrument gespielt haben, einen höheren MCI aufwiesen, als Neugeborene, deren Mütter dies nicht getan haben.

Dieser Befund korrespondiert mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie. Sie haben gezeigt, dass der MCI der schwedischen Probanden signifikant höher ist als der MCI der deutschen Probanden (Kapitel 8.1.2 und 9.2). Eine mögliche Erklärung dafür ist der pränatale Einfluss der schwedischen Sprache, die sich durch stärkere Frequenzmodulationen auszeichnet als die deutsche Sprache. Interpretieren könnte man dies dahingehend, dass die Frage weniger relevant ist, ob die Melodien und Rhythmen, die Feten im letzten Schwangerschaftstrimester wahrnehmen, ihren Ursprung nun in der Sprache oder in der Musik haben. Ergebnisse von Perzeptionsstudien zeigen, dass Neugeborene eine Präferenz von sprachlichen gegenüber nichtsprachlichen Lauten aufweisen, was Vouloumanos & Werker (2007) als „behavioural bias for listening to speech“ (Vouloumanos & Werker, 2007, S. 162) bezeichnen (Kapitel 2). Dieses Bias soll die Verarbeitung und das Lernen von spezifischen Spracheigenschaften der Muttersprache erleichtern, wobei Vouloumanos & Werker (2007) von einem möglicherweise angeborenen Mechanismus ausgehen. Im Kommentar zu dieser Untersuchung bemerken Rosen & Iverson (2007) jedoch, dass der entscheidende Unterschied zwischen den beiden getesteten Stimuli in der Melodiekontur liegt. So wiesen die von Vouloumanos & Werker (2007) verwendeten sprachlichen Stimuli eine übertriebene Melodiekontur ähnlich der Motherese auf, während die nichtsprachlichen Stimuli kaum Frequenzmodulationen aufwiesen. Rosen & Iverson (2007) schlussfolgern daher: „(...) human neonates are biased to listen to sounds with a strong voice melody“ (Rosen & Iverson, 2007, S. 166). Dieser Mechanismus ist Rosen & Iverson (2007) zufolge jedoch nicht angeboren, sondern eine Folge der pränatalen Erfahrung mit Melodie und Rhythmus.

In Reaktion auf die von Mampe et al. (2009) erbrachte Interpretation ihrer Ergebnisse (Kapitel 3.3) spricht Honing (2011) von einem *language bias*. Honings Ansatz zur Erklärung der unterschiedlich geprägten Melodiekonturen der französischen und deutschen Neugeborenen ist kein linguistischer. Stattdessen geht er davon aus, dass der Ursprung für diese Fähigkeit der Neugeborenen in einer Sensibilität für melodische, rhythmische und dynamische Aspekte von Sprache *und* Musik liegt, also dass die frühen produktiven Leistungen der Neugeborenen nicht in erster Linie linguistisch zu interpretieren sind. Diese Aussage erscheint zunächst plausibel, denn sowohl die sprachliche Prosodie als auch die Musik sind aus den gleichen Bausteinen zusammengesetzt. So lassen sich auch die enormen Perzeptionsleistungen von Neugeborenen auf die pränatale Perzeption von Musik übertragen (z. B. Hepper, 1988; Granier-Deferre et al., 2011). Demnach scheint es – wie oben beschrieben – auch möglich, dass die Komplexität der Schreimelodien von Neugeborenen durch die pränatale Wahrnehmung von sowohl prosodischen Spracheigenschaften als auch von Musik beeinflusst werden kann. Führt man diese Interpretation mit dem Postulat zusammen, dass die Melodieentwicklung von Säuglingsschreien ein grundlegender Bestandteil des Spracherwerbsprozesses ist, erfordert dies, dass die Interpretation der Ergebnisse von Mampe et al. (2009) und der vorliegenden Untersuchung unter einer linguistischen Perspektive erfolgen muss – was jedoch eine musikalische nicht ausschließt. Wermke & Mende (2006) gehen sogar davon aus, dass Sprache und Musik beide in der Melodie ihren Ursprung haben. Sie konnten belegen, dass sich in den Schreimelodien von Säuglingen sogar musikalische Intervalle finden lassen (Wermke & Mende, 2009). Zudem weist die Melodie von Säuglingsschreien Elemente auf, die typisch für Musik sind, nämlich Melodiemodule, die spezifische Konturen aufweisen (Kapitel 3.3), die zeitlich und bezüglich der Höhe der Grundfrequenz transponierbar sind und die frei miteinander kombiniert werden können (Wermke & Mende, 2009). „In young infants, melodic elements might pave the way for a later branching into separate nevertheless closely related paths toward music and language faculty in the course of the infant’s further development“ (Wermke & Mende, 2009, S. 127). Die Autoren gehen davon aus, dass sich im Schreien grundlegende Elemente von sowohl Musikalität als auch sprachlichen Fähigkeiten entfalten.



Aus der frühen Sensibilität für Melodie und Rhythmus schließen Wermke & Mende (2011) „an innate capability for musicality as well as for speech and language performance before birth“ (Wermke & Mende, 2011, S. 631). Sie nehmen also im Gegensatz zu Rosen & Iverson (2007) eine angeborene Fähigkeit bzw. Sensibilität an.

Wird von einer angeborenen Sensibilität für Sprache und Musik ausgegangen, kann das Ergebnis, dass die Schreie der schwedischen Neugeborenen komplexer gestaltet sind als die der deutschen, wie folgt interpretiert werden: Die Prägung durch die Muttersprache spiegelt sich hierbei nicht vorrangig im Imitieren von charakteristischen Eigenschaften der muttersprachlichen Prosodie wider. Vielmehr könnte die pränatale Wahrnehmung von intensiveren Frequenzmodulationen bei den schwedischen Neugeborenen einen förderlichen Einfluss auf die Melodiebogenentwicklung gehabt haben. Das schließt natürlich nicht aus, dass Neugeborene auch Strukturen imitieren und diese sich in den Schreimelodien widerspiegeln. Weitere Studien, in denen die Imitation spezifischer prosodischer Merkmale der Muttersprache bei schwedischen Neugeborenen detailliert untersucht werden, wären wünschenswert (siehe auch Kapitel 9.1: Hubverhältnis).

Die Ergebnisse von Mampe et al. (2009) und Mampe (2012) haben gezeigt, dass die *Melodiekontur* von Neugeborenen schreien durch die pränatal gehörte muttersprachliche Prosodie geprägt zu sein scheint. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie erweitern diesen Befund: Sie geben erste Hinweise darauf, dass die frühe, pränatale Perzeption von variationsreicher Melodie einen Einfluss auf das universell ablaufende Entwicklungsprogramm von einfachen zu komplexen Melodiestrukturen haben könnte. „Eine (...) modulare Komposition immer komplexerer Schreilaute und deren Modifikation verläuft (...) nach einem vorgegebenen Programm, das für epigenetische Erfahrungen offen ist“ (Wermke, 2002, S. 3). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, dass diese epigenetischen Erfahrungen möglicherweise schon pränatal beginnen.

Ergänzend zu den in Kapitel 9.1 und 9.2 aufgezeigten Forschungsdesiderata ergeben sich basierend auf den oben stehenden Ausführungen folgende weitere Desiderata. Die Annahme, dass die Schreie der schwedischen Neugeborenen eine weiter fortgeschrittene Melodiebogenentwicklung aufweisen als die der deutschen Neugeborenen, setzt vor-

aus, dass schwedische Neugeborene in gleicher Weise die Melodiebogenentwicklung von einfachen zu komplexen Strukturen durchlaufen wie die deutschen Neugeborenen. Wermke (2011b) geht zwar von einer sprach- und kulturübergreifenden Universalie aus, eine Überprüfung dieses Postulats steht aber noch aus.

Außerdem wäre es sinnvoll, zukünftig nicht nur die standardsprachliche Prosodie der Muttersprache als theoretische Vergleichsgrundlage heranzuziehen, sondern zusätzlich auch eine *individuelle* Analyse der mütterlichen Prosodie vorzunehmen. So kann ein engeres Verständnis der Kopplung von In- und Output erlangt werden (siehe auch Kapitel 5).

Des Weiteren wäre es interessant, näher zu untersuchen, wie stark der angenommene Zusammenhang zwischen dem Einfluss von sprachlicher bzw. musikalischer Melodie und der Melodiekomplexität ist. Im Rahmen der Datenerhebung der vorliegenden Studie in Schweden wurden die Mütter mittels eines Fragebogens befragt, ob sie während der Schwangerschaft ein Instrument gespielt hatten. Da dies jedoch nur auf sehr wenige Mütter zutraf, sind diese Daten nicht in die Analyse der Schreimelodien eingeflossen. Als weitere Einflussfaktoren könnten auch die Dauer und die Intensität der musikalischen Betätigung eine interessante Untersuchungsperspektive ermöglichen: Mit welcher Melodiekomplexität schreit das gerade geborene Kind einer Profimusikerin?

## 10 Zusammenfassung

Schon vor der Geburt beginnen komplexe Reifungs- und auditive Lernprozesse, die den Grundstein für die spätere Sprachentwicklung legen. Im letzten Trimester der Schwangerschaft ist der Fetus sensibel für akustische Stimuli der Umgebung, hauptsächlich für prosodische (melodische und rhythmische) Spracheigenschaften. Ergebnisse der Sprachperzeptionsforschung (z. B. Nazzi et al., 1998; Kisilevsky et al., 2003; Byers-Heinlein et al., 2010) zeigen, dass Neugeborene bereits über erstaunliche prosodierelevante Leistungen verfügen. Analog dazu konnte die Forschung von Wermke, Mende und Kollegen (z. B. Wermke, 2002; Wermke & Mende, 2011) belegen, dass die Entwicklung der späteren Sprachfähigkeit auf Seiten der *Produktion* direkt nach der Geburt beginnt. So konnte gezeigt werden, dass sich die Säuglingsschreimelodien nach einem universellen Entwicklungsprogramm in den ersten Lebenswochen von einfachen zu komplexen Melodien verändern und dass die Schreie somit bereits Teil einer kontinuierlichen frühen Entwicklung – vom Schreien über das Gurren und das Babbeln zur Wortproduktion – sind. Die Untersuchungen von Mampe et al. (2009) und Mampe (2012) haben darüber hinaus gezeigt, dass sich pränatal wahrgenommene prosodische Eigenschaften der Muttersprache in der Melodiekontur der Schreie von 1 Woche alten Neugeborenen widerspiegeln.

Gegenstand der vorliegenden Querschnittstudie ist die signalanalytische Untersuchung der Schreimelodien von schwedischen und deutschen Neugeborenen hinsichtlich eines Einflusses der pränatal wahrgenommenen muttersprachlichen Prosodie auf die Melodiekomplexität. Zusätzlich wurden die melodischen Parameter *mittlere Grundfrequenz* und *Hubverhältnis* sowie der zeitliche Parameter *Einzelstreilänge* quantitativ erfasst und verglichen.

Die digitalen Aufnahmen der Schreie der schwedischen Neugeborenen erfolgten während normaler Eltern-Kind-Interaktionen auf der Wochenstation des Södra Älvs-

borgs Sjukhus in Borås/Schweden. Bei den Schreien handelte es sich ausschließlich um Spontanschreie – sie wurden also nicht durch (schmerzhaft) Stimuli elizitiert. Die Aufnahmen der deutschen Probandengruppe lagen schon im Archiv des Zentrums für vor-sprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen (ZVES; Leitung: Prof. Dr. Kathleen Wermke) vor. Alle Analyseschritte erfolgten im Sprachlabor des ZVES.

Insgesamt wurden 2795 Schreie von 52 schwedischen und 1907 Schreie von 79 deutschen gesunden, reifen und eutrophen 1 Woche alten Neugeborenen mit signalanalytischen Methoden analysiert. Die Fourier-Analyse der Schreie zur Erstellung der Schmalbandspektrogramme erfolgte mit der Software *Computerized Speech Lab (CSL, KayPEN-TAX, USA)*. Anschließend wurden mit *Praat* die Grundfrequenzwerte jedes Schreis berechnet. Die weitere Analyse erfolgte mithilfe des *Cry-Data-Analysis-Program (CDAP, pw-project)*. Auf Basis der Melodiekontur wurde für jeden Schrei die Melodiestructur identifiziert und kategorisiert. Darauf basierend wurde für jedes Kind und jede Gruppe ein Melodiekomplexitätsindex (MCI) berechnet. Zusätzlich wurden quantitative melodische und zeitliche Parameter berechnet und statistisch ausgewertet.

Die Ergebnisse der quantitativen Analyse melodischer und zeitlicher Parameter ergaben keine Hinweise auf Unterschiede zwischen den Probandengruppen hinsichtlich des gesundheitlichen Zustands bzw. Reifegrades der Neugeborenen. Bezüglich des Parameters *mittlere Grundfrequenz* ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Es zeigten sich allerdings signifikante Unterschiede zwischen der Einzelschreilänge, basierend auf allen Schreien unabhängig von der Melodiestructurkategorie. Beim getrennten Vergleich der Einzelschreilänge für die drei am häufigsten aufgetretenen Melodiestructurkategorien (*Einfachbogen [1B]*, *Doppelbogen [DB]* und *einfache Segmentierung [1S]*), ergaben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede. Die Schreie der Kategorie *1B* wiesen im Vergleich zu den Schreien der komplexen Kategorien bei beiden Gruppen eine geringere Einzelschreilänge auf. Da die schwedischen Probanden aber mehr komplexe Schreie äußerten als die deutschen, erklärt dies, warum die auf Basis aller Schreie berechnete Einzelschreilänge für die schwedischen Neugeborenen größer ist. Des Weiteren zeigte sich innerhalb der Kategorie *DB* ein signifikant größeres Hubverhältnis der schwedischen Schreie im Vergleich zu den deutschen. Beim Vergleich auf Basis aller Schreie bzw. getrennt für die Kategorien *1B* und *1S*

ergaben sich allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Weitere vergleichende Untersuchungen des Hubverhältnisses der doppelböigen Schreie unter Einbezug einer objektiven Analyse der Melodiekontur sind erforderlich – auch, um Hinweise auf einen möglichen Einfluss der pränatalen Sprachumgebung zu prüfen.

Die Ergebnisse zeigten weiterhin einen signifikant höheren MCI für die Schreie der schwedischen als für die Schreie der deutschen Neugeborenen. Die schwedischen Neugeborenen produzierten also verglichen mit den deutschen Neugeborenen mehr Schreie mit komplexer Melodiestructur. Eine mögliche Erklärung dafür könnte der Einfluss der pränatal wahrgenommenen Muttersprache auf die Melodiekomplexität sein. Schwedisch und Deutsch gehören beide zu den germanischen Sprachen. Beide Sprachen unterschieden sich allerdings hinsichtlich bestimmter prosodischer Eigenschaften. So wird im Schwedischen zwischen zwei tonalen Wortakzenten unterschieden, die die charakteristische schwedische Intonation prägen (z. B. Gårding, 1998). Die pränatale Perzeption dieser prosodischen Eigenschaften könnte sich – darauf weisen die Ergebnisse hin – fördernd auf die Melodieentwicklung der schwedischen Neugeborenen auswirken.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung liefern einen Beitrag zur Erforschung der frühen Schreimelodieentwicklung von Neugeborenen als grundlegender Bestandteil der vorsprachlichen Entwicklung – insbesondere zur Erforschung des Zusammenhangs der pränatalen Perzeption von Melodie und Rhythmus und der frühen prosodierelevanten produktiven Leistungen Neugeborener.

In weiteren Untersuchungen wäre im Längsschnitt zu erforschen, ob die Melodieentwicklung bei schwedischen Säuglingen ebenfalls universell von einfachen bis hin zu komplexen Melodien abläuft. Außerdem wäre es interessant, den genauen Zusammenhang zwischen der *individuellen* mütterlichen Prosodie und dem Grad der Melodiekomplexität von Schreien Neugeborener in der ersten Lebenswoche detailliert zu untersuchen, um ein besseres Verständnis von der Verknüpfung von pränatalem Input und postnatalem Output zu erlangen. Die Untersuchung von Dahlem (2008) hat erste Hinweise dafür geliefert, dass sich eine musikalische Betätigung der Mutter während der Schwangerschaft fördernd auf die Schreimelodieentwicklung von 1 Woche alten Neugeborenen auswirkt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen darauf hin, dass die pränatale Wahrnehmung von auffälligen prosodischen Spracheigenschaften sich eben-

## *10 Zusammenfassung*

so auswirkt. In nachfolgenden Studien könnte genauer untersucht werden, welche Art des pränatalen Inputs einen wie gearteten Einfluss auf die Melodieentwicklung nimmt, das heißt, ob es zum Beispiel eine Rolle spielt, ob die Melodien und Rhythmen, die Feten wahrnehmen, sprachlicher oder musikalischer Natur sind.

# Literatur

- Abdala, C. & Keefe, D. (2012). Morphological and Functional Ear Development. In L. Werner, R. R. Fay & A. N. Popper (Hrsg.), *Human Auditory Development* (19–59). Springer Handbook of Auditory Research. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer.
- Abercrombie, D. (1967). *Elements of general phonetics*. Chicago: Aldine.
- Al-Qahtani, N. H. (2005). Foetal response to music and voice. *Australian and New Zealand Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 45(5), 414–417.
- Ambrazaitis, G. (2008). Swedish and German Intonation in confirmations and assertions. In M. Vainio, R. Aulanko & O. Aaltonen (Hrsg.), *Nordic Prosody – Proceedings of the Xth Conference, Helsinki* (25–36). Peter Lang, Internationaler Verlag der Wissenschaften.
- Armitage, S. E., Baldwin, B. A. & Vince, M. A. (1980). The fetal sound environment of sheep. *Science*, 208(4448), 1173–1174.
- Avenarius, S. (2010). Perinatale Besonderheiten der kardiorespiratorischen Funktion. In G. Jorch & A. Hübler (Hrsg.), *Neonatologie. Die Medizin des Früh- und Reifgeborenen*. (19–21). Stuttgart: Thieme.
- Baek, H. E. & de Souza, M. N. (2007). Longitudinal study of the fundamental frequency of hunger cries along the first 6 months of healthy babies. *Journal of Voice*, 21(5), 551–559.
- Barnet, A., Bazelon, M. & Zappella, M. (1966). Visual and auditory function in an hydranencephalic infant. *Brain Research*, 2(4), 351–360.

- Beck, J. M. (2010). Organic Variation of the Vocal Apparatus. In W. J. Hardcastle, J. Laver & F. E. Gibbon (Hrsg.), *The Handbook of Phonetic Sciences* (2. Auflage, Kap. 5). Oxford [u. a.]: Blackwell.
- Benasich, A. A. & Tallal, P. (2002). Infant discrimination of rapid auditory cues predicts later language impairment. *Behavioural Brain Research*, 136(1), 31–49.
- Benavides-Varela, S., Gómez, D. M. & Mehler, J. (2011). Studying neonates' language and memory capacities with functional near-infrared spectroscopy. *Frontiers in Psychology*, 2, 64.
- Benzaquen, S., Gagnon, R., Hunse, C. & Foreman, J. (1990). The intrauterine sound environment of the human fetus during labor. *American journal of obstetrics and gynecology*, 163(2), 484–490.
- Birnholz, J. C. & Benacerraf, B. R. (1983). The development of human fetal hearing. *Science*, 222(4623), 516–518.
- Boersma, P. (1993). Accurate short-term analysis of the fundamental frequency and the harmonics-to-noise ratio of a sampled sound. *IFA Proceedings*, 17, 97–110.
- Boersma, P. & Weenink, D. (2011). Praat: doing phonetics by computer (Version 5.2.02) [Software]. Zugriff am 24.01.2011 unter <http://www.praat.org/>.
- Boseley, M. E. & Hartnick, C. J. (2006). Development of the human true vocal fold: depth of cell layers and quantifying cell types within the lamina propria. *The Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 115(10), 784–788.
- Bosma, J. F. (1975). Anatomic and physiologic development of the speech apparatus. In D. B. Tower (Hrsg.), *Human communication and its disorders* (Bd. 3, 469–481). New York: Raven Press.
- Bosma, J. F., Truby, H. & Lind, J. (1965). Cry motions of the newborn infant. In J. Lind (Hrsg.), *Newborn infant cry* (Bd. Supplement 163, 62–92). Acta Paediatrica Scandinavica. Uppsala: Almqvist & Wiksells Boktryckeri AB.



- Bowlby, J. (1969). *Attachment and loss. Vol. I: Attachment*. New York: Basic Books.
- Boë, L.-J., Granat, J., Badin, P., Autesserre, D., Pochic, D., Zga, N., ... Ménard, L. (2006). Skull and vocal tract growth from newborn to adult. In *Proceedings of the 7th ISSP* (75–82).
- Braunmüller, K. (1999). *Die skandinavischen Sprachen im Überblick* (2. überarbeitete und erweiterte Auflage). Tübingen, Basel: A. Francke (UTB).
- Braunmüller, K. (2004). Niederdeutsch und Hochdeutsch im Kontakt mit den skandinavischen Sprachen. Eine Übersicht. In H. H. Munske (Hrsg.), *Deutsch im Kontakt mit germanischen Sprachen* (1–30). Tübingen: Niemeyer.
- Bruce, G. (1977). *Swedish word accents in sentence perspective*. Travaux de l'institut de linguistique de Lund XII. Gleerup: Liber Läromedel.
- Bruce, G. (2003). Late pitch peaks in West Swedish. In *Proceedings of the 15th international congress of phonetic sciences*. (245–248). Barcelona: Casual Productions.
- Bruce, G. (2007). Components of a prosodic typology of Swedish intonation. In T. Riad & C. Gussenhoven (Hrsg.), *Tones and Tunes*. (Bd. 1: Typological Studies in Word and Sentence Prosody. 113–146). Berlin, New York: Mouton de Gruyter.
- Bruce, G. & Engstrand, O. (2006). The phonetic profile of Swedish. *Sprachtypologie und Universalienforschung (STUF)*, Berlin, 59(1), 12–35.
- Byers-Heinlein, K., Burns, T. C. & Werker, J. F. (2010). The roots of bilingualism in newborns. *Psychological Science*, 21(3), 343–348.
- Carral, V., Huotilainen, M., Ruusuvirta, T., Fellman, V., Näätänen, R. & Escera, C. (2005). A kind of auditory 'primitive intelligence' already present at birth. *European Journal of Neuroscience*, 21(11), 3201–3204.
- Chen, X., Striano, T. & Rakoczy, H. (2004). Auditory-oral matching behavior in newborns. *Developmental Science*, 7(1), 42–47.

- Cheour, M., Martynova, O., Näätänen, R., Erkkola, R., Sillanpää, M., Kero, P., ...Hämäläinen, H. (2002). Speech sounds learned by sleeping newborns. *Nature*, 415(6872), 599–600.
- Christophe, A., Dupoux, E., Bertoncini, J. & Mehler, J. (1994). Do infants perceive word boundaries? An empirical study of the bootstrapping of lexical acquisition. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(3), 1570–1580.
- Christophe, A., Nespors, M., Guasti, M. T. & van Ooyen, B. (2003). Prosodic structure and syntactic acquisition: The case of the head-direction parameter. *Developmental Science*, 6, 211–220.
- Christophe, A., Mehler, J. & Sebastián-Gallés. (2001). Perception of Prosodic Boundary Correlates by Newborn Infants. *Infancy*, 2(3), 385–394.
- Dahlem, M.-M. (2008). *Untersuchung akustischer Eigenschaften spontaner Lautäußerungen japanischer Neugeborener – ein Beitrag zur Erarbeitung sprachuniverseller Frühindikatoren für Sprachentwicklungsstörungen bei Säuglingen mit orofazialen Spalten*. (Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg).
- Dauer, R. (1983). Stress-timing and syllable-timing reanalyzed. *Journal of Phonetics*, 11, 51–62.
- DeCasper, A. J. & Fifer, W. P. (1980). Of human bonding: newborns prefer their mothers' voices. *Science*, 208(4448), 1174–1176.
- DeCasper, A. J. & Prescott, P. A. (1984). Human newborns' perception of male voices: preference, discrimination, and reinforcing value. *Developmental Psychobiology*, 17(5), 481–491.
- DeCasper, A. J. & Spence, M. J. (1986). Prenatal maternal speech influences newborns' perception of speech sounds. *Infant Behavior and Development*, 9, 133–150.

- Denner, M. B. (2007). *Untersuchung spektraler und melodischer Eigenschaften vorsprachlicher Laute von Säuglingen mit einer familiären Disposition für eine spezifische Spracherwerbsstörung*. (Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg).
- Draganova, R., Eswaran, H., Murphy, P., Huotilainen, M., Lowery, C. & Preissl, H. (2005). Sound frequency change detection in fetuses and newborns, a magnetoencephalographic study. *Neuroimage*, 28(2), 354–361.
- Draganova, R., Eswaran, H., Murphy, P., Lowery, C. & Preissl, H. (2007). Serial magnetoencephalographic study of fetal and newborn auditory discriminative evoked responses. *Early Human Development*, 83(3), 199–207.
- Eckel, H., Sprinzel, G., Sittel, C., Koebke, J., Damm, M. & Stennert, E. (2000). Zur Anatomie von Glottis und Subglottis beim kindlichen Kehlkopf. *HNO*, 48, 501–507.
- Eggermont, J. J. & Moore, J. K. (2012). Morphology and Functional Development of the Auditory Nervous System. In L. Werner, R. R. Fay & A. N. Popper (Hrsg.), *Human Auditory Development* (61–105). Springer Handbook of Auditory Research. New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer.
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P. & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171(3968), 303–306.
- Elert, C.-C. (1972). Tonality in Swedish: Rules and a List of Minimal Pairs. In E. S. Firchow, K. Grimstad, N. Hasselmo & W. A. O’Neil (Hrsg.), *Studies for Einar Haugen* (151–173). The Hague, Paris: Mouton.
- Engstrand, O., Williams, K. & Strömquist, S. (1991). Acquisition of the tonal word accent contrast. In *Actes du XIIIème Congres International des Science Phonétiques* (Bd. 1, 324–327). Aix-en- Provence.
- Engstrand, O., Williams, K. & Lacerda, F. (2003). Does babbling sound native? Listener responses to vocalizations produced by Swedish and American 12- and 18-month-olds. *Phonetica*, 60(1), 17–44.

- Esser, H. (2006). *Sprache und Integration. Die sozialen Bedingungen und Folgen des Spracherwerbs von Migranten*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Fayoux, P., Marciniak, B., Devisme, L. & Storme, L. (2008). Prenatal and early postnatal morphogenesis and growth of human laryngotracheal structures. *Journal of Anatomy*, 213(2), 86–92.
- Felder, V., Jönsson-Steiner, E., Eulitz, C. & Lahiri, A. (2009). Asymmetric processing of lexical tonal contrast in Swedish. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(8), 1890–1899.
- Field, T. M., Woodson, R., Greenberg, R. & Cohen, D. (1982). Discrimination and imitation of facial expression by neonates. *Science*, 218(4568), 179–181.
- Gerhardt, K. J., Abrams, R. M. & Oliver, C. C. (1990). Sound environment of the fetal sheep. *American journal of obstetrics and gynecology*, 162(1), 282–287.
- Gerhardt, K. J., Huang, X., Arrington, K. E., Meixner, K., Abrams, R. M. & Antonelli, P. J. (1996). Fetal sheep in utero hear through bone conduction. *American Journal of Otolaryngology*, 17(6), 374–379.
- Gervain, J. & Mehler, J. (2010). Speech perception and language acquisition in the first year of life. *The Annual Review of Psychology*, 61, 191–218.
- Gervain, J. & Werker, J. F. (2013). Prosody cues word order in 7-month-old bilingual infants. *Nature Communications*, 4, 1490.
- Gilbert, H. R. & Robb, M. P. (1996). Vocal fundamental frequency characteristics of infant hunger cries: birth to 12 months. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 34(3), 237–243.
- Goberman, A. M. & Robb, M. P. (1999). Acoustic examination of preterm and full-term infant cries: the long-time average spectrum. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(4), 850–861.

- Goldstein, U. G. (1980). *An articulatory model for the vocal tract of the growing children*. (Unveröffentlichte Doktorarbeit, MIT, Cambridge, Massachusetts).
- Golub, H. L. & Corwin, M. J. (1985). A Physioacoustic Model of the Infant Cry. In B. M. Lester & C. F. Z. Boukydis (Hrsg.), *Infant Crying. Theoretical and Research Perspectives* (59–82). New York: Plenum Press.
- Gonzalez-Gonzalez, N. L., Suarez, M. N., Perez-Piñero, B., Armas, H., Domenech, E. & Bartha, J. L. (2006). Persistence of fetal memory into neonatal life. *Acta Obstetrica et Gynecologica*, 85(10), 1160–1164.
- Grabe, E. & Low, E. L. (2002). Durational Variability in Speech and the Rhythm Class Hypothesis. In N. Warner & C. Gussenhoven (Hrsg.), *Papers in laboratory phonology* (Bd. 7, 515–546). Berlin: De Gruyter.
- Granier-Deferre, C., Bassereau, S., Ribeiro, A., Jacquet, A.-Y. & DeCasper, A. J. (2011). A melodic contour repeatedly experienced by human near-term fetuses elicits a profound cardiac reaction one month after birth. *PLoS One*, 6(2), e17304.
- Graven, S. N. & Browne, J. V. (2008). Auditory Development in the Fetus and Infant. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, 8(4), 187–193.
- Gray, S. D., Hirano, M. & Sato, K. (1993). Molecular and Cellular Structure of Vocal Fold Tissue. In I. R. Titze (Hrsg.), *Vocal Fold Physiology* (Kap. 1, 1–17). San Diego, CA: Singular Publishing Group.
- Grice, M. & Baumann, S. (2007). An Introduction to Intonation – Functions and Models. In J. Trouvain & U. Gut (Hrsg.), *Non-Native Prosody. Phonetic Description and Teaching Practice*. (25–51). Berlin [u.a.]: Mouton de Gruyter.
- Gussenhoven, C. (2004). *The phonology of tone and intonation*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Gussenhoven, C. & Bruce, G. (1999). Word prosody and intonation. In H. van der Hulst & G. Bossong (Hrsg.), *Word prosodic systems in the languages of Europe*. (233–271). Berlin, New York: Mouton de Gruyter.
- Gårding, E. (1977). *The Scandinavian Word Accents*. /Travaux de l'institut de linguistique de Lund XI). Lund: CWK Gleerup.
- Gårding, E. (1998). Intonation in Swedish. In D. Hirst & A. D. Cristo (Hrsg.), *Intonation Systems. A survey of twenty languages* (120–130). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hansen, D. (2003). Schlechte Vorbilder, durchschnittliche Lerner und erstaunliche Leistungen: Wie der Mensch zur Sprache kommt. In K. Hübner & K. Röhner-Münch (Hrsg.), *Einblick in die Sprachheilpädagogik* (Bd. 1, 97–111). Schriften aus dem Institut für Rehabilitationswissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin. Aachen: Shaker.
- Hartnick, C. J., Rehbar, R. & Prasad, V. (2005). Development and maturation of the pediatric human vocal fold lamina propria. *Laryngoscope*, 115(1), 4–15.
- Hepper, P. G. (1988). Fetal „soap“ addiction. *Lancet*, 1(8598), 1347–1348.
- Hepper, P. G. & Shahidullah, B. S. (1994). Development of fetal hearing. *Archives of Disease in Childhood*, 71(2), F81–F87.
- Hirano, M. (1974). Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variations. *Folia Phoniatica et Logopaedica (Basel)*, 26(2), 89–94.
- Hirano, M. & Sato, K. (1993). *Histological Color Atlas of the Human Larynx*. San Diego, CA: Singular Publishing Group.
- Hollien, H. (1974). On vocal registers. *Journal of Phonetics*, 2, 125–143.
- Holst, M., Eswaran, H., Lowery, C., Murphy, P., Norton, J. & Preissl, H. (2005). Development of auditory evoked fields in human fetuses and newborns: a longitudinal MEG study. *Clinical Neurophysiology*, 116(8), 1949–1955.

- Honing, H. (2011). *The illiterate listener. On music cognition, musicality and methodology*. Amsterdam: Vossiuspers UvA.
- Huotilainen, M., Kujala, A., Hotakainen, M., Parkkonen, L., Taulu, S., Simola, J., ...Näätänen, R. (2005). Short-term memory functions of the human fetus recorded with magnetoencephalography. *Neuroreport*, 16(1), 81–84.
- Höhle, B., Bijeljac-Babic, R., Herold, B., Weissenborn, J. & Nazzi, T. (2009). Language specific prosodic preferences during the first half year of life: evidence from German and French infants. *Infant Behavior and Development*, 32(3), 262–274.
- Jardri, R., Pins, D., Houfflin-Debarge, V., Chaffiotte, C., Rocourt, N., Pruvo, J.-P., ...Thomas, P. (2008). Fetal cortical activation to sound at 33 weeks of gestation: a functional MRI study. *Neuroimage*, 42(1), 10–18.
- Jeng, F.-C., Hu, J., Dickman, B., Montgomery-Reagan, K., Tong, M., Wu, G., ... (2011). Cross-linguistic comparison of frequency-following responses to voice pitch in American and Chinese neonates and adults. *Ear and Hearing*, 32(6), 699–707.
- Joseph, R. (2000). Fetal brain behaviour and cognitive development. *Developmental Review*, 20, 81–98.
- Kadin, G. & Engstrand, O. (2005). Tonal word accents produced by Swedish 18- and 24-month-olds. *Proceedings Fonetik, Department of Linguistics, Göteborg University*, 67–70.
- Kent, R. D. (1981). Articulatory-Acoustic Perspectives on Speech Development. In R. E. Stark (Hrsg.), *Language Behavior in Infancy and Early Childhood* (105–126). New York: Elsevier.
- Kent, R. D. & Vorperian, H. K. (1995). *Development of the Craniofacial-Oral-Laryngeal Anatomy*. San Diego, CA: Singular Publishing Group.
- Kisilevsky, B. S. & Hains, S. M. J. (2011). Onset and maturation of fetal heart rate response to the mother's voice over late gestation. *Developmental Science*, 14(2), 214–223.

- Kisilevsky, B. S., Hains, S. M. J., Lee, K., Xie, X., Huang, H., Ye, H. H., ... Wang, Z. (2003). Effects of experience on fetal voice recognition. *Psychological Science*, *14*(3), 220–224.
- Kohler, K. J. (1995). *Einführung in die Phonetik des Deutschen* (2., neubearbeitete Auflage). Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- Kraus, N. & Banai, K. (2007). Auditory-processing malleability: focus on language and music. *Current Directions in Psychological Science*, *16*, 105–110.
- Krishnan, A. & Gandour, J. T. (2009). The role of the auditory brainstem in processing linguistically-relevant pitch patterns. *Brain and Language*, *110*(3), 135–148.
- Krishnan, A., Gandour, J. T. & Bidelman, G. M. (2012). Experience-dependent plasticity in pitch encoding: from brainstem to auditory cortex. *Neuroreport*, *23*(8), 498–502.
- Krishnan, A., Xu, Y., Gandour, J. & Cariani, P. (2005). Encoding of pitch in the human brainstem is sensitive to language experience. *Cognitive Brain Research*, *25*(1), 161–168.
- Kugiumutzakis, G. (1998). Neonatal imitation in the intersubjective companion space. In S. Bråten (Hrsg.), *Intersubjective Communication and Emotion in Early Ontogeny* (Kap. 3, 63–88). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kugiumutzakis, G. (1999). Genesis and development of early infant mimesis to facial and vocal models. In J. Nadel & G. Butterworth (Hrsg.), *Imitation in Infancy* (Kap. 2, 36–59). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuhl, P. K. & Meltzoff, A. N. (1996). Infant vocalizations in response to speech: vocal imitation and developmental change. *Journal of the Acoustical Society of America*, *100*(4 Pt 1), 2425–2438.
- Kuhl, P. K., Stevens, E., Hayashi, A., Deguchi, T., Kiritani, S. & Iverson, P. (2006). Infants show a facilitation effect for native language phonetic perception between 6 and 12 months. *Developmental Science*, *9*(2), F13–F21.



- Kujala, A., Huotilainen, M., Hotakainen, M., Lennes, M., Parkkonen, L., Fellman, V., ... (2004). Speech-sound discrimination in neonates as measured with MEG. *Neuroreport*, 15(13), 2089–2092.
- Ladd, D. R. (2008). *Intonational Phonology* (2., vollständig überarbeitete Auflage) (P. Austin, J. Bresnan, B. Comrie, S. Crain, W. Dressler, C. Ewen, ... N. Smith, Hrsg.). Cambridge Studies in Linguistics. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ladefoged, P. (1975). *A course in phonetics*. New York: Harcourt Brace Jovanovich.
- LaGasse, L. L., Neal, A. R. & Lester, B. M. (2005). Assessment of infant cry: acoustic cry analysis and parental perception. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 11(1), 83–93.
- Langlois, A., Baken, R. J. & Wilder, C. (1980). Pre-speech respiratory behaviour during the first year of life. In T. Murry & J. Murry (Hrsg.), *Infant communication: Cry and early speech* (56–84). Houston: College Hill Press.
- Lecanuet, J. P., Granier-Deferre, C., DeCasper, A. J., Maugeais, R., Andrieu, A. J. & Busnel, M. C. (1987). Perception et discrimination foetales de stimuli langagiers; mise en évidence à partir de la réactivité cardiaque; résultats préliminaires. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Serie III, Sciences de la Vie (Paris)*, 305(5), 161–164.
- Lecanuet, J. P., Granier-Deferre, C., Jacquet, A. Y. & DeCasper, A. J. (2000). Fetal discrimination of low-pitched musical notes. *Developmental Psychobiology*, 36(1), 29–39.
- Lester, B. M. (1976). Spectrum analysis of the cry sounds of well-nourished and malnourished infants. *Child Development*, 47(1), 237–241.
- Lester, B. M. (1987). Developmental outcome prediction from acoustic cry analysis in term and preterm infants. *Pediatrics*, 80(4), 529–534.
- Lester, B. M. & Boukydis, C. F. Z. (1991). Keine Sprache, nur ein Schrei. In J. M. Pachler & H. Strassburg (Hrsg.), *Fortschritte der Sozialpädiatrie. Der unruhige Säugling*. (41–69). Hansisches Verlagskontor.

- Lieberman, P., Harris, K. S., Wolff, P. & Russell, L. H. (1971). Newborn infant cry and nonhuman primate vocalization. *Journal of Speech and Hearing Research*, 14(4), 718–727.
- Lieberman, P. & Crelin, E. S. (1971). On the Speech of Neanderthal Man. *Linguistic Inquiry*, 2(2), 203–222.
- Lieberman, P., Crelin, E. S. & Klatt, D. H. (1972). Phonetic Ability and Related Anatomy of the Newborn and Adult Human, Neanderthal Man, and the Chimpanzee. *American Anthropologist*, 74(3), 287–307.
- Lind, J., Vuorenkoski, V., Rosberg, G., Partanen, T. J. & Wasz-Höckert, O. (1970). Spectrographic analysis of vocal response to pain stimuli in infants with Down's syndrome. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 12(4), 478–486.
- Lind, K. (2007). *Untersuchung spektraler und melodischer Eigenschaften von Säuglingschreien. Eine Longitudinalstudie über die ersten 16 Lebenswochen im Rahmen der Deutschen Sprachentwicklungsstudie.* (Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin).
- Lind, K. & Wermke, K. (2002). Development of the vocal fundamental frequency of spontaneous cries during the first 3 months. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 64(2), 97–104.
- Lindqvist, C. (2007). *Schwedische Phonetik für Deutschsprachige.* Hamburg: Helmut Buske Verlag.
- Locke, J. L. & Bogin, B. (2006). Language and life history: a new perspective on the development and evolution of human language. *Behavioral and Brain Sciences*, 29(3), 259–80; Diskussion 280–325.
- Mampe, B. (2012). *Auswirkungen der pränatalen Sprachumgebung auf die Schreimelodie – Ein Vergleich zwischen Neugeborenen mono- und bilingualer Mütter.* (Dissertation, Julius-Maximilians-Universität Würzburg).

- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A. & Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current Biology*, 19(23), 1994–1997.
- Masataka, N. (2009). The origins of language and the evolution of music: A comparative perspective. *Physics of Life Reviews*, 6(1), 11–22.
- Mehler, J. & Christophe, A. (1995). Maturation and learning of language in the first year of life. In M. S. Gazzaniga (Hrsg.), *The cognitive neurosciences* (943–954). Cambridge, MA: Bradford Books.
- Mehler, J., Jusczyk, P., Lambertz, G., Halsted, N., Bertocini, J. & Amiel-Tison, C. (1988). A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, 29(2), 143–178.
- Meltzoff, A. N. & Moore, M. K. (1983). Newborn infants imitate adult facial gestures. *Child Development*, 54(3), 702–709.
- Meltzoff, A. N. (2005). Imitation and Other Minds: The 'Like Me' Hypothesis. In S. Hurley & N. Chater (Hrsg.), *Perspectives on Imitation: From Neuroscience to Socialscience*. (Bd. 2, 55–77). Cambridge, MA: MIT Press.
- Meltzoff, A. N. & Moore, M. K. (1994). Imitation, memory, and the representation of persons. *Infant Behavior and Development*, 17, 83–99.
- Meltzoff, A. N. & Moore, M. K. (1998). Infant intersubjectivity: broadening the dialogue to include imitation, identity and intention. In S. Bråten (Hrsg.), *Intersubjective Communication and Emotion in Early Ontogeny*. (Kap. 2, 47–62). Cambridge: Cambridge University Press.
- Meltzoff, A. N. & Moore, M. K. (1999). Persons and representation: why infant imitation is important for theories of human development. In J. Nadel & G. Butterworth (Hrsg.), *Imitation in Infancy* (Kap. 1, 9–35). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mende, W., Herzel, H. & Wermke, K. (1990). Bifurcations and chaos in newborn infant cries. *Physics Letters A*, 145(8, 9), 418–424.

- Meyer, E. A. (1954). *Die Intonation im Schwedischen. Zweiter Teil: Die norrländischen Mundarten*. (E. Wessén, Hrsg.). Stockholm Studies in Scandinavian Philology. Stockholm: University of Stockholm.
- Michelsson, K. (1971). Cry analyses of symptomless low birth weight neonates and of asphyxiated newborn infants. *Acta Paediatrica Scandinavica Supplement*, 216, 1–45.
- Michelsson, K., Järvenpää, A. L. & Rinne, A. (1983). Sound spectrographic analysis of pain cry in preterm infants. *Early Human Development*, 8(2), 141–149.
- Michelsson, K. & Michelsson, O. (1999). Phonation in the newborn, infant cry. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 49 Suppl 1, S297–S301.
- Michelsson, K., Sirviö, P. & Wasz-Höckert, O. (1977). Pain cry in full-term asphyxiated newborn infants correlated with late findings. *Acta Paediatrica Scandinavica*, 66(5), 611–616.
- Michelsson, K., Tuppurainen, N. & Aula, P. (1980). Cry analysis of infants with karyotype abnormality. *Neuropediatrics*, 11(4), 365–376.
- Michelsson, K., Eklund, K., Leppänen, P. & Lyytinen, H. (2002). Cry characteristics of 172 healthy 1-to 7-day-old infants. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 54(4), 190–200.
- Moon, C., Cooper, R. & Fifer, W. P. (1993). Two-days-olds prefer their native language. *Infant Behavior and Development*, 16, 495–500.
- Moon, C., Lagercrantz, H. & Kuhl, P. K. (2013). Language experienced in utero affects vowel perception after birth: a two-country study. *Acta Paediatrica*, 102(2), 156–160.
- Moore, J. K. & Linthicum, F. H. (2007). The human auditory system: a timeline of development. *International Journal of Audiology*, 46(9), 460–478.
- Ménard, L., Schwartz, J.-L. & Boë, L.-J. (2004). Role of vocal tract morphology in speech development: perceptual targets and sensorimotor maps for synthesized French vowels from birth to adulthood. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47(5), 1059–1080.

- Nazzi, T., Bertoncini, J. & Mehler, J. (1998). Language discrimination by newborns: toward an understanding of the role of rhythm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 756–766.
- Nazzi, T., Floccia, C. & Bertoncini, J. (1998). Discrimination of pitch contours by neonates. *Infant Behavior and Development*, 21(4), 779–784.
- Nazzi, T. & Ramus, F. (2003). Perception and acquisition of linguistic rhythm by infants. *Speech Communication*, 41, 233–243.
- Newman, J. D. (2007). Neural circuits underlying crying and cry responding in mammals. *Behavioural Brain Research*, 182(2), 155–165.
- Oller, D. K., Eilers, R. E., Neal, A. R. & Schwartz, H. K. (1999). Precursors to speech in infancy: the prediction of speech and language disorders. *Journal of Communication Disorders*, 32(4), 223–245.
- Oller, D. K. (2000). *The Emergence of the Speech Capacity*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ota, M. (2006). Children's production of word accents in Swedish revisited. *Phonetica*, 63(4), 230–246.
- Papoušek, M. (1984). Psychobiologische Aspekte des Schreiens im frühen Säuglingsalter. *Sozialpädiatrie in Praxis und Klinik*, 6(9), 517–526.
- Parncutt, R. (2009). Prenatal development and the phylogeny and ontogeny of music. In S. Hallam, I. Cross & M. Thaut (Hrsg.), *Oxford Handbook of Music Psychology*. (219–228). Oxford: Oxford University Press.
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Anwander, A., Awander, A., Spada, D., ...Friederici, A. D. (2011). Neural language networks at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(38), 16056–16061.
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Spada, D., Andreolli, G., Rovelli, R., ...Koelsch, S. (2010). Functional specializations for music processing in the human newborn

- brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(10), 4758–4763.
- Peña, M., Maki, A., Kovacić, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F., ... (2003). Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20), 11702–11705.
- Pinker, S. (2007). *The Language Instinct. How the Mind Creates Language*. (2., erweiterte Auflage). New York: HarperCollins.
- PISA-Konsortium, D. (Hrsg.). (2001). *PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske + Budrich.
- Pompino-Marschall, B. (2003). *Einführung in die Phonetik* (2., durchgesehene und erweiterte Auflage). Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- Pujol, R., Lavigne-Rebillard, M. & Uziel, A. (1991). Development of the human cochlea. *Acta Oto-Laryngologica, Supplement*, 482, 7–12; Diskussion 13.
- Querleu, D., Renard, X., Boutteville, C. & Crepin, G. (1989). Hearing by the human fetus? *Seminars in Perinatology*, 13(5), 409–420.
- Querleu, D., Renard, X. & Crepin, G. (1981). Perception auditive et réactivité foetale aux stimulations sonores. *Journal de gynécologie obstétrique et biologie de la reproduction*, 10, 307–314.
- Querleu, D., Renard, X., Versyp, F., Paris-Delrue, L. & Crèpin, G. (1988). Fetal hearing. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 28(3), 191–212.
- R Development Core Team. (2011). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Zugriff am 04.11.2011 unter <http://www.R-project.org>.
- Ramus, F. (2002). Language discrimination by newborns: Teasing apart phonotactic, rhythmic and intonational cues. *Annual Review of Language Acquisition*, 2, 85–115.

- Rapisardi, G., Vohr, B., Cashore, W., Peucker, M. & Lester, B. (1989). Assessment of infant cry variability in high-risk infants. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 17(1), 19–29.
- Richards, D. S., Frentzen, B., Gerhardt, K. J., McCann, M. E. & Abrams, R. M. (1992). Sound levels in the human uterus. *Obstetrics & Gynecology*, 80(2), 186–190.
- Robb, M. P., Sinton-White, H. & Kaipa, R. (2011). Acoustic estimates of respiration in the pain cries of newborns. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 75(10), 1265–1270.
- Rosen, S. & Iverson, P. (2007). Constructing adequate non-speech analogues: what is special about speech anyway? *Developmental Science*, 10(2), 165–8; Diskussion 169–71.
- Rosenberg, T. L. & Schweinfurth, J. M. (2009). Cell density of the lamina propria of neonatal vocal folds. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*, 118(2), 87–90.
- Runefors, P., Arnbjörnsson, E., Elander, G. & Michelsson, K. (2000). Newborn infants' cry after heel-prick: analysis with sound spectrogram. *Acta Paediatrica*, 89(1), 68–72.
- Sambeth, A., Pakarinen, S., Ruohio, K., Fellman, V., van Zuijen, T. L. & Huotilainen, M. (2009). Change detection in newborns using a multiple deviant paradigm: a study using magnetoencephalography. *Clinical Neurophysiology*, 120(3), 530–538.
- Samuelsson, C. & Löfqvist, A. (2006). The role of Swedish tonal word accents in children with language impairment. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 20(4), 231–248.
- Sato, H., Hirabayashi, Y., Tsubokura, H., Kanai, M., Ashida, T., Konishi, I., ... Maki, A. (2012). Cerebral hemodynamics in newborn infants exposed to speech sounds: A whole-head optical topography study. *Human Brain Mapping*, 33(9), 2092–2103.
- Sato, K. (1998). Reticular fibers in the vocal fold mucosa. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*, 107(12), 1023–1028.

- Sato, K. & Hirano, M. (1995). Histologic investigation of the macula flava of the human newborn vocal fold. *The Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 104(7), 556–562.
- Sato, K., Hirano, M. & Nakashima, T. (2001). Fine structure of the human newborn and infant vocal fold mucosae. *The Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 110(5 Pt 1), 417–424.
- Sato, K., Umeno, H. & Nakashima, T. (2010). Functional histology of the macula flava in the human vocal fold—Part 2: Its role in the growth and development of the vocal fold. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 62(6), 263–270.
- Schleicher, N. (2011). *Auswirkungen des Musikspielverhaltens der Mutter während der Schwangerschaft auf das Schreiverhalten des Säuglings*. (unveröffentlichte Magisterarbeit, Julius-Maximilians-Universität Würzburg).
- Schneider, R. (2002). *Die regional bedingte Variabilität der Körpermaße Neugeborener und ihrer Mütter und ihre Auswirkung auf die somatische Klassifikation Neugeborener - Analyse des Neugeborenenkollektivs der Jahre 1995–1997 der Bundesrepublik Deutschland*. (Diss., Medizinische Fakultät Charité der Humboldt-Universität zu Berlin).
- Schweinfurth, J. M. & Thibeault, S. L. (2008). Does hyaluronic acid distribution in the larynx relate to the newborn's capacity for crying? *Laryngoscope*, 118(9), 1692–1699.
- Segerup, M. (2004). Gothenburg Swedish word accents: a fine distinction. *Proceedings Fonetik, Department of Linguistics, Stockholm University*.
- Shahidullah, S. & Hepper, P. G. (1994). Frequency discrimination by the fetus. *Early Human Development*, 36(1), 13–26.
- Sheridan, C., Draganova, R., Ware, M., Murphy, P., Govindan, R., Siegel, E. R., ... Preissl, H. (2010). Early development of brain responses to rapidly presented auditory stimulation: a magnetoencephalographic study. *Brain & Development*, 32(8), 642–657.



- Sheridan, C. J., Matuz, T., Draganova, R., Eswaran, H. & Preissl, H. (2010). Fetal Magnetoencephalography - Achievements and Challenges in the Study of Prenatal and Early Postnatal Brain Responses: A Review. *Infant and Child Development*, 19(1), 80–93.
- Soltis, J. (2004). The signal functions of early infant crying. *Behavioral and Brain Sciences*, 27(4), 443–58; Diskussion 459–90.
- Speer, C. P. & Gahr, M. (2001). *Pädiatrie*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Spitzer, M. (2002). *Musik im Kopf. Hören, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk*. Stuttgart: Schattauer.
- Stark, R. (1980). Stages of speech development in the first year of life. In G. Yeni-Komshian, J. Kavanagh & C. A. Ferguson (Hrsg.), *Child Phonology* (Bd. 1, 149–173). New York: Academic Press.
- Stark, R. (1986). Prespeech segmental feature development. In P. Fletcher & M. Garman (Hrsg.), *Language acquisition. Studies in first language development*. (2., überarbeitete Auflage, Kap. 7, 149–173). Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.
- Stark, R. E. & Nathanson, S. N. (1973). Spontaneous cry in the newborn infant; sounds and facial gestures. In J. F. Bosma (Hrsg.), *Fourth Symposium on Oral Sensation and Perception. Development in the Fetus and Infant*. Bethesda, Maryland: U.S. Department of Health, Education, and Welfare; National Institutes of Health.
- Starr, A., Amlie, R. N., Martin, W. H. & Sanders, S. (1977). Development of auditory function in newborn infants revealed by auditory brainstem potentials. *Pediatrics*, 60(6), 831–839.
- Szagun, G. (2010). *Sprachentwicklung beim Kind* (3., aktualisierte Auflage). Weinheim: Beltz.

- te Pas, A. B., Davis, P. G., Hooper, S. B. & Morley, C. J. (2008). From liquid to air: breathing after birth. *Journal of Pediatrics*, 152(5), 607–611.
- te Pas, A. B., Wong, C., Kamlin, C. O. F., Dawson, J. A., Morley, C. J. & Davis, P. G. (2009). Breathing patterns in preterm and term infants immediately after birth. *Pediatric Research*, 65(3), 352–356.
- Ternes, E. (2012). *Einführung in die Phonologie*. (3., überarbeitete Auflage). Darmstadt: WBG.
- Titze, I. R. (1994). *Principles of Voice Production*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Trehub, S. E. (1976). The Discrimination of Foreign Speech Contrasts by Infants and Adults. *Child Development*, 74, 466–472.
- Trehub, S. E. (2003). The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience*, 6(7), 669–673.
- Tucker, H. M. (1993). *The Larynx*. New York: Thieme Medical Publishers.
- Vouloumanos, A. & Werker, J. F. (2007). Listening to language at birth: evidence for a bias for speech in neonates. *Developmental Science*, 10(2), 159–164.
- Vuorenkoski, V., Lind, J., Partanen, T. J., Lejeune, J., Lafourcade, J. & Wasz-Höckert, O. (1966). Spectrographic analysis of cries from children with maladie du cri du chat. *Annales Paediatricae Fenniae*, 12(3), 174–180.
- Wasz-Höckert, O., Lind, J., Vuorenkoski, V., Partanen, T. & Velanne, E. (1968). The infant cry: A spectrographic and auditory analysis. In *Clinics in Developmental Medicine*. Lavenham: Spastics International Medical Publications.
- Weitzman, L., Graziani, L. & Duhamel, L. (1968). Maturation and Topography of the Auditory Evoked Response of the Prematurely Born Infant. *Developmental Psychobiology*, 1(2), 79–89.
- Welby, P. (2006). French intonational structure: Evidence from tonal alignment. *Journal of Phonetics*, 34, 343–371.

- Werker, J. F. & Tees, R. C. (1999). Influences on infant speech processing: toward a new synthesis. *The Annual Review of Psychology*, 50, 509–535.
- Wermke, K. & Mende, W. (2006). Melody as a primordial legacy from early roots of language. *Behavioral and Brain Sciences*, 29, 300.
- Wermke, K., Mende, W., Manfredi, C. & Brusciaglioni, P. (2002). Developmental aspects of infant's cry melody and formants. *Medical Engineering & Physics*, 24(7–8), 501–514.
- Wermke, K. (2002). *Untersuchung der Melodieentwicklung im Säuglingsschrei von monozygoten Zwillingen in den ersten 5 Lebensmonaten*. (Habilitation, Humboldt-Universität zu Berlin). Abgerufen unter <http://edoc.hu-berlin.de>.
- Wermke, K. (2008). Melodie und Rhythmus in Babylauten und ihr potenzieller Wert zur Frühindikation von Sprachentwicklungsstörungen. *Interdisziplinär*, 16(3), 190–195.
- Wermke, K. (2011a). *Merkblatt und Erläuterungen zur Kategorisierung vorsprachlicher und früher sprachlicher Laute am ZVES (QSS-Analyse im CDAP-System)*. Version 31.05.11. Zentrum für vorsprachliche Entwicklung und Entwicklungsstörungen, Poliklinik für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Würzburg.
- Wermke, K. (2011b). Säuglingsschreien und seine Entwicklungskonsequenzen. In H. Keller (Hrsg.), *Handbuch der Kleinkindforschung* (4., vollständig überarbeitete Auflage, 644–663). Bern: Hans Huber.
- Wermke, K., Leising, D. & Stellzig-Eisenhauer, A. (2007). Relation of melody complexity in infants' cries to language outcome in the second year of life: a longitudinal study. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 21(11–12), 961–973.
- Wermke, K. & Mende, W. (2009). Musical elements in human infants' cries: In the beginning is the melody. *Musicae Scientiae, Special Issue 2009–2010 on music and evolution*, 151–175.

- Wermke, K. & Mende, W. (2011). From emotion to notion. The importance of melody. In J. Decety & J. Cacioppo (Hrsg.), *Handbook of Social Neuroscience* (624–648). New York: Oxford University Press.
- Wermke, K. & Robb, M. P. (2010). Fundamental frequency of neonatal crying: does body size matter? *Journal of Voice*, 24(4), 388–394.
- Whalen, D. H., Levitt, A. G. & Wang, Q. (1991). Intonational differences between the reduplicative babbling of French- and English-learning infants. *Journal of Child Language*, 18(3), 501–516.
- Woodward, S. C. & Guidozzi, F. (1992). Intrauterine rhythm and blues? *British Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 99(10), 787–789.
- Yip, M. (2002). *Tone*. Cambridge [u.a.]: Cambridge University Press.
- Zeskind, P. S. & Lester, B. M. (1978). Acoustic features and auditory perceptions of the cries of newborns with prenatal and perinatal complications. *Child Development*, 49(3), 580–589.
- Zeskind, P. S. (1985). A Developmental Perspective of Infant Crying. In B. M. Lester & C. F. Z. Boukydis (Hrsg.), *Infant Crying. Theoretical and Research Perspectives*. (159–185). New York: Plenum Press.
- Zeskind, P. S., McMurray, M. S., Garber, K. A., Neuspiel, J. M., Cox, E. T., Grewen, K. M., ... Johns, J. M. (2011). Development of translational methods in spectral analysis of human infant crying and rat pup ultrasonic vocalizations for early neurobehavioral assessment. *Frontiers in Psychiatry*, 2, 56.
- Zhang, L., Xi, J., Xu, G., Shu, H., Wang, X. & Li, P. (2011). Cortical dynamics of acoustic and phonological processing in speech perception. *PLoS One*, 6(6), e20963.

## Anhang

Im Folgenden werden der Patientenfragebogen sowie das Aufnahmeprotokoll, wie sie in der Klinik (Södra Älvsborgs Sjukhus) in Borås/Schweden verwendet wurden, in der schwedischen Fassung sowie zusätzlich in der deutschen Fassung dargestellt. Die schwedische Übersetzung der Bögen wurde mit Unterstützung von Prof. Soly Erlandsson (Högskolan Väst, Trollhättan/Schweden) angefertigt.

## Information – Vårdnadshavare

F p ID: .....

Barnets Efternamn \_\_\_\_\_ Adress \_\_\_\_\_  
 Barnets förnamn \_\_\_\_\_  
 Barnets födelsedag \_\_\_\_\_  
 Tid på dygnet \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

Kön flicka  pojke

Talat språk under graviditeten Ett språk  Två/flera språk   
 Vilka språk? \_\_\_\_\_

Har någon av barnets anhöriga en hörselskada?

Ja  Nej   
 Mor  Grad \_\_\_\_\_ Far  Grad \_\_\_\_\_ Syskon  Grad \_\_\_\_\_

Om ja, vad är orsaken till hörselskadan?

medfödd  Sjukdom/infektion  buller   
 annat

### Musik under graviditeten

Spelade du något instrument under tiden du var gravid?

ja  nej

Vilket instrument? \_\_\_\_\_

Vilken typ av musik?

Rock  Pop  Jazz   
 Klassisk  annat

Hur ofta?

Dagligen  Flera gånger i veckan  
 En gång i veckan  Sällan  annat

Lyssnade du på musik under tiden du var gravid?

ja  nej

Vilken typ av musik?

Rock  Pop  Jazz   
 Klassisk  annat

Hur ofta?

dagligen  Flera gånger i veckan   
 En gång i veckan  Sällan  annat

## Information – Vårdnadshavare

Fp ID: .....

Modus            Spontan                Manuell hjälp              
Kejsarsnitt    Planerat                Akut                           

Fullgångna graviditetsveckor \_\_\_\_\_ APGAR 5' \_\_\_\_\_  
Födelsevikt (g) \_\_\_\_\_ APGAR 10' \_\_\_\_\_  
Födelselängd (cm) \_\_\_\_\_  
Huvudomfång (cm) \_\_\_\_\_ Syskon (nr./kön) \_\_\_\_\_

---

Neurologisk undersökning            normal        pathol.   

Hörselscreening (OAE)            pass        fail   

Hyperbilirubinaemia            ja        nej   

Medicin \_\_\_\_\_

Rökning under graviditeten            ja        nej   

Om ja, hur ofta \_\_\_\_\_

---

# Patientendaten

Kind ID: .....

Nachname	.....	Adresse	.....
Vorname	.....		.....
Geburtsdatum	.....		.....
Uhrzeit	.....	E-Mail	.....
Geschlecht	weiblich <input type="radio"/>	männlich	<input type="radio"/>

---

Sprachinput während der Schwangerschaft  monolingual  bilingual

Sprache(n) .....

Hörschädigungen

Ja	<input type="radio"/>	Nein	<input type="radio"/>		
Mutter	<input type="radio"/>	Vater	<input type="radio"/>	Geschwister	<input type="radio"/>
	Grad		Grad		Grad

Falls ja, welche Ursache liegt der Hörschädigung zugrunde?

Angeboren	<input type="radio"/>	Krankheit/Infektion	<input type="radio"/>	Lärmeinwirkung	<input type="radio"/>
Andere	<input type="radio"/>				

---

## Musik während der Schwangerschaft

---

Haben Sie während der Schwangerschaft ein Instrument gespielt?

Ja	<input type="radio"/>	Nein	<input type="radio"/>
----	-----------------------	------	-----------------------

Welches Instrument? .....

Welche Musikrichtung?

Rock	<input type="radio"/>	Pop	<input type="radio"/>	Jazz	<input type="radio"/>
Klassik	<input type="radio"/>	Andere	<input type="radio"/>		

Wie oft?

Täglich	<input type="radio"/>	Mehrmals in der Woche			
Einmal/Woche	<input type="radio"/>	Selten	<input type="radio"/>	Andere	<input type="radio"/>

Haben Sie während der Schwangerschaft Musik gehört?

Ja	<input type="radio"/>	Nein	<input type="radio"/>
----	-----------------------	------	-----------------------

Welche Musikrichtung?

Rock	<input type="radio"/>	Pop	<input type="radio"/>	Jazz	<input type="radio"/>
Klassik	<input type="radio"/>	Andere	<input type="radio"/>		

Wie oft?

Täglich	<input type="radio"/>	Mehrmals in der Woche	<input type="radio"/>		
Einmal/Woche	<input type="radio"/>	Selten	<input type="radio"/>	Andere	<input type="radio"/>

---



# Patientendaten

Kind ID: .....

---

**Modus**      Spontan            Manuelle Hilfe        
                 prim. Sectio            sec. Sectio     

Gestationsalter (Wochen)      \_\_\_\_\_      APGAR 5'      \_\_\_\_\_  
Geburtsgewicht (g)      \_\_\_\_\_      APGAR 10'      \_\_\_\_\_  
Geburtslänge (cm)      \_\_\_\_\_  
Kopfumfang (cm)      \_\_\_\_\_

---

Erste neurologische Untersuchung      normal            pathol.     

Hörscreening (OAE)      pass            fail     

Hyperbilirubinämie      ja            nein     

Medikamente      \_\_\_\_\_

---

## Protokoll av inspelning

Antal undersökningar	_____	<b>Barnets ID</b>	_____
Efternamn	_____	Undersökare	_____
Förnamn	_____	Inspelningsdatum	_____
Född (datum)	_____	Tid på dagen	_____
Ålder (dagar)	_____	Senaste mål	_____

---

Inspelning Nr \_\_\_\_\_  
Plats \_\_\_\_\_  
Position \_\_\_\_\_  
Bakgrundsljud \_\_\_\_\_

Barnet ammas      ja                        nej     
                          ibland                    flaska

---

Vikt (g) \_\_\_\_\_  
Längd (cm) \_\_\_\_\_  
Huvudets omkrets (cm) \_\_\_\_\_  
Psykiskt tillstånd \_\_\_\_\_  
Motoriskt tillstånd \_\_\_\_\_

---

Mor-Barn-Samspel: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

---

# Aufnahmeprotokoll

Anzahl Untersuchungen	_____	<b>Kind ID</b>	_____
Nachname	_____	Untersucher/in	_____
Vorname	_____	Aufnahmedatum	_____
Geburtsdatum	_____	Uhrzeit	_____
Alter (Tage)	_____	Letzte Mahlzeit	_____

---

Aufnahme Nr \_\_\_\_\_  
Ort \_\_\_\_\_  
Position \_\_\_\_\_  
Hintergrundgeräusche \_\_\_\_\_

Stillen ja  nein   
On Demand  Flasche

---

Gewicht (g) \_\_\_\_\_  
Länge (cm) \_\_\_\_\_  
Kopfumfang (cm) \_\_\_\_\_  
Psychischer Zustand \_\_\_\_\_  
Motorischer Zustand \_\_\_\_\_

---

Mutter-Kind-Interaktion: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

---

# Danksagung

An erster Stelle bedanke ich mich bei meinem Erstgutachter Prof. Dr. Detlef Hansen dafür, dass er mir die Möglichkeit gegeben hat, ein Dissertationsprojekt dieser Art durchzuführen, und mich jederzeit bei dieser Arbeit unterstützt hat.

Mein herzlichster Dank gilt meiner Zweitgutachterin Prof. Dr. Kathleen Wermke, die mich in jeder Phase der Arbeit begleitet hat und mich in den Jahren in zahllosen fachlichen Diskussionen und persönlichen Gesprächen unterstützt, beraten und herausgefordert hat.

Des Weiteren bedanke ich mich besonders bei Prof. Soly Erlandsson für ihr Interesse an meinem Forschungsprojekt und ihre große Unterstützung bei der Organisation der Datenerhebung in Schweden. Während meines Aufenthaltes in Schweden stand sie mir mit Rat und Tat zur Seite und machte mir den Forschungsaufenthalt zu einer unvergesslichen Zeit.

Außerdem bedanke ich mich bei Gunilla Jansson, Carina Rickeberg, Lisbeth Grahn und dem gesamten Team der audiologischen Abteilung („Hörcentral“) und der Wöchnerinnenstation („BB vård“) des Södra Älvsborgs Sjukhus in Borås (Schweden) für ihre herzliche Aufnahme, ihre Aufgeschlossenheit meinem Forschungsprojekt gegenüber, ihre Hilfe bei allen organisatorischen Fragen rund um den Klinikalltag und vor allem für ihre Geduld gegenüber meinen anfänglichen Schwierigkeiten mit der schwedischen Sprache. Tack så väldigt mycket!

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Familien, die mit ihren Neugeborenen an der Studie teilgenommen haben.

Herrn Prof. Dr. Volker Hesse von der Klinik für Kinder- und Jugendmedizin Lindenhof in Berlin danke ich dafür, dass er mir die Probandendaten aus der „Deutschen Sprachentwicklungsstudie“ für meine Arbeit zur Verfügung gestellt hat.

## *Danksagung*

Herrn Peter Wermke gilt mein bester Dank dafür, dass er mir die Software CDAP für die Säuglingsschreianalyse zur Verfügung gestellt hat, diese speziell für meine Analyse angepasst hat und mir bei allen technischen Fragen rund um die Analyse mit CDAP jederzeit hilfreich zur Seite stand.

Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Johannes Hain dafür, dass er mir die Mixed-Model Nested ANOVA für die statistische Analyse mit *R* zur Verfügung gestellt hat.

Bei der Foundation for Audiological Research (Stingerfonden, Göteborg/Schweden) bedanke ich mich für die finanzielle Unterstützung in Form eines Stipendiums.

Abschließend bedanke ich mich herzlich bei Dr. Birgit Mampe-Keller, Verena Voit, Sandra Pachtner und Daniela Eiband vom ZVES, ohne die die Zeit der Promotion nur halb so schön gewesen wäre.